

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ «ВИТЕБСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»,
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «РОССИЙСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ. А.Н. КОСЫГИНА
(ТЕХНОЛОГИИ. ДИЗАЙН. ИСКУССТВО)»

На правах рукописи



**ЯСИНСКАЯ
НАТАЛЬЯ НИКОЛАЕВНА**

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

05.19.02 – Технология и первичная обработка
текстильных материалов и сырья

Диссертация на соискание ученой степени
доктора технических наук

Научный консультант:
доктор технических наук, профессор
Коган Александр Григорьевич

Витебск – Москва, 2019

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	8
ГЛАВА 1. АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР КОМБИНИРОВАННЫХ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ, СПОСОБОВ ИХ ФОРМИРОВАНИЯ И ОБЛАСТЕЙ ПРИМЕНЕНИЯ.....	17
1.1. Общие сведения о комбинированных текстильных материалах.....	17
1.2. Понятие комбинированный текстильный материал, структура, классификация	21
1.3 Волокнистый состав комбинированных текстильных материалов.....	24
1.3.1 Текстильный компонент из минеральных волокон.....	25
1.3.2 Текстильный компонент из органических волокон.....	27
1.3.3 Использование волокнистых отходов в качестве компонента комбинированных текстильных материалов.....	32
1.4 Структура текстильного компонента для формирования комбинированных текстильных материалов.....	35
1.4.1 Свойства текстильного компонента, влияющие на показатели качества комбинированного текстильного материала.....	39
1.5 Основные виды полимерных связующих и требования для формирования комбинированных текстильных материалов.....	42
1.5.1 Важнейшие технологические свойства полимерных связующих для формирования комбинированных текстильных материалов	47
1.5.2 Используемые добавки в составах полимерных связующих для формирования комбинированных текстильных материалов.....	52
1.6 Анализ способов формирования комбинированных текстильных материалов	57
1.6.1 Формирование комбинированных каркасных текстильных материалов.....	57
1.6.2 Формирование комбинированных слоистых текстильных материалов	63
1.6.3 Формирование слоистых ворсовых текстильных материалов.....	70
1.7 Пути и способы интенсификации технологии формирования комбинированных текстильных материалов.....	75
ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 1.....	81
ГЛАВА 2. ПОСТРОЕНИЕ НОМЕНКЛАТУРЫ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА И РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ПРОЕКТИРОВАНИЯ КОМБИНИРОВАННЫХ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ	82
2.1. Анализ показателей качества и обобщение требований, предъявляемых к комбинированным текстильным материалам	

декоративно-отделочного назначения.....	82
2.1.1 Определение показателей качества текстильных настенных покрытий (клеевой способ формирования).....	85
2.1.2. Определение показателей качества слоистых материалов с ворсовым покрытием.....	88
2.1.3. Определение показателей качества каркасных текстильных материалов со специальными свойствами.....	91
2.2 Систематизация факторов, влияющих на качественные показатели комбинированных текстильных материалов.....	98
2.3 Разработка алгоритма проектирования комбинированных текстильных материалов.....	104
ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 2.....	108
ГЛАВА 3. МОДЕЛИРОВАНИЕ КАПИЛЛЯРНО-ПОРИСТОЙ СТРУКТУРЫ И ЯВЛЕНИЙ, СОПРОВОЖДАЮЩИХ ПРОЦЕСС ФОРМИРОВАНИЯ КОМБИНИРОВАННЫХ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ.....	109
3.1 Моделирование капиллярно-пористой структуры текстильного материала.....	109
3.1.1 Имитационное моделирование пористой структуры текстильной нити.....	112
3.1.1.1 Исследование диаметра пряжи и нитей, используемых для формирования комбинированных текстильных материалов.....	116
3.1.1.2 Расчет диаметра волокон (филаментов).....	118
3.1.2 Алгоритм имитационного моделирования структуры текстильной нити и расчета пористости волокнистого материала.....	121
3.1.3 Имитационное моделирование капиллярно-пористой структуры тканей.....	129
3.2 Экспериментальное исследование капиллярно-пористой структуры текстильных материалов.....	130
3.3 Теоретико-экспериментальное исследование физико-химических явлений при формировании комбинированных текстильных материалов...	134
3.3.1 Исследование процесса самопроизвольной пропитки при формировании комбинированных текстильных материалов.....	139
3.3.1.1 Исследование зависимости физико-химических свойств полимерных связующих от концентрации и температуры.....	143
3.3.1.2 Анализ кинетики самопроизвольной пропитки тканых полотен и нитей стирол-акрилатной водной дисперсией.....	148
3.3.1.3 Анализ полноты пропитки тканых полотен стирол-акрилатной водной дисперсией.....	153

3.3.2. Исследование процесса пропитки под действием внешнего давления при формировании слоистых текстильных материалов клеевым способом	156
3.3.2.1. Прогнозирование прочности адгезионного взаимодействия «текстильный материал – полимерное связующее» при формировании слоистых текстильных материалов.....	159
3.3.2.2. Исследование кинетики пропитки текстильного материала под действием внешнего давления.....	163
3.3.2.3 Алгоритм прогнозирования прочности адгезионного соединения при формировании слоистого текстильного материала под действием внешнего давления.....	169
ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 3.....	174
ГЛАВА 4. РАЗРАБОТКА СПОСОБОВ ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ КОМБИНИРОВАННЫХ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ	175
4.1. Разработка технологии и устройства для формирования слоистых материалов с ворсовым покрытием аэродинамическим способом.....	175
4.1.1 Разработка непрерывной технологии формирования рулонных слоистых материалов с ворсовым покрытием.....	177
4.1.2 Исследование влияния состава полимерного связующего на качественные показатели ворсового покрытия.....	181
4.1.3 Исследование процесса нанесения полимерного связующего на материал основы.....	185
4.1.4 Исследование процесса подготовки коротковолокнистых отходов для формирования ворсового покрытия.....	191
4.1.5. Разработка конструкции аэродинамического устройства для непрерывного формирования ворсового покрытия рулонных материалов...	197
4.1.5.1 Исследование взаимодействия воздушного потока и волокнистых частиц, расчет параметров аэродинамического устройства.....	198
4.1.5.2 Исследование и оптимизация геометрической формы диффузора при формировании ворсового покрытия непрерывным способом.....	203
4.1.5.3 Исследование влияния взаимного расположения полотна основы и диффузора аэродинамического устройства на траекторию движения волокнистых частиц	206
4.1.5.4 Экспериментальные исследования влияния параметров процесса аэродинамического напыления на качество ворсового покрытия.....	208
4.1.5.5 Исследование влияния аэродинамических параметров волокнистой частицы на траекторию ее движения под действием силы сжатого воздуха	212
4.2. Технологии формирования слоистого материала с тканым покрытием.....	214

4.2.1. Разработка рецептуры полимерного связующего для соединения тканого полотна и нетканой основы при формировании слоистого материала.....	219
4.2.2 Расчет угла подачи слоев и давления в узле склеивания при соединении материалов с различными деформационными свойствами.....	223
4.3. Технология формирования комбинированных каркасных текстильных материалов способом пропитки декоративных тканых полотен.....	230
4.3.1. Выбор полимерного связующего для формирования комбинированных каркасных текстильных материалов способом пропитки.....	234
4.3.2. Экспериментальные исследования самопроизвольной пропитки тканого полотна водной дисперсией стирол-акрилата.....	237
4.3.3. Экспериментальные исследования формирования специальных свойств комбинированных каркасных текстильных материалов.....	241
ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 4.....	247
ГЛАВА 5. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА СУШКИ И ТЕРМООБРАБОТКИ КОМБИНИРОВАННЫХ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ	248
5.1 Кинетика сушки капиллярно-пористых материалов.....	248
5.2 Исследование кинетики нагрева слоистых текстильных материалов.....	257
5.3 Методика расчета продолжительности сушки слоистых текстильных материалов.....	267
5.4. Исследование сушки и термообработки каркасных текстильных материалов.....	269
5.4.1. Исследование зависимости скорости сушки каркасного текстильного материала от концентрации полимерного связующего.....	270
5.4.2. Исследование процесса термофиксации каркасного текстильного материала.....	279
5.4.3. Методика расчета продолжительности сушки и термообработки каркасных текстильных материалов.....	285
ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 5.....	288
ГЛАВА 6. ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ФОРМИРОВАНИЯ КОМБИНИРОВАННЫХ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ В УСЛОВИЯХ СВЧ-ОБРАБОТКИ.....	289
6.1. Теоретические основы диэлектрического нагрева текстильных материалов в электромагнитном поле сверхвысокой частоты (СВЧ).....	290
6.2. Исследование пропитки при формировании комбинированных текстильных материалов в условиях интенсифицирующего действия	

электромагнитных волн СВЧ диапазона.....	295
6.2.1. Изучение влияния параметров СВЧ обработки на свойства водной дисперсии полимерного связующего.....	296
6.2.2. Исследование влияния параметров СВЧ - обработки на скорость пропитки при формировании комбинированных текстильных материалов	300
6.2.3. Исследование полноты пропитки и равномерности распределения полимерного связующего в объеме материала в условия СВЧ - обработки	303
6.2.4. Оптимизация режимных параметров пропитки тканых полотен в технологии формирования комбинированных текстильных материалов в условиях СВЧ-обработки	309
6.2.5. Исследование процессов сушки и термофиксации при формировании комбинированных текстильных материалов в условиях СВЧ-нагрева.....	313
6.3. Исследование влияния СВЧ-обработки на свойства комбинированных текстильных материалов.....	322
ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 6.....	326
ГЛАВА 7. АПРОБАЦИЯ РАЗРАБОТАННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ФОРМИРОВАНИЯ КОМБИНИРОВАННЫХ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЕКОРАТИВНО-ОТДЕЛОЧНОГО НАЗНАЧЕНИЯ.....	327
7.1. Рекомендации по промышленному применению и апробация технологии формирования слоистых материалов с ворсовым покрытием...	327
7.2. Рекомендации по промышленному применению и апробация технологии формирования рулонных слоистых материалов с ворсовым покрытием.....	329
7.3. Рекомендации по промышленному применению и апробация технологии формирования слоистых материалов с тканым покрытием – текстильных настенных покрытий.....	331
7.4. Рекомендации по промышленному применению и апробация технологии формирования комбинированных каркасных текстильных материалов со специальными свойствами.....	334
7.5. Рекомендации по промышленному применению технологии формирования комбинированных текстильных материалов с использованием СВЧ нагрева.....	342
ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 7.....	346
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	347
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	351
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	386
Приложение А Экспериментальное исследование диаметра и расчет	386

объемной плотности текстильных нитей.....	
Приложение Б Акт о внедрении в учебный процесс программы моделирования капиллярно-пористой структуры текстильных материалов	389
Приложение В Экспериментальное исследование капиллярно-пористой структуры текстильных материалов.....	390
Приложение Г Экспериментальные исследования свойств полимерных связующих.....	397
Приложение Д Расчет прочности адгезионного соединения.....	402
Приложение Е Экспериментальные исследования процесса формирования слоистых ворсовых материалов.....	403
Приложение Ж Протокол испытания МЧС.....	410
Приложение И Экспериментальные исследования сушки и термообработки комбинированных текстильных материалов.....	413
Приложение К Экспериментальные исследования формирования комбинированных текстильных материалов в условиях воздействия СВЧ-излучения.....	418
Приложение Л Документы, подтверждающие внедрение технологии аэродинамического формирования ворсового покрытия.....	434
Приложение М Документы, подтверждающие внедрение технологии формирования слоистых материалов с тканым покрытием.....	446
Приложение Н Документы, подтверждающие внедрение технологии формирования комбинированных каркасных текстильных материалов.....	450
Приложение П Документы, подтверждающие внедрение СВЧ технологии формирования комбинированных каркасных текстильных материалов.....	467

ВВЕДЕНИЕ

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, ракето-, 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 имеющегося 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 пропитки 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 восьмью 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 клеевым, 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 сверхвысокочастотного 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 Ольшанский 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 сверхвысокочастотной 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.

ГЛАВА 1. АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР КОМБИНИРОВАННЫХ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ, СПОСОБОВ ИХ ФОРМИРОВАНИЯ И ОБЛАСТЕЙ ПРИМЕНЕНИЯ

1.1. Общие сведения о комбинированных текстильных материалах

В настоящее время научно-технический прогресс практически немислим без развития производства комбинированных материалов, в том числе с заданными функциональными свойствами, использование которых постоянно расширяется в различных отраслях народного хозяйства. Комбинированные материалы являются одним из видов композиционных материалов. Сочетая в одном материале компоненты разной природы, формы и размеров и регулируя их содержание, можно получать неограниченное количество комбинированных материалов и в очень широких пределах изменять их свойства, а также придавать новые. Комплекс свойств комбинированных материалов определяется свойствами компонентов их микро- и макроструктурой, границей раздела фаз, реакцией этих структур на внешние воздействия [1].

Производство композиционных материалов, в том числе комбинированных, и изделий из них в мире растет на 5 – 8% в год. Основными производителями являются Китай, США, ЕС и страны Юго-Восточной Азии. Возрастает спрос на композиты в различных отраслях экономики Республики Беларусь, однако объемы производства очень малы. По данным JEC [2] объем мирового рынка композиционных материалов составляет €80-90 млрд и 10 – 12 млн. тонн в год. Наиболее значимыми областями использования являются строительство, электроника и энергетика, а также транспортное машиностроение (рисунок 1.1).

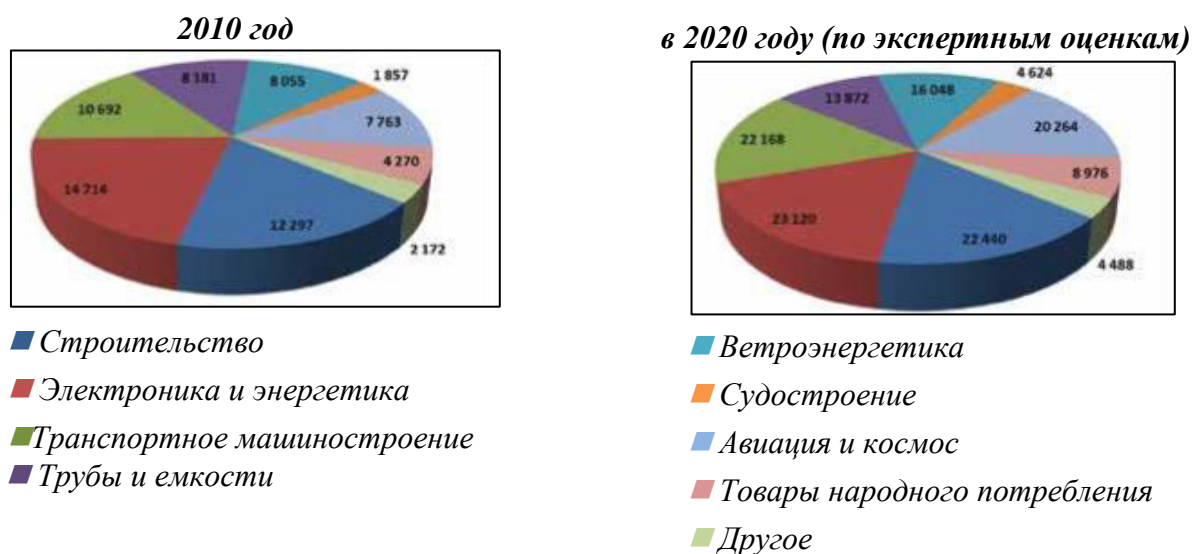


Рисунок 1.1 – Структура и объем мирового потребления композиционных материалов и изделий из них (в стоимостном выражении)

За относительно короткое время композиционные материалы превратились из материалов исключительно стратегического, военного назначения в материалы широкого применения, использующиеся практически во всех отраслях промышленности и народного хозяйства.

Классификация композиционных материалов осуществляется по нескольким существенным критериям: по происхождению, назначению, типу материала матрицы, природе компонентов, размеру фазовых включений, признакам структуры, методам получения.

В настоящее время наибольшее распространение получили полимерные композиционные материалы, армированные волокнистым наполнителем, применение которых дает существенные преимущества по технологичности, снижению материалоемкости и стоимости изделий, улучшению их эксплуатационных характеристик, повышению надежности.

Причиной создания полимерных композиционных материалов явилась необходимость создания материалов с комплексом новых свойств, решения экономических, экологических проблем, возникающих в процессе развития науки и техники [3].

Одними из недостатков волокнистых полимерных композиционных материалов и изделий из них является высокая стоимость, связанная с многостадийностью и сложностью технологического процесса формирования, необходимостью применения специального дорогостоящего оборудования и сырья, высокой энергоемкостью процесса формирования.

В ассортименте композиционных материалов в отдельную группу можно выделить те, в которых в качестве армирующей основы используются текстильные элементы – волокна, нити и пряжа, ткани, трикотаж и нетканые материалы [4, 2-А].

Термин «*композиционный материал*», который чаще всего встречается в полимерной химии, металловедении, строительстве, машиностроении и некоторых других областях обозначается следующим определением [1]: композиционный материал – это материал, состоящий из двух или более компонентов, которые отличаются по своей природе или химическому составу, где компоненты объединены в единую монолитную структуру с границей раздела между структурными составляющими (компонентами), оптимальное сочетание которых позволяет получить комплекс физико-химических и механических свойств, отличающихся от комплекса свойств компонентов. Компонент, непрерывный в объеме композита, называют матрицей или связующим. Другие, например упрочняющие или армирующие компоненты, распределены в матрице в определенном порядке. Переходные поверхностные слои расположены на границах раздела матрицы и других компонентов [5, 6].

В результате анализа литературных источников и патентных материалов по теме диссертационной работы выяснилось, что специалистами текстильной и легкой промышленности используется другое определение термина «композиционный материал». В частности, в работе Л.А. Липатовой выполнены следующие уточнения и пояснения [7, 8, 9]:

- термин «композиционный», как наиболее часто применимый, использовать в качестве основного для многослойных текстильных материалов, полученных по клеевой технологии;
- применительно к многослойным текстильным материалам предлагается следующая трактовка понятия: «Композиционные текстильные материалы» – это материалы, состоящие из двух и более однородных и/или разнородных слоев, соединенных в единую структуру полимерным связующим жидким или твердым, и/или полимерные композиции на текстильной основе образуют пленочные или мембранные покрытия [9].

В. Е. Кузьмичевым предложено различать термины «композиционный материал» и «слоистый материал», полученный клеевым способом соединения слоев в зависимости от соотношения полимерного связующего – адгезива (а) и текстильного материала – субстрата (с) [10]:

- композиционные материалы ($a:c=1$) – материалы на текстильной основе с заданным распределением в них или на поверхности полимерного связующего. По прочности, жесткости и другим свойствам текстильные композиты превосходят исходный текстильный материал. Такой материал может быть получен либо путем полного погружения в полимерное связующее, либо путем контактного смачивания при одностороннем воздействии полимерного связующего на текстильный материал;
- слоистые материалы ($a:c < 1$) – неразъемное или разъемное клеевое соединение двух или более текстильных полотен.

Специалистами Казанского технологического университета предложено называть многослойные материалы, состоящие из полотен, соединенных ниточным или сварным способом – комплексные материалы. Материалы, полученные клеевым способом соединения слоев, и имеющие промежуточный клеевой слой называть дублированными или композиционными текстильными материалами [11].

Существующая терминология относится к швейным материалам и изделиям и не учитывает особенностей многофункциональных комбинированных текстильных материалов технического назначения.

Панин М.И. в своей работе [12] называет «текстильный композиционный материал» – композиционный материал, полученный на базе текстильных технологий.

Среди всего многообразия композиционных материалов с использованием текстильных компонентов – волокон, нитей, тканей, трикотажных полотен, нетканых материалов широкое применения нашли слоистые текстильные материалы. Целью создания слоистых текстильных материалов является соединение в одну структуру схожих или различных компонентов для получения материала с новыми заданными свойствами, отличными от свойств исходных компонентов. Каждый слой в общем материале выполняет свою специфическую функцию.

Слоистый текстильный материал представляет собой композицию из двух и более слоев различных материалов, соединенных между собой термическим, клеевым, прошивным способами или методом прессования, нанесения полимерных связующих на поверхность или погружением [9, 13]. В зависимости от назначения, в качестве слоев могут быть использованы различные типы материалов: тканые, нетканые, трикотажные полотна (натуральные, синтетические или смесовые), рулонные пенополиуретан и пенополиэтилен, полиолефиновые пленки, металлическая фольга. В качестве связующего применяются термопластичные и термореактивные полимеры различной химической природы. К слоистым также относятся материалы нетканые, флокированные, комбинированные, ламинированные.

Комбинации различных компонентов в слоистом композите, всевозможных связующих и добавок, применение высокотехнологичных способов производства позволяет создавать слоистые материалы с широчайшим спектром свойств, что объясняет их использование практически во всех областях техники и быта (рисунок 1.2).

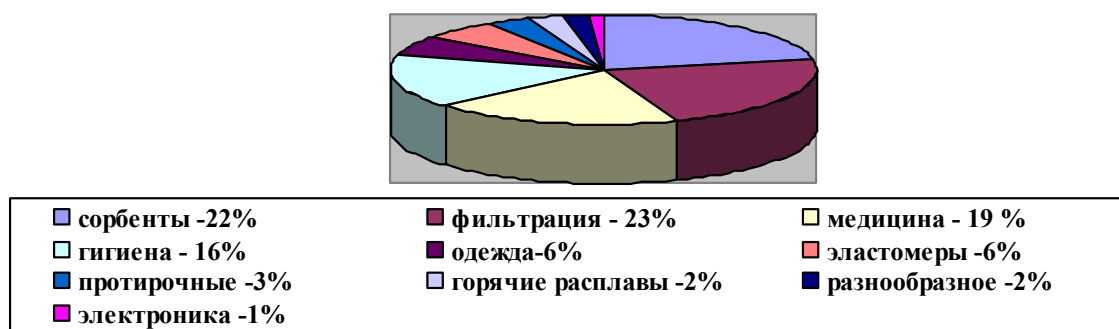


Рисунок 1.2 – Области применения различных видов слоистых текстильных материалов

Анализ всевозможных видов композитов различного назначения, в которых одним из составляющих компонентов является текстильный материал – волокно, пряжа (нить), ткань, трикотаж, нетканый материал показал, что для них отсутствует единая терминология [9, 14,15]. В связи с этим в работе принято под *комбинированным текстильным материалом* понимать материал, состоящий из

двух и более компонентов, сформированный на базе текстильных технологий в единую структуру, физико-механические свойства которого отличаются от свойств составляющих компонентов.

1.2. Понятие комбинированный текстильный материал, структура, классификация

Понятие комбинированный текстильный материал предполагает выполнение следующих условий [14]:

- комбинация должна представлять собой сочетание хотя бы двух компонентов один из которых является текстильным, с четкой границей раздела между ними;
- комбинация должна образовывать монолитную структуру;
- комбинация должна обладать свойствами, которых нет ни у одного из ее компонентов в отдельности.

Характерным признаком комбинированного текстильного материала является то, что при значительной толщине и жесткости композиционного он сохраняет гибкость и эластичность текстильного, возможность формирования рулонных материалов.

В соответствии с ОКРБ 007-2012 Классификатор продукции по видам экономической деятельности (Код 13.96.14), а также ТН ВЭД ЕАЭС разрабатываемые материалы можно отнести к группе 59 (Раздел XI Текстильные материалы и текстильные изделия) – Текстильные материалы, пропитанные, с покрытием или дублированные; текстильные изделия технического назначения. Данная классификация учитывает назначение материалов, но не отражает, из каких полотен состоит комбинированный текстильный материал, технологию его получения.

Авторами работ [9, 16, 17], в которых рассмотрены многослойные материалы для одежды предлагается следующая классификация:

- по числу слоев – двухслойные и многослойные;
- по сырьевому составу лицевого слоя – из натуральных и химических волокон;
- по структуре слоев: лицевой – ткань, трикотаж, нетканые полотна, искусственные мех и кожа, пленочный материал;
- по промежуточному слою – пенополиуретан, нетканое полотно;
- по изнаночному слою – ткань, трикотаж, нетканое полотно, пленочный материал, каучук, пенополиуретан;
- по назначению – бытовые, технические;
- по способу дублирования слоев – клеевой, термический (огневой), прошивной (ниточный), ультразвуковой (сварной).

Следует отметить, что существующие схемы классификации в

определенной степени условны, поскольку не могут учесть все многообразие признаков комбинированных текстильных материалов, в том числе и принципиально новых, как например слоистые материалы с нановолокнистым покрытием. Кроме того, следует учитывать, что ассортимент комбинированных текстильных материалов постоянно расширяется и обновляется, разрабатываются и внедряются новые способы формирования структур. Поэтому на основании обобщения литературных данных и изучения их ассортимента составлена новая классификация с учетом всех признаков, представленная на рисунке 1.3.

Центральным, определяющим признаком классификации является структура комбинированного текстильного материала.

По структуре комбинированные текстильные материалы можно разделить на:

- слоистые, в которых два и более однородных или разнородных слоев плоских структур скреплены механическим, физико-химическим или комбинированным способом в единое полотно;
- каркасные, полученные способом пропитки текстильного каркаса (тканых, трикотажных или нетканых полотен) полимерным связующим, отличающиеся по прочности, упругости, жесткости и другим свойствам от текстильных материалов.

По природе волокнистого материала комбинированные текстильные материалы делятся на натуральные, химические и смесовые, могут быть минерального и органического происхождения.

В качестве связующих при формировании комбинированных текстильных материалов используют растворы, расплавы или дисперсии термопластичных полимеров: полиэтилена, полиамида, полиэфира, полиуретана, поливинилхлорида, поливинилового спирта, а также разнообразные сополимеры – акриловые, поливинилацетатные и другие. Полимерные связующие также могут быть использованы в виде порошков, нитей паутинок, пленок при формировании слоистой структуры термоклеевым способом.

По структуре текстильного компонента комбинированные материалы могут быть условно разделены на следующие виды [15]:

- 1D – однонаправленные (нити, ленты, жгуты и др.);
- 2D – двунаправленные (тканые, вязаные или плетеные полотна);
- 3D – трехмерно ориентированные (трехмерные ткани и др.);
- с хаотическим расположением волокон или нитей в плоскости (волокнистые слои, холсты, большинство нетканых материалов, бумаги);
- с хаотическим расположением волокон в трехмерном пространстве (специальные текстильные структуры).

КЛАССИФИКАЦИЯ КОМБИНИРОВАННЫХ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

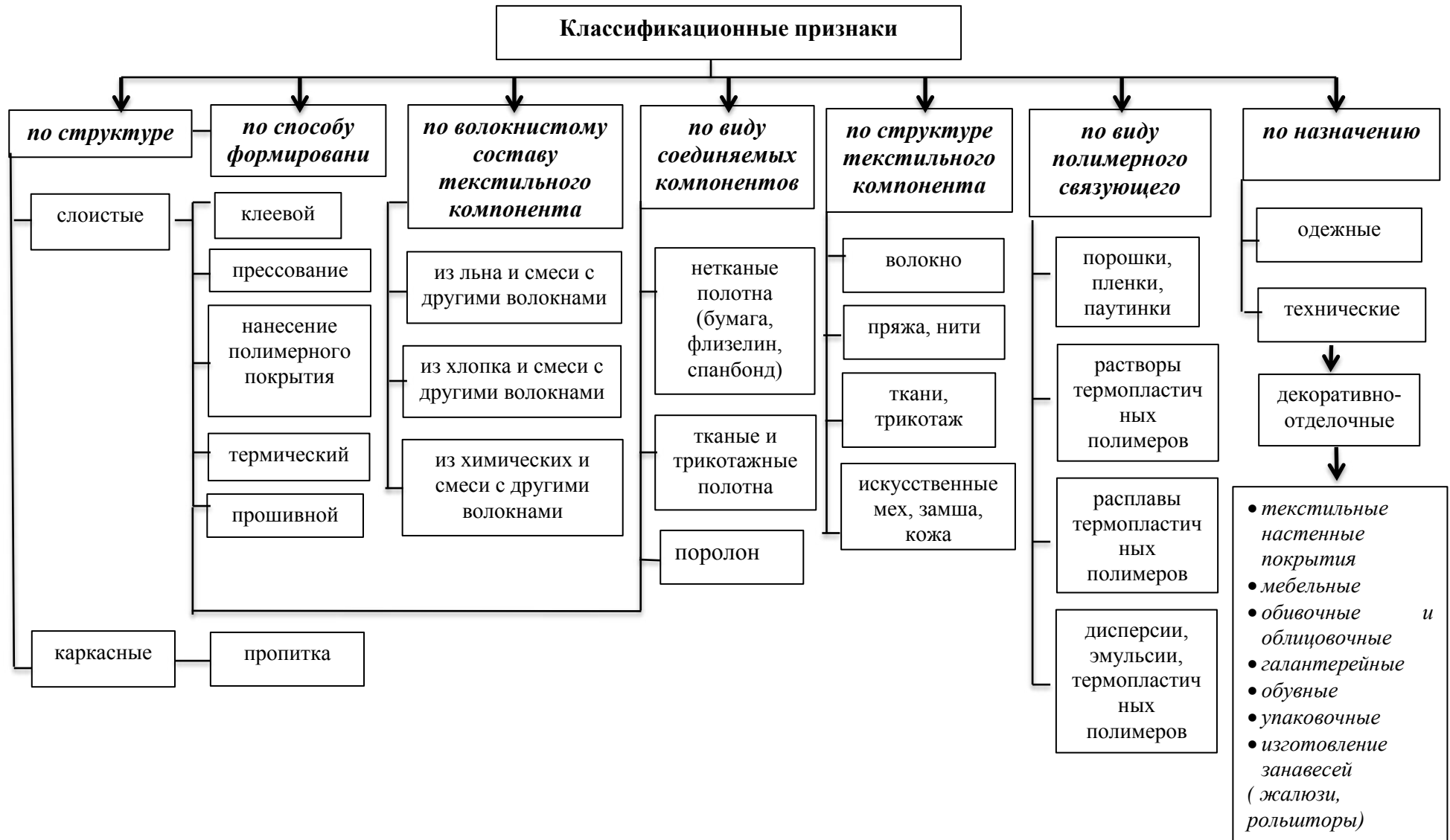


Рисунок 1.3 – Классификация комбинированных текстильных материалов

Текстильные элементы в комбинированном материале могут придавать ему прочностные и декоративные свойства, создавать необычную структуру, а также различные специальные свойства (огне-, термостойкость, водо-, масло-, грязеотталкивание, антибактериальные, магнитные и другие).

При формировании слоистых текстильных материалов используют различные основы: бумага, флизелин, спанбонд, тканые и трикотажные полотна и др. Выбор необходимой подложки зависит от области использования готового материала.

Таким образом, выбор компонентов определяется необходимыми функциональными требованиями, эксплуатационной надежностью, совместимостью компонентов, технологичностью переработки, доступностью и стоимостью .

По назначению комбинированные текстильные материалы можно разделить на две группы: одежные и технические.

Среди комбинированных текстильных материалов самую большую группу составляют одежные материалы, которые используются для производства в основном верхней, форменной и специальной одежды. Для изготовления одежных пакетов используют клеевой, термический (огневой), сварной (термостежка), прошивной (ниточный) [9,10, 13].

Анализируя ассортимент комбинированных материалов технического назначения, в отдельную группу можно выделить материалы декоративно-отделочные. В группу декоративно-отделочных входят галантерейные, обивочные, мебельные, обувные материалы. Галантерейные текстильные композиты используются для изготовления сумок, портфелей, чемоданов, всевозможных чехлов, ремней, кошельков и т.п. Обивочные для изготовления деталей мебели, декоративной отделки салонов различного вида транспорта, детских колясок, в качестве облицовочных для стен и потолков, в том числе текстильные настенные покрытия, и т.п. Обувные текстильные композиты находят применения для изготовления верха обуви, в том числе спортивной, а также в качестве окантовки и декоративной отделки. Отдельно можно выделить декоративные комбинированные текстильные материалы, используемые для изготовления головных уборов, декоративной отделки одежды. Комбинированные текстильные материалы используются как упаковочные для сувенирных и подарочных изделий.

1.3. Волокнистый состав комбинированных текстильных материалов

По волокнистому составу текстильного компонента комбинированные текстильные материалы делятся на: натуральные, химические и смесовые. По происхождению волокнистого состава – органические и минеральные.

Природой волокнистого материала, используемого для формирования структуры, во многом определяются заданные физико-механические характеристики, а также устойчивость к эксплуатационным воздействиям (температуры, окружающей среды и др.). В ряде случаев выбор волокнистого материала может диктоваться экономическими причинами – их стоимостью как сырья.

Для технического текстиля декоративно-отделочного назначения широко используются материалы на основе волокон с умеренными характеристиками механических свойств. Материалы со специфическими физическими и другими свойствами получают, используя текстильные структуры на основе соответствующих видов волокон, например *functional fibers*, *advanced fibers* [4]. Для формирования высоких показателей механических используют высокопрочные, а также сверхпрочные и высокомодульные волокна и нити: параарамидные, стеклянные, углеродные, оксидные, карбидные, борные и др [14, 15, 18, 19].

Получение термостойких текстильных материалов требует использования материалов на основе высокотермостойких ароматических, углеродных, специальных стеклянных, а также других неорганических волокон и нитей [20, 21, 22].

Для электроизоляционных слоистых композитов используются текстильные материалы на основе полиэфирных волокон и специальных видов стеклонитей с высокими электроизолирующими свойствами (особенно для высокочастотных диэлектриков) [15, 23].

1.3.1. Текстильный компонент из минеральных волокон

Стеклянные волокна являются наиболее распространенным материалом, используемым в качестве текстильного компонента при формировании слоистых композиционных материалов – стеклотекстолитов. Основными достоинствами этих волокон являются низкая стоимость, простота производства и переработки, а также высокая прочность при условии осторожного обращения с ними после вытяжки. Стеклянные волокна и нити имеют низкую жесткость по сравнению с другими минеральными волокнами, что является недостатком в случае их использования для производства конструкционных композитов и достоинством при формировании комбинированных текстильных материалов. Стеклянные нити используют при производстве стеклотканевых обоев (стеклообои), которые изготавливаются ткачеством с последующей пропиткой специальными составами для придания полотну стабильных размеров. Среди всех декоративно-отделочных материалов стеклообои имеют наилучшие противопожарные характеристики: относятся к группе материалов не поддерживающих горение; по токсичности

относятся к группе малоопасных веществ; по параметрам воспламеняемости относятся к группе трудновоспламеняемых материалов; по параметрам дымообразования относятся к группе с умеренной дымообразующей способностью и имеют коэффициент дымообразования не более 63,304 кв²/кг. Стеклообои в помещении исключают возможность появления грибков и плесени.

В настоящее время существует большое количество разнообразных марок стекол, волокна из которых обладают улучшенными характеристиками – повышенной прочностью, химической и электрической стойкостью и т.д. По данным авторов работы [20] наиболее распространены следующие их типы: А-щелочное, С-хемостойкое, Е-электроизоляционное, S-высокопрочное. Основной объем стеклянных волокон производят из алюмоборосиликатного стекла типа «Е», высокопрочного стекла типа «S» и высокомодульного стекла типа «ВМ-1» (таблица 1.1).

Известны многослойные структуры [24] и [25], содержащие перекрестно-ориентированные слои из стекловолокон.

По ряду свойств к стекловолоконкам близки волокна на основе природного силиката – базальта, им присуща более высокая хемостойкость.

Базальтовые волокна, свойства которых представлены в таблице 1.1, характеризуются высокой теплостойкостью и химической устойчивостью, образуют прочные адгезионные соединения с эпоксидными связующими. Установлено, что прочность и модуль упругости волокон из природного базальта соизмеримы с аналогичными показателями для волокон из стекла типа «Е» [15, 19]. Базальтовые волокна имеют коричневый цвет из-за содержания оксидов железа, что ограничивает их применение. Базальтовые волокна могут успешно заменять стеклянные волокна во всех случаях, когда к окраске материалов не предъявляется особых требований.

Композиционные материалы на основе стеклянных и базальтовых волокон во многом похожи по своим свойствам.

Таблица 1.1 – Основные свойства неорганических волокон

Волокна	Диаметр, мкм	Плотность, г/см ³	T _{пл} , °С	Модуль упругости, ГПа	Прочность, ГПа
Стеклообразное, типы А и С	0,5...30	2,5...2,6	700...900	50...70	1,5...2,0
Стеклообразное типы Е и S	3...30	2,6...2,8	900...1000	70...90	2,0...5,0
Базальтовое	10...18	2,7...2,9	100...1200	70...90	1,8...1,9
Борное В	100...150	2,4...2,6	2100...2500	380...430	2,5...4
Углеродные	6...10	1,4...2,0	>3000	20...700	0,5...5

Борные волокна характеризуются уникальным сочетанием свойств – высокой прочностью и жесткостью и в то же время низкой плотностью, что резко отличает их от других волокнистых материалов. Материалы на основе борных волокон обладают значительно более высокими показателями механических свойств, чем материалы на основе стеклянных и углеродных волокон. В настоящее время промышленность выпускает борные волокна различного диаметра, наибольшее распространение получили волокна диаметром 100, 140 и 200 мкм. Ближайшим конкурентом борных волокон являются углеродные волокна.

Углеродные волокна значительно более жесткие, не уступают стеклянным волокнам. Для них характерны высокая прочность и модуль упругости при растяжении и изгибе по сравнению со стекловолокнами, малая плотность, высокая электропроводность, низкие коэффициенты трения и термического расширения. Используемые для композитов углеродные волокна изготавливают на основе трех видов волокон-прекурсоров: полиакрилонитрильных, вискозных и пековых (из нефтяных и каменноугольных пеков). Недостатком углеродных волокон является их высокая хрупкость и, соответственно, трудность переработки в текстильные изделия. Поэтому текстильные структуры изготавливаются из волокон-прекурсоров и в таком виде уже подвергаются высокотемпературной термической обработке и превращению в углеродные волокнистые материалы.

Использование дорогостоящих волокнистых материалов при формировании композитов имеет смысл в высокотехнологичных отраслях производства, там где предъявляются особые свойства к прочностным, термическим или другим свойствам материалов и изделий из них. Стеклянные, базальтовые, металлические, борные, керамические волокнистые наполнители используются в основном для производства композиционных материалов конструкционного и специального назначения, в частности в аэрокосмической отрасли, автомобилестроении, строительстве, машиностроении, приборостроении. Учитывая значительные затраты на производство таких композитов, не всегда целесообразно их использовать для изготовления производства комбинированных текстильных материалов общего и функционального назначения. В частности для технического текстиля декоративно-отделочного назначения наибольший интерес представляют волокнистые материалы органического происхождения, особенно рассматривая их с точки зрения «цена – качество».

1.3.2. Текстильный компонент из органических волокон

Органические волокнистые материалы, используемые при получении текстильного слоя, могут придавать новые специальные эксплуатационные или декоративные свойства комбинированным материалам. К органическим волокнам

относятся природные или химические волокна доступные в больших количествах и по низкой цене.

Из натуральных волокон наиболее широкое применение для получения текстильного слоя нашли целлюлозные волокна (хлопок, лен). Благодаря своей пористой структуре, натуральные волокна хорошо пропитываются полимерным связующим, что обеспечивает высокую прочность на границе полимер – волокно.

Волокна хлопка и льна обладают необходимыми механическими свойствами и легко поддаются переработке в текстильные материалы, являющиеся компонентом композита. Основные свойства волокон хлопка и льна представлены в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Основные свойства волокон хлопка и льна

Показатели свойств	Хлопок*	Лен**
Плотность, г/см ³	1,54 – 1,55	1,52 – 1,56
Линейная плотность, текс	0,16-0,22/ 0,11-0,15	1,5-4/12- 20
Длина волокон, мм	25-40/35-45	20-40/ 500-600
Прочность, сН/текс	25-30/30-40	40-55
Удлинение при разрыве, %	6-8/7-9	2-3
Влажность (при конд. усл.), %	8-10	10-12

* Через дробь средневолокнистый/длинноволокнистый хлопок.

** Лубяные одиночные волокна, не делящиеся в продольном направлении без разрушения, называются элементарными; несколько продольно склеенных между собой, - техническими волокнами. Через дробь приведены свойства технических волокон.

Установлено, что комбинированные текстильные материалы декоративно-отделочного назначения с использованием волокон льна и хлопка обеспечивают постоянство влажностно-температурного режима помещения [26].

Особенности строения и состава хлопкового волокна обуславливают его хорошие механические свойства. Высокая развитость поверхности хлопка обеспечивают хорошую прочность связи с полимерным связующим за счет увеличения площади контакта. Он легко окрашивается, обладает хорошими диэлектрическими свойствами. Его недостатки – значительное водопоглощение и низкая химическая стойкость.

Актуальность использования льняного волокна в качестве компонента слоистого текстильного материала обусловлена во-первых, его уникальными природными свойствами, во-вторых, экономическими соображениями. Присущие таким изделиям гигиенические и эксплуатационные свойства (высокая воздухопроницаемость, малая загрязняемость, высокая устойчивость к свету, трению, обеспечивающие повышенный срок службы изделий) позволяют

использовать при производстве слоистых текстильных материалов широкого ассортимента. В частности, текстильные материалы из льна обладают рядом уникальных медико-биологических свойств. Они способны угнетать жизнедеятельность микрофлоры, задерживать рост и размножение бактерий и грибков. Поэтому весьма актуально их использование для производства слоистых текстильных композитов медицинского назначения [26]. Экономическая целесообразность объясняется возможностью использования ежегодно воспроизводимого натурального отечественного сырья, что позволит снизить себестоимость готовых материалов и изделий.

В последние годы популярным сырьем для формирования лицевого слоя слоистых текстильных материалов для оформления интерьера стало низкосортное грубое льняное волокно, которое хорошо сочетается с натуральной древесиной, металлом и новыми видами материалов для мебели. Льняные ткани из грубого волокна широко применяют в оформлении современных жилых помещений и офисов. Лен признан одним из важных материалов для дуплексных текстильных обоев и даже многослойных напольных покрытий, что продиктовано экологической идеей создания здоровой среды обитания [27].

Анализ областей использования льняных тканей в странах Западной Европы и России показывает, что в основном это ассортимент постельного и столового белья (рисунок 1.4). Доля льняных тканей, используемых в интерьерах, явно недостаточна: в странах Западной Европы и в России она составляет соответственно 6% и 9%. Именно поэтому актуально направление увеличение объема и ассортимента льняных тканей, особенно из короткого льняного волокна, используемых для производства слоистых текстильных материалов декоративно-отделочного назначения.

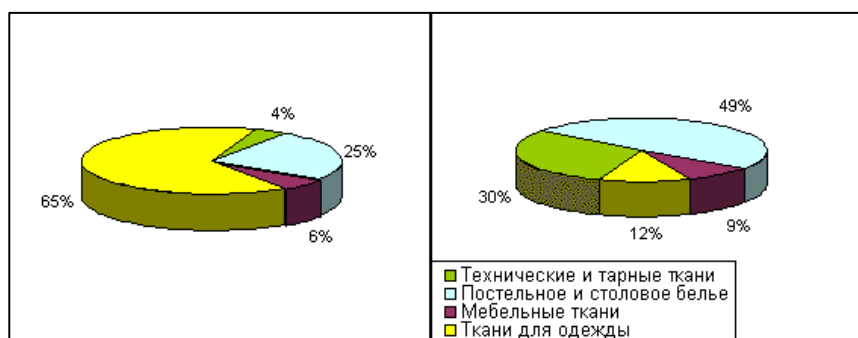


Рисунок 1.4 – Диаграмма использования льняных тканей в различных сферах жизнедеятельности человека

Короткое льняное волокно делится на пять сортов, обозначаемых номерами 2, 3, 4, 6, 8. Сорты различаются по разрывной нагрузке скрученной ленточки и

массовой доле костры и сорных примесей. В таблице 1.3 представлены технические требования к короткому льноволокну [28].

Таблица 1.3 – Технические требования к короткому волокну

Номер волокна	Разрывная нагрузка скрученной ленточки, даН	Нормированная массовая доля костры и сорных примесей, %	Предельная массовая доля костры и сорных примесей, %
8	17,7	11	13
6	15,8	15	16
4	13,8	19	23
3	10,9	22	26
2	5,4	24	29

Популярность натуральных волокон при производстве текстильных композиционных материалов возрастает, активно ведутся разработки в этом направлении в Северной Америке, Китае и Европе. Основными преимуществами использования натуральных волокон при производстве комбинированных текстильных материалов являются:

- использование отечественной сырьевой базы лубяных волокон, которые произрастают в климатических условиях Республики Беларусь и могут выращиваться в необходимом количестве;
- получение экологически безопасных материалов для широкого применения;
- снижение себестоимости материалов.

Химические волокна подразделяются на искусственные и синтетические. К искусственным принадлежат волокна, вырабатываемые из целлюлозы (вискозное и его разновидности, медноаммиачное, ацетатное) и белков (казеиновое).

Синтетические волокна делятся на карбоцепные и гетероцепные. Из гетероцепных синтетических волокон наибольшее значение приобрели полиамидные и полиэфирные, а из карбоцепных – полиакрилонитрильные, поливинилхлоридные, поливинилспиртовые и полиолефиновые.

Полиэфирные, полиакрилонитрильные, полиамидные волокна, свойства которых представлены в таблице 1.4, обладают хорошей адгезией к полимерным связующим, используемым для формирования структуры текстильного композита. Текстильные композиты, полученные с использованием синтетических волокон характеризуются исключительно высокой химической стойкостью, водостойкостью, малым коэффициентом трения и высокой износостойкостью. Недостаток – сравнительно невысокая теплостойкость, а также ограниченный выбор связующих, так как многие связующие могут изменять структуру и механические свойства волокна.

Таблица 1.4 – Свойства химических волокон

Показатели свойств	полиэфирное	полиамидное	полиакрило-нитрильное	вискозное
Плотность, г/см ³	1,38...1,4	1,14...1,16	1,17...1,18	1,5...1,52
Линейная плотность, текс	0,07...0,7	0,3...1	0,2...0,8	0,2...0,7
Прочность, сН/текс	22...40	32...46	20...30	12...17
Удлинение при разрыве, %	35...60	40...60	30...45	15...25
Влажность (при конд. усл.), %	0,3...0,4	3...4	0,8...1,5	12...13

К недостаткам химических волокон относится химическая инертность и наличие у них гладкой неразвитой поверхности. Эти свойства обуславливают недостаточную прочность связи между волокнами и полимерным связующим и, как следствие, снижение адгезионной прочности слоев. Однако эта проблема может быть устранена при дополнительной обработке волокнистого материала специальными аппретами для усиления адгезионных свойств [10].

Интересным направлением для формирования декоративных полотен с различными структурными эффектами является использование высокоусадочных химических волокон и нитей. В настоящее время выпускаются полиакрилонитрильные и полиэфирные высокоусадочные волокна и нити, потенциальная усадка которых составляет от 20% до 70 % в зависимости от способа получения.

Таким образом, при выборе волокнистого состава текстильного компонента для производства комбинированных материалов необходимо учитывать его конкретное назначение с учетом преимуществ и недостатков, указанных в таблице 1.5.

Таблица 1.5 – Преимущества и недостатки натуральных и химических волокон

Наименование волокна	Преимущества	Недостатки
Хлопковое, льняное	Характеризуются пористой структурой, хорошо пропитываются полимерным связующим, что обеспечивает высокую прочность на границе полимер – волокно.	Сравнительно невысокая стойкость к истиранию, к свету, высокая сминаемость и усадка, значительное водопоглощение и низкая химическая стойкость.
Вискозное	Характеризуется высоким начальным модулем, сохранением прочности при повышении температуры (100-110 °С). Высокая устойчивость к истиранию, к свету, гидрофильность.	Сравнительно невысокая прочность, особенно во влажном состоянии. Высокая усадка, сминаемость

Полиамидное	Высокая прочность, термостойкость и усталостная выносливость. Высокая устойчивость к истиранию.	Низкий модуль упругости, недостаточная устойчивость к фотоокислительным воздействиям, гладкая поверхность. Низкая гигроскопичность, пиллингуемость. Трудность достижения фактора формы
Полиэфирное	Обладает высоким начальным модулем, термостойкостью, эластичностью, не теряет прочность в мокром состоянии	Имеет гладкую неразвитую поверхность, химически инертны, проявляют низкие адгезионные свойства, электризуемость, плохая окрашиваемость
Стекловолокно	Высокий модуль упругости, прочность, отсутствие текучести при длительной нагрузке, устойчивость к термической деструкции и гидролитическому	Незначительная стойкость при динамической нагрузке, высокая плотность волокна, значительный абразивный износ оборудования в процессе переработки
Арамидное	Обладает химической стойкостью, прочностью, сохраняет свои высокие механические свойства при повышенных температурах и в присутствии влаги	Обладает гладкой поверхностью, а следовательно, недостаточная прочность связи между волокнами и полимерным связующим, и вследствие этого снижение адгезионной прочности
Поливинил спиртовое	Обладает высокой прочностью, высокомодульностью, стойкостью к действию кислот, щелочей. Имеет хорошие адгезионные свойства по отношению к полимерам	Высокая гигроскопичность, необходимость обработки сшивающим агентом, высокая стоимость производства
Углеродное	Высокие механические свойства, стойкость к действию высоких температур, тепловому старению, обладает электропроводностью	Низкая износостойкость, хрупкость

1.3.3. Использование волокнистых отходов в качестве компонента комбинированных текстильных материалов

Наряду с минеральными и органическими волокнами в производстве композиционных, в том числе комбинированных материалов, применяются волокнистые отходы текстильной промышленности – вторичные материальные ресурсы.

К волокнистым отходам относятся отходы производства отраслей легкой промышленности, отходы производства химических волокон и отходы потребления. Волокнистые отходы легкой промышленности классифицируют в зависимости от источника их образования и делят на три категории:

1. Отходы от производства сырья, образующиеся на предприятиях вырабатывающих волокна и пряжу.

2. Отходы, образующиеся при производстве текстильных материалов.
3. Отходы, образующиеся при использовании текстильных материалов.

Классифицировать текстильные отходы можно по различным признакам [29]:

- по химической природе волокна: хлопковые, химические и т.д.;
- по технологии производства и вида текстильных материалов: отходы тканей, трикотажа, нетканых материалов и их комбинации;
- по стадии производства текстильных материалов: волокнистые отходы, путанка и концы пряжи, лоскут и обрезки полотен;
- по цвету: белые отходы, светлые и разноцветные;
- по чистоте: неочищенные и очищенные.

Некоторая часть образующихся текстильных отходов используется в различных отраслях промышленности. Например, в производстве строительных материалов и древесностружечных, древесноволокнистых плит [30], в качестве тепло- и звукоизолирующей основы под линолеум [31]. Часто проблема переработки отходов решается предприятиями самостоятельно. Например, из волокнистых отходов традиционно изготавливаются пряжи большой линейной плотности, полуфабрикаты, нетканые материалы. Любое использование текстильных отходов требует их предварительной подготовки.

На предприятиях производства ковровых изделий и искусственного меха образуются следующие виды отходов: лоскут, возвратное волокно одного цвета, возвратное волокно разных цветов, подметь, отходы отделки. Часть отходов перерабатывается на предприятии в изделия народного потребления и в нетканые материалы. Отходы отделки (кноп стригальный) не перерабатываются. На данный момент технология переработки либо утилизации коротковолокнистых отходов стрижки искусственного меха не разработана. К примеру, количество кнопа, образующегося на предприятии ОАО «БелФа» г. Жлобин, составляет около одной тысячи тонн в год (40 % от всего используемого сырья). Это количество складывается, создавая экологическую и экономическую проблему для всей Республики.

Анализ литературных источников показывает, что наиболее эффективное применение отходов в производстве нетканых материалов различного назначения. В Республике Беларусь традиционными методами получения нетканых материалов являются технологии получения нетканого полотна вязально-прошивным, иглопробивным способом и способом пропитки волокнистого холста связующим.

Российскими учеными разработаны технология и оборудование, изначально ориентированные на переработку коротковолокнистых отходов в нетканые многослойные материалы [32]. Технология включает процессы разволокнения, питания, холстоформирования и скрепления, осуществляемые в единой линии для

производства изоляционных прокладочных и других материалов. За счет максимального вовлечения в производство ранее не перерабатывающегося в чистом виде волокнистого сырья (коротковолокнистых отходов длиной 1–25 мм) достигается снижение себестоимости продукции до 50 %. Материалы и изделия содержат до 95 % указанных отходов, имеют поверхностную плотность 0,1–1,5 кг/м², толщину 5–50 мм, объемную плотность 30–200 кг/м³. Материалы, вследствие особого характера расположения структурных элементов и вида их скрепления между собой, обладают уникальными свойствами по упругости и устойчивости к многократному сжатию. Разработанная технология является экологически чистой, поскольку обеспечивает почти 100% уработку в структуру материала волокон длиной 2–5 мм.

Широко используется технология получения многослойного нетканого полотна с использованием регенерированных волокон, позволяющая производить качественные термофиксированные полотна [33].

Известен способ изготовления войлока из очесов, получаемых после отделения древесины от волокон [34]. Сначала производится мять очесов для образования волокнистой массы. Далее масса растирается в жидкой среде с последующей термообработкой, затем эта масса отливается в форму для образования войлока и подвергается сушке. Такой войлок применим для теплоизоляции и звукоизоляции, упаковки и других целей.

Для получения слоистых геотекстильных материалов содержащих волокнистые отходы [35], которые предварительно подвергаются разрыхлению, очистке и обеспыливанию. Для повышения качества волокнистой смеси осуществляют смешивание регенерированных волокон с полипропиленовым волокном в пропорции 50% регенерированных волокон, полученных из отходов и 50% полипропиленовых волокон.

Известен способ получения слоистых рулонных отделочных материалов с использованием смешанных волокнистых отходов, которые используются для покрытия полов помещений, драпировки стен, мебели, салонов и сидений тракторов и машин [36]. Предлагаемый авторами материал обладает улучшенными тепло-, звукоизоляционными и усадочными свойствами за счет того, что нетканая волокнистая основа состоит из основного слоя, содержащего смесь разноусадочных волокон: восстановленных шерстяных волокон, отходов полиамидных волокон, вискозных волокон, отходов лавсановых волокон, полиэфирных волокон с величиной усадки 30–80%, и декоративного слоя, состоящего из смеси разноусадочных волокон: отходов полиамидных волокон, отходов лавсановых волокон, полиэфирных волокон с величиной усадки 30–80%, соединенных иглопрокалыванием и термоусаживанием.

Следует отметить, что в литературных источниках и в других информационных ресурсах информация о технологических процессах получения

текстильных композитов с использованием волокнистых отходов представлена скудно. В большинстве случаев это использование в качестве волокнистого наполнителя при производстве волокнистых полимерных композиционных материалов. Практически отсутствует информация о возможностях и способах получения слоистых материалов с использованием коротковолокнистых отходов, длина волокон в которых менее 25 мм.

В силу своих свойств коротковолокнистые отходы не пригодны для переработки в текстильной отрасли. Поэтому, использование коротковолокнистых отходов при производстве новых видов комбинированных текстильных материалов является весьма актуальным направлением.

1.4. Структура текстильного компонента для формирования комбинированных текстильных материалов

Основные виды текстильных структур, используемых для формирования комбинированных материалов, представлены на рисунке 1.5 [23]. На рисунке 1.6 представлена классификация по расположению структурных элементов текстильных материалов [15,18].

Высокие механические характеристики реализуются в ориентированных материалах – однонаправленных текстильных структурах. Наибольшие показатели механических свойств однонаправленные структуры имеют при нагружении вдоль волокон или нитей.

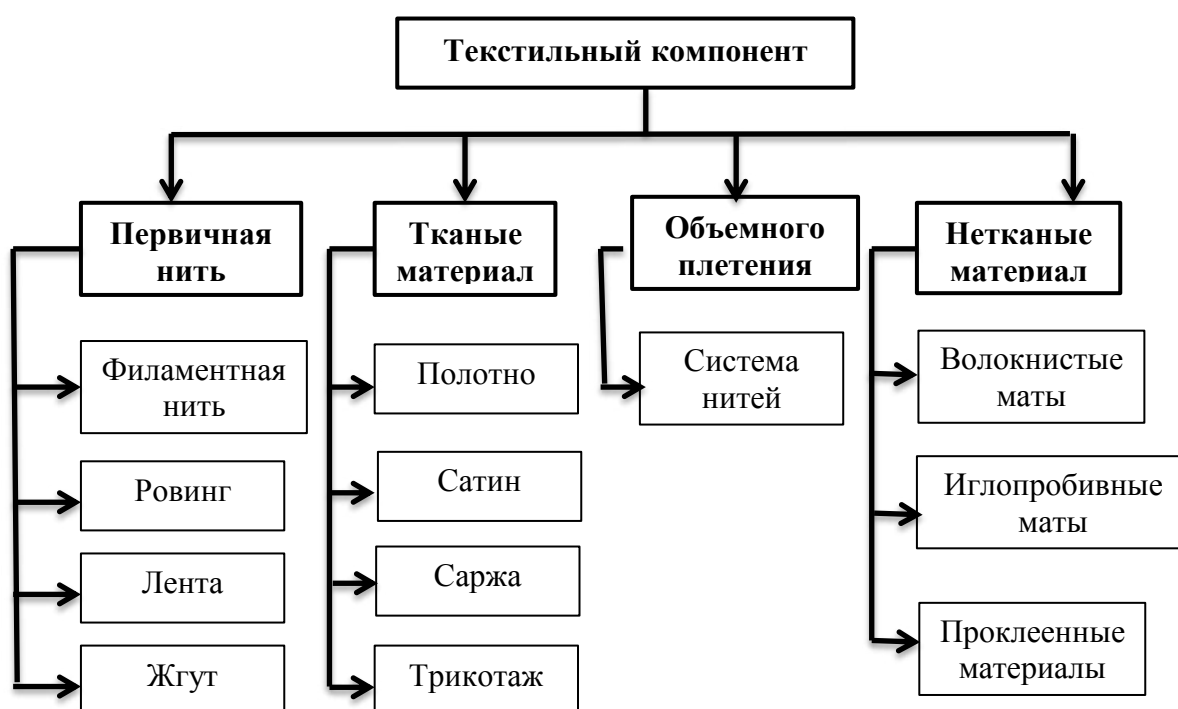


Рисунок 1.5 – Виды текстильных структур

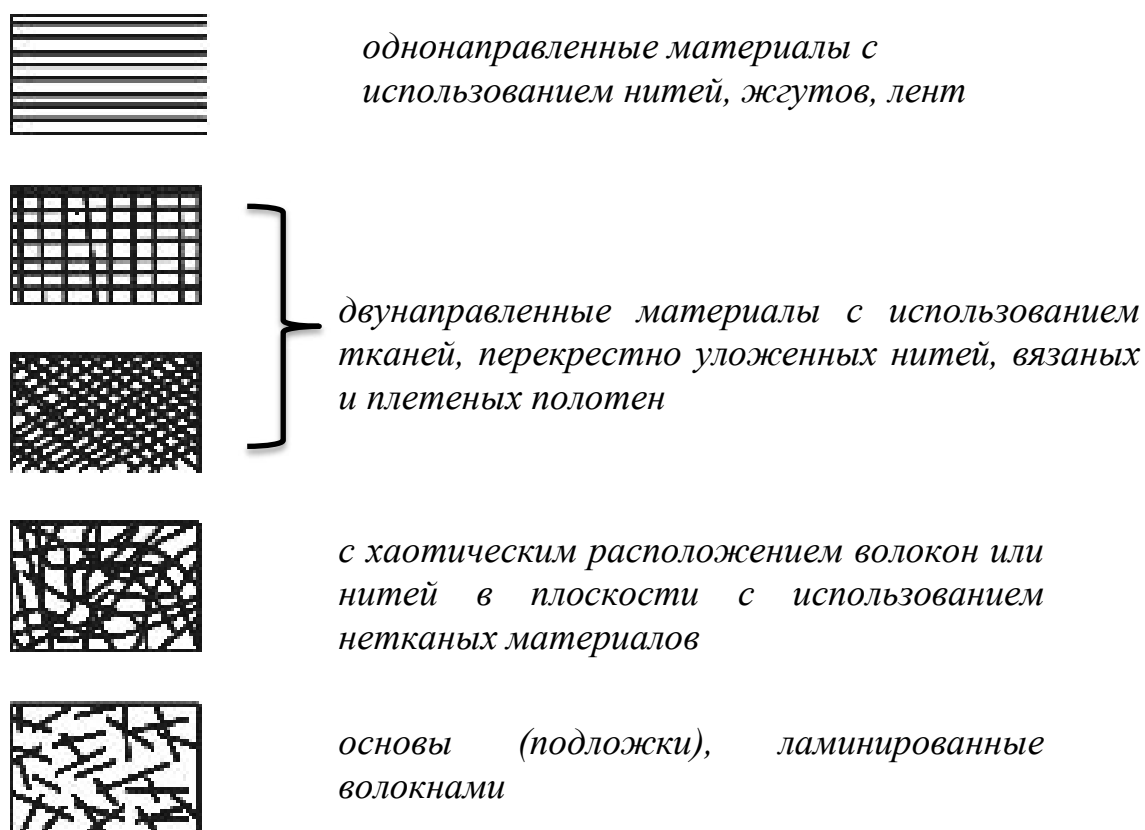


Рисунок 1.6 – Структура текстильных компонентов для формирования комбинированных материалов

Для изготовления особо прочных текстильных композитов применяются нити, жгуты и ленты, являющиеся однонаправленными структурами. Они также используются для получения слоистых композитов либо путем выкладки текстильных слоев во взаимно перпендикулярных направлениях и под различными углами, либо путем выкладки текстильного компонента на материал основы (не текстильный компонент) [5, 14, 15].

Основной недостаток текстильных композитов с использованием однонаправленных текстильных компонентов – низкие механические свойства при поперечном нагружении и сдвиге, обусловленные недостаточной прочностью связи на границе раздела слоев. Основным сырьем для формирования однонаправленных композитов являются углеродные, арамидные, базальтовые волокна [37,38].

Наиболее распространенными текстильными материалами, используемыми для получения слоистых пластиков типа текстолитов в виде листовых, намотанных и формованных изделий, являются ткани. Основным их преимуществом является высокая технологичность, возможность использования для формирования различными способами [23,39].

Для получения текстолитов применяют ткани полотняного, саржевого, сатинового и других простых переплетений. Однако, из-за изгибов нитей при переплетении возникает проблема снижения адгезионной прочности на границе раздела слоев.

Для производства текстолитов применение находят плоские плетеные текстильные структуры с заданным углом расположения наполнителей и раппортом переплетений, обеспечивающим максимально высокие механические характеристики в направлении действия внешних нагрузок. Раппорт с достаточно длинными перекрытиями нитей обеспечивает достижение большей прочности и жесткости структуры в заданном направлении.

Трикотажные полотна вследствие высокой податливости позволяют получать изделия из слоистых текстильных материалов с малыми радиусами кривизны. Трикотажные полотна имеют важные преимущества при изготовлении деталей и изделий с расположением текстильного компонента в виде вязаных объемных форм с различной плотностью вязания и заданной толщиной материала.

Для получения листовых текстолитов с умеренными механическими характеристиками чаще всего используются нетканые материалы и другие волокнистые холсты на основе волокон. Они широко используются при изготовлении изделий методами прессования и контактного формования, поскольку более податливы, чем тканые и другие структуры из нитей вследствие подвижности отдельных волокон. Благодаря этому обеспечивается возможность изготовления изделий со сравнительно малым радиусом изгиба при сохранении целостности и с незначительным утонением волокнистого слоя при прессовании.

Нетканые материалы, благодаря разнообразию своих свойств, открывают безграничные возможности применения. Например, в многослойных текстильных композитах медицинского и санитарно-гигиенического назначения гидрофобные нетканые материалы могут выполнять функции барьерного слоя текстильного композита. Этот слой должен создавать препятствие проникновению жидкости в окружающую среду [4, 40]. Применение нетканых полотен позволяет реализовать разные подходы к изготовлению текстильных композитов для различных областей применения, где необходимо сохранение работоспособности в условиях динамического нагружения, включая специфические сочетания напряжений от механических, термических и ударных воздействий.

В последнее время наблюдается устойчивый интерес к применению нановолокнистых нетканых материалов для формирования слоистых композиций различного назначения, полученных методом электроформования (рисунок 1.7) [41, 42, 43, 2-А].



Рисунок 1.7 – Области применения текстильных материалов с нановолокнистым покрытием

Метод электроформования позволяет получать нано- и субмикронные волокнистые покрытия, поэтому в некоторых областях применения они могут иметь ряд преимуществ перед традиционными полимерными, стеклянными и углеродными волокнами.

Однако в промышленных масштабах нановолокнистые нетканые материалы производится в основном для создания различных фильтров и традиционных медицинских применений. У исследователей наибольший интерес вызывает применение нановолокнистых покрытий и материалов в биоинженерии и медицине, чему посвящено большинство публикаций, с частности перевязочного, санитарно-гигиенического и косметологического назначения [44, 45, 19-А].

Выбор вида текстильной структуры для формирования комбинированных текстильных материалов определяется следующими факторами:

- назначением материала;
- функциями текстильного слоя в структуре композита;
- достижение максимальной адгезионной прочности;
- возможностью равномерного распределения текстильного компонента по заданной поверхности материала или изделия;
- доступностью и экономическими соображениями.

Для комбинированных текстильных материалов декоративно-отделочного назначения основная функция текстильного компонента – декоративная и наиболее часто используемыми видами текстильных структур являются ворсовые покрытия и тканые полотна. Нетканые материалы, в данном случае, широко используют в качестве основы (подложки) при формировании слоистых материалов.

1.4.1. Свойства текстильного компонента, влияющие на показатели качества комбинированного текстильного материала

Качество комбинированных текстильных материалов во многом определяется эффективностью и полнотой протекания основных технологических операций формирования – пропитки, сушки. В работах Браславского В.А. и Воющкого С.С. [46, 47] показано, что на скорость и полноту пропитки и сушки влияет структура и диаметр пор волокнистого материала, природа волокнистого материала. В работе проф. Кузьмичева В.Е. свойства текстильных материалов, влияющие на конечные показатели слоистых текстильных материалов, предлагается разделить на три группы [10]:

- определяющие адгезионную активность и пропитывающие свойства текстильного материала;
- определяющие потенциальную доступность внутреннего объема текстильного материала для растворов и расплавов полимерного связующего;
- влияющие на механизм разрушения адгезионного соединения, при котором может происходить частичное повреждение поверхности материала.

Характеристики волокон, пряжи и тканей, влияющие на их взаимодействие со связующим, представлены на рисунке 1.8.



Рисунок 1.8 – Характеристики волокон, пряжи и ткани, влияющие на их взаимодействие со связующим

Адгезионная активность текстильного материала по отношению к полимерному связующему определяется наличием активных центров волоконообразующего полимера, способных образовывать связи от межмолекулярных физических до ковалентных химических.

Активные центры основных видов волокон участвуют в образовании различных по характеру и энергии типов связей (таблица 1.6). Высокую химическую активность проявляют природные полимеры, имеющие в своем составе полярные функциональные группы.

Таблица 1.6 – Активные центры волоконообразующих полимеров

Волокно	Строение активных центров	Типы связей, возникающие между волокном и связующим
Целлюлозное	$[C_6H_7O_2(OH^*)_3]_n$	Водородные, Ван-дер-Ваальсовы силы, ковалентные
Полиамидное	$-NH_2, -COOH, -CONH$	Ионные, координационные, водородные, Ван-дер-Ваальсовы силы, ковалентные
Полиэфирное	$-OH, CO-O-, -(CH_2)_n-$	водородные, Ван-дер-Ваальсовы силы
Полиакрилонитрильное	$-CH_2-CH-CN$	Ионные, водородные, Ван-дер-Ваальсовы силы

Природа волокна оказывает влияние на *пропитывающие свойства* текстильного материала. По мере снижения способности смачиваться водными растворами волокна можно расположить в следующей последовательности: вискозное > хлопковое > поливинилспиртовое > полиамидное > полиэфирное > полипропиленовое, что согласуется с уменьшением гидрофильности волокон.

У хлопковых и лубяных волокон на поверхности имеются поперечные кольца, трещины, что увеличивает внешнюю поверхность и отражается на их пропитывающих свойствах и адгезионной способности.

Поверхность химических волокон является гладкой, что снижает их адгезионную способность. Увеличить сорбционные свойства возможно использованием профилированных химических волокон.

На рисунке 1.9 изображены кинетические кривые, характеризующие способность различных синтетических волокон пропитываться латексом с содержанием сухого остатка 400 г/л [46].

Капроновое, нитроновое волокна пропитываются латексом примерно одинаково. По способности пропитываться латексом они близки к гидрофильному хлопковому волокну. Полиэфирное волокно пропитывается латексом значительно хуже, что, очевидно, объясняется присутствием в молекулах этого волокна сравнительно слабополярных эфирных групп и плотной

упаковкой макромолекул, способствующей взаимодействию этих групп друг с другом.

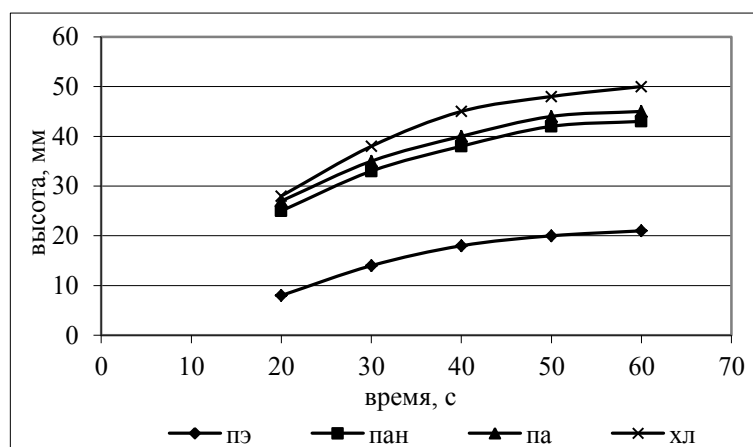


Рисунок 1.9 – Кинетика пропитывания волокнистых материалов

Доступность внутреннего объема текстильного материала для растворов и расплавов полимерного связующего определяется его геометрическими свойствами – *общей пористостью и структурой текстильного материала*.

Текстильные материалы имеют капиллярно-пористую структуру, которая складывается из микроструктуры вещества волокна, из которого она состоит, и из макроструктуры самого материала. Макроструктура волокнистых материалов зависит от способов получения (прядение, ткачество, тот или иной способ формирования нетканых основ и т. п.).

Общая пористость текстильного материала складывается из:

- сквозной пористости (поры между нитями);
- поверхностной пористости (межволоконные поры, находящиеся в промежутках между волокнами нитей);
- внутренней пористости (поры, расположенные на поверхности текстильного материала в углублениях, образуемых изгибами волокон и нитей).

Наличие в текстильных материалах разветвленной системы пор позволяет полимерным связующим затекать в них, что увеличивает площадь контакта и прочность адгезионного соединения за счет механической составляющей.

На этапе проектирования текстильного компонента для комбинированных текстильных материалов целесообразно определение пористости, которая позволит определить долю свободного пространства между волокнами и нитями, оценить эффективность процесса формирования структуры. Известно [46], что в процессе пропитки текстильного материала вещество полимерного связующего удерживается тем прочнее, чем ниже показатель пористости.

Прочность адгезионного соединения и механизм его разрушения зависит от *прочности волокон*, составляющих текстильный материал и степени их

закрепления в нем. Известно, что разрушение адгезионного соединения слоистого текстильного материала может происходить по трем схемам: с разрывом волокон, без разрыва волокон и с разрушением по массе полимерного связующего [10].

Для улучшения внешнего вида и эксплуатационных свойств текстильные материалы, используемые для формирования комбинированных материалов декоративно-отделочного назначения, подвергаются отделке, включающей расшлихтовку, отварку, беление, колорирование и заключительную отделку. Перечень и последовательность операций отделки выбираются в зависимости от вида и назначения текстильного материала. Наличие на суровом текстильном материале гидрофобных примесей и загрязнений ухудшает его пропитывающие и адгезионные свойства. В результате отварки повышается гидрофильность волокна, улучшается смачивание и следовательно проникновение полимерного связующего в капилляры и поры текстильного материала. Хотя в некоторых исследованиях, представленных в работе [46] была обнаружена обратная закономерность, связанная с уменьшением размеров капилляров и пор волокнистого материала в результате усадки после отварки, что затруднило проникновение полимерного связующего.

В операциях колорирования и заключительной отделки текстильные материалы сорбируют на себе красители и аппреты общего и специального назначения. Присутствие препаратов на поверхности материалов снижают его пропитывающие и адгезионные свойства. Это связано во-первых, с возможным блокированием активных центров волокна в результате взаимодействия с веществом препарата (уменьшение адгезионной активности), во-вторых, уменьшением смачиваемости полимерным связующим из-за образующейся в результате аппретирования пленки. При формировании материалов декоративно-отделочного назначения невозможно исключить операции улучшающие внешний вид и придания специальных свойств. Поэтому необходима разработка рациональных технологий, которые позволят достигнуть требуемые эстетические без ухудшения технологических и эксплуатационных показателей качества комбинированных текстильных материалов.

1.5. Основные виды полимерных связующих и требования для формирования комбинированных текстильных материалов

Полимерные связующие классифицируются по следующим основным признакам: по природе полимера, по термическим свойствам, по виду, по назначению и другим. Полная классификация полимерных связующих для формирования комбинированных текстильных материалов представлена на рисунке 1.10 [48, 49, 50].

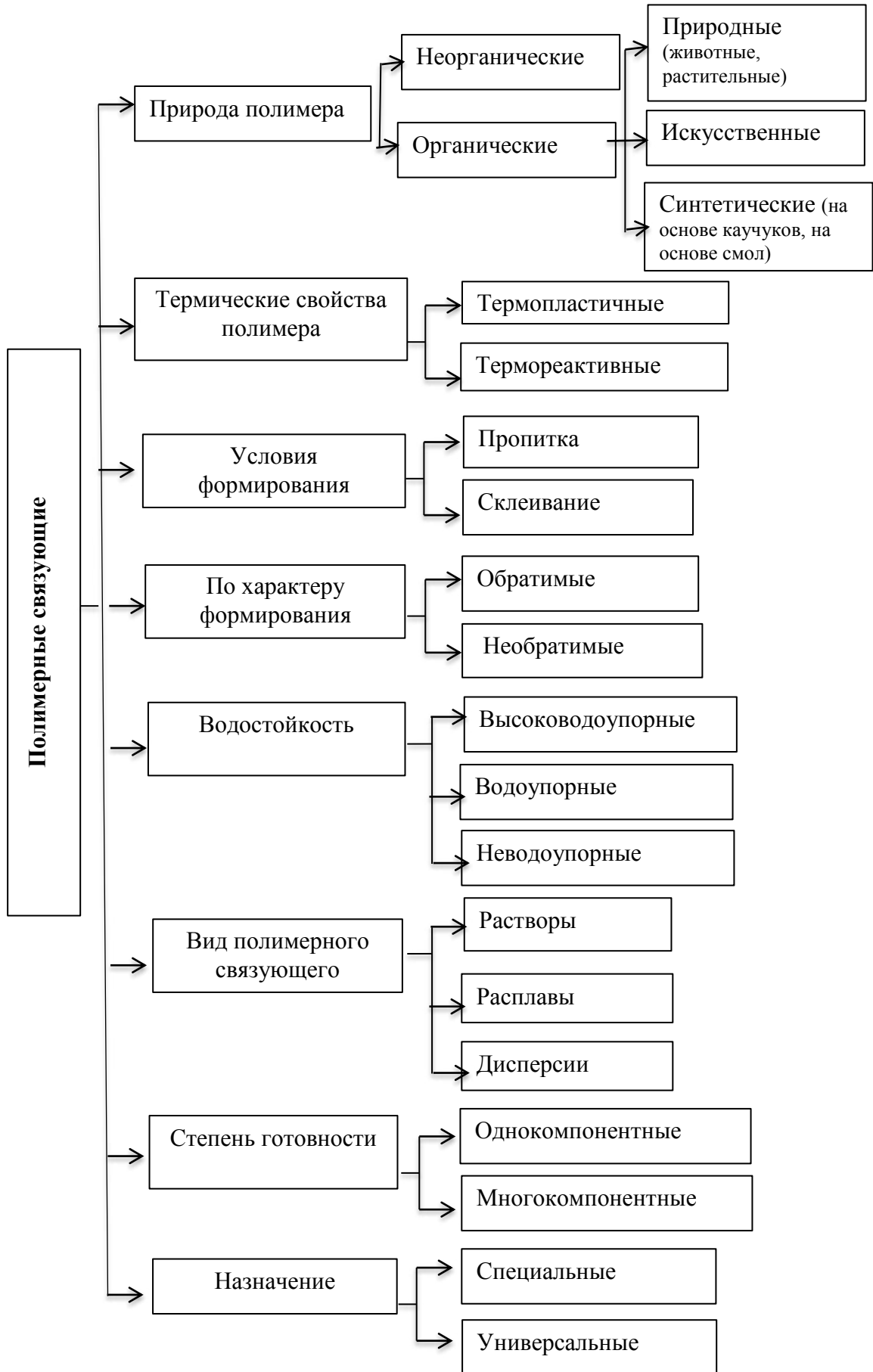


Рисунок 1.10 – Классификация полимерных связующих

По природе полимерные связующие делятся на неорганические и органические, но первые, к которым относятся жидкое стекло, цемент и гипс, не используются для формирования текстильных композиционных материалов. Органические могут быть животного и растительного происхождения. Для формирования комбинированных текстильных материалов, как правило, используют синтетические полимерные связующие – связующие, полученные химическими методами: поликонденсацией и полимеризацией.

По термическим свойствам полимерные связующие разделяют на терморезистивные и термопластичные.

Терморезистивные - реактопласты – составы на основе жидких или твердых, способных при нагревании переходить в вязкотекучее состояние, реакционноспособных олигомеров, отверждаемых при повышенной температуре и/или в присутствии специально добавляемых в композицию веществ - отвердителей. При этом вследствие протекания химических реакций образуется сетчатая структура [15, 49]. Достоинствами терморезистивных связующих являются хорошие технологические свойства (хорошая смачиваемость и пропитываемость волокнистого материала, сравнительно низкие температуры отверждения); хорошая адгезия к большинству волокон; повышенная теплостойкость; стойкость в различных средах.

Недостатком этой группы связующих является длительное время отверждения, ограниченное время жизни, возможность значительной усадки и повышения хрупкости при отверждении, что недопустимо для комбинированных текстильных материалов. В результате отверждения терморезистивные смолы превращаются в трехмерные сшитые твердые вещества, которые не плавятся при нагревании, не растворяются в растворителях и при перегреве разлагаются [48, 49].

К терморезистивным относятся: эпоксидные смолы, полиэфирные смолы, фенолформальдегидные смолы, полиимидные олигомеры. Полимерные связующие на основе терморезистивных смол используют для соединения материалов и изделий, работающих в нагруженных конструкциях.

Термопластичные полимерные связующие – термопласты (например, полиэтилен, полипропилен, полистирол, поливинилхлорид, полиамиды и др.) представляют собой линейные или разветвленные карбоцепные или гетероцепные полимеры, сополимеры и их смеси. При нагревании они обратимо переходят в размягченное или расплавленное состояние. Обладают хорошей эластичностью, но невысокими прочностными показателями и низкой теплостойкостью. Однако, их прочности и теплостойкости достаточно для формирования ненагруженных материалов и изделий, которыми являются слоистые материалы декоративно-отделочного назначения. Среди достоинств также следует отметить возможность вторичной переработки, более эффективные методы переработки более высокая

производительность; практически бесконечная жизнеспособность, пониженные горючесть и дымовыделение при горении, высокая стойкость к излучению.

Наиболее распространены термопласты на основе карбоцепных полимеров - полиэтилена высокой и низкой плотности, полипропилена, поливинилхлорида, полистирола, полиакрилатов и др. Они доступны, дешевы, но имеют невысокие термические характеристики.

Широко используются термопластичные гетероцепные полимеры: полиамиды и сополиамиды, а также сложные полиэфиры (полиэтилентерефталат) и линейные полиуретаны, которые обладают более высоким комплексом функциональных свойств, но сложнее в переработке и дороже. Большинство термопластов являются материалами с умеренными термическими характеристиками.

По характеру формирования полимерные связующие подразделяются на необратимые и обратимые в зависимости от их отношения к воздействию повышенных температур и влаги. Отношение к воде имеет особое значение при формировании слоистых материалов одежного назначения.

Выбор вида полимерного связующего – раствор, расплав или дисперсия зависит от способа формирования текстильного композита. При формировании слоистого материала клеевым способом возможно использование расплавов, растворов и дисперсий, а при пропитке текстильного материала используют растворы или дисперсии полимерного связующего.

Термопластичные связующие в виде раствора или дисперсии образуют пленку вследствие испарения растворителя. В случае растворителя – воды они могут использоваться для формирования комбинированных текстильных материалов декоративно-отделочного назначения высокой экологичности. Расплавы становятся текучими при повышенных температурах и становятся твердыми при комнатной температуре. Формирование слоистых текстильных материалов с использованием расплавов требует значительных энергозатрат.

Полимерные связующие по степени готовности могут быть однокомпонентными, готовыми к использованию, и многокомпонентными, требующими введения вспомогательных, в том числе специальных добавок.

Все виды полимерных связующих имеют свои особенности применения. Большинство терморезактивных смол постепенно выделяют вредные компоненты, особенно при повышенных температурах, поэтому, как правило, их не рекомендуется использовать для изделий бытового назначения, в частности декоративно-отделочного. Для таких изделий целесообразнее использовать нетоксичные водные растворы или дисперсии.

При использовании водных растворов или дисперсий полимеров в различных отраслях промышленности отпадает необходимость в вентиляции и рекуперации растворителей, значительно облегчается очистка сточных вод и

снижается степень загрязнения окружающей среды, а следовательно, снижаются капитальные затраты на производство и значительно улучшается санитарно-гигиенические условия труда, в том числе пожаробезопасность.

В настоящее время мировое производство полимерных водных клеев неуклонно растет. Так, например, в Германии производство клеев на водной основе составляет 60% от общего объема производства; в США, по разным оценкам, – от 40% до 50%; в странах Европейского Союза – более 50%; в Японии – 50–60% [51].

Для формирования декоративно-отделочных материалов широко используются водные дисперсии на основе поливинилацетата, бутадиен – стирола, стирол – акрилата, акрилата. Каждый из перечисленных типов связующего имеет свои преимущества и недостатки.

Поливинилацетатная дисперсия неводостойка, со временем желтеет, покрытия образуют непрозрачные пленки, поэтому полимерные связующие на основе поливинилацетатной дисперсии не могут быть использованы для формирования комбинированных текстильных материалов способом пропитки, а также слоистых материалов одежного назначения, где требуется высокая устойчивость к мокрым обработкам и стиркам.

Бутадиен-стирольные дисперсии хороши в водостойких слоистых материалах, но имеют низкую светостойкость и также образуют непрозрачные пленки.

Стирол-акрилатные дисперсии дороже, чем вышеперечисленные, но наиболее универсальны. Образуют пористые, воздухо-, паропроницаемые покрытия, имеющие высокую свето- и атмосферостойкость, обладают высокой адгезией ко многим видам подложек, ввиду малых размеров частиц (0,08 – 0,15 мкм), глубоко проникают в пористые подложки, тем самым, укрепляя их.

Акриловые дисперсии дороже стирол-акрилатных, но при похожих со стирол-акрилатными дисперсиями свойствами, они обладают более высокой жесткостью и стойкостью к ультрафиолету.

К полимерным связующим предъявляются эксплуатационные, технологические, экономические, экологические и специальные требования, которые формируются исходя из конкретных заданных свойств текстильных композиционных материалов [10, 52, 2-А].

Специальные требования связаны с особенностью проведения технологического процесса или с требованиями к свойствам готового материала. Например, для интенсификации процесса в условиях воздействия токов высокой и сверхвысокой частоты имеют место требования по диэлектрическим свойствам. При производстве текстильных композиционных материалов декоративно-отделочного назначения полимерное связующее должно быть прозрачным.

Возможны требования по огне-, термостойкости, водо-, грязеотталкиванию и другие.

Связующее должно обладать малой вязкостью и высокой адгезионной способностью к текстильному материалу, хорошими когезионными свойствами.

Малая вязкость необходима для того, чтобы связующее могло пропитать волокнистый материал или склеить между собой составляющие слоистый материал компоненты. После отвердевания оно должно иметь однородную, монолитную структуру. Связующее должно обладать высокой адгезионной прочностью к волокнам. Для повышения адгезионной прочности текстильные материалы покрывают тонким слоем специальных аппретов, которые не только обеспечивают высокую адгезионную прочность между связующим и волокнами, но и снижают внутренние напряжения на границе волокно – полимер. При малой когезионной прочности связующего в условиях эксплуатации материала будет происходить когезионное разрушение частиц связующего. От связующего в значительной степени зависят свойства слоистых материалов: термостойкость, влагостойкость, прочность, стойкость к действию внешних факторов.

Таким образом, можно сформулировать следующие основные требования, предъявляемые к полимерному связующему при формировании комбинированных текстильных материалов:

- высокая адгезия к текстильным материалам и другим поверхностям, используемым в качестве компонентов;
- необходимые реологические и смачивающие свойства;
- скорость высыхания на воздухе должна соответствовать продолжительности операций приготовления и нанесения, быть достаточно высокой при сушке в термокамерах;
- не должны проникать на поверхность текстильных компонентов;
- должны обеспечивать жесткость и необходимую упругость, сохраняя при этом мягкость и эластичность;
- содержащиеся добавки не должны изменять свойств материала;
- полимерная пленка должна быть стойкой к действию воды, органических растворителей;
- должны быть экологически безопасным в переработке и эксплуатации готового материала.

1.5.1. Важнейшие технологические свойства полимерных связующих для формирования комбинированных текстильных материалов

В зависимости от способа формирования комбинированных текстильных материалов используют расплавы, растворы или дисперсии полимеров [2-А]. Расплав – состояние полимера при температуре выше температуры его плавления

(для кристаллических полимеров), стеклования (для аморфных полимеров). Раствор или дисперсия полимера образуется при добавлении маловязкой жидкости, представляют собой многокомпонентные системы, в которых компоненты находятся в диспергированном состоянии. Истинные растворы, в которых компоненты оказываются диспергированными до отдельных молекул, атомов, ионов. Полимерные дисперсии образованы низкомолекулярными веществами, формирующими дисперсионную среду, и дисперсными частицами полимерной природы с характерным размером от 1 нм до 1 мкм. Растворы и дисперсии полимеров используют при формировании комбинированных текстильных материалов клеевым или способом пропитки, когда необходимо получить очень тонкие слои полимера.

Расплавы технологичны и удобны в применении при формировании слоистых материалов клеевым способом. Однако необходимо осуществлять тщательный контроль вязкости полимерного связующего. Применение низковязкого состава приводит к выдавливанию его из зоны склеивания и образованию несплошной полимерной пленки, что снижает прочность соединения слоев. Применение высоковязкого адгезива затрудняет проникание в структуру текстильного материала. Снижается площадь межфазного контакта, в результате чего прочность соединения уменьшается. Кроме того, в случае применения высоковязкого связующего невозможно получить тонкий слой полимера (пленку).

Равномерное распределение полимерного связующего на поверхности, или между слоями, или в его объеме обеспечивает его монолитность и адгезионную прочность. Равномерное распределение связующего зависит от смачиваемости текстильных компонентов связующим, вязкости связующего и его поверхностной энергии, а также адгезионной активности.

Вязкость полимерной композиции – фактор, в значительной мере влияющий на свойства готового текстильного композиционного материала. Связующее должно за счет капиллярных сил и под действием силы тяжести или небольшого давления проникнуть между волокнами и достаточно равномерно распределиться, т.е. должна произойти пропитка текстильного материала связующим. Это возможно только при сравнительно невысокой вязкости связующего.

При выборе оптимальных параметров формирования с использованием расплава полимерного связующего определяющее значение имеет правильный выбор температурной области и пределов, до которых можно интенсифицировать процесс. Нижняя граница допустимой области температуры определяется температурой текучести для аморфных полимеров и температурой плавления для кристаллических, когда течение становится доминирующей составляющей полной деформации. Верхняя граница области допустимой температуры

определяется термостабильностью полимерной композиции, т. е. температурой ее химического разложения.

От вязкости связующего зависит также площадь фактического контакта адгезива с субстратом и, следовательно, степень взаимодействия функциональных групп поверхности контакта, ответственных за адгезионную прочность.

Растворы и дисперсии полимеров получают путем добавления к полимеру (вязкость 10^6 – 10^{13} Па·с) низкомолекулярной маловязкой жидкости (вязкость 0.001 Па·с). При этом вязкость раствора полимера значительно изменяется при изменении концентрации раствора. Абсолютные значения ньютоновской вязкости растворов и дисперсий полимеров с повышением температуры уменьшаются, что обычно связывают с изменением структуры жидкости, происходящим под влиянием теплового движения. При использовании низковязких полимерных связующих изменение концентрации и температуры практически не влияют на вязкость, а следовательно и на пропитывающие свойства. Рабочий температурный диапазон для полимерных дисперсий определяется важным свойством – агрегативной устойчивостью, то есть способностью в рабочем интервале температур не изменять своего состава и свойств.

Массовая доля сухого остатка (концентрация) полимерного связующего выражает часть, которая остается при удалении всех летучих веществ. Высокая концентрация полимерного связующего сокращает время сушки, обеспечивает лучшее склеивание поверхностей при формировании слоистых материалов, но одновременно увеличивает вязкость, что затрудняет его нанесение и пропитку, а также ведет к повышенному расходу связующего.

Смачивание (смачиваемость) – растекание жидкостей по поверхности твердых или жидких сред под влиянием сил поверхностного натяжения. Мерой смачивания является краевой угол между смачиваемой поверхностью твердого тела и касательной к поверхности жидкости на границе смачивания (рисунок 1.11): $\cos\theta = (\sigma_{тг} - \sigma_{тж}) / \sigma_{жг}$, где $\sigma_{тг}$, $\sigma_{тж}$, $\sigma_{жг}$, поверхностное натяжение на границе раздела жидкость – газ, твердое тело – жидкость, жидкость и твердое тело – газ.

По лиофильной (хорошо смачиваемой) поверхности твердого тела жидкость растекается, то есть имеет место частичное ($0 < \theta < 90^\circ$) или полное ($\theta \rightarrow 0$) смачивание. По лиофобной (плохо смачиваемой) поверхности растекания не происходит ($\theta > 90^\circ$).



Рисунок 1.11 – Растекание капли жидкости по поверхности твердого тела

Основными факторами, определяющими смачивание полимерной композицией текстильного материала, являются поверхностное натяжение связующего, равновесный краевой угол смачивания, а также особенности строения и структуры текстильного материала.

Поверхностное натяжение (характеризуется краевым углом смачивания) играет важную роль в процессах капиллярного движения жидкости. Поверхностное натяжение жидкости, как и другие ее свойства, связанные с тепловым движением молекул, зависит от температуры: с ее повышением увеличивается интенсивность теплового движения молекул, вследствие чего межмолекулярные силы ослабляются, и поверхностное натяжение падает приближенно по прямолинейному закону.

Определять краевой угол на текстильных материалах затруднительно из-за шероховатости их поверхности и быстрого впитывания жидкости в волокнистую систему. Существующие методики не позволяют точно определить краевой угол на поверхности ткани, поэтому используют значение краевого угла, которое экспериментально определяется для эталонного капилляра известного радиуса R из уравнения Жюрена [53].

Адгезионная активность связующего зависит от химической природы основного полимера. От адгезионной активности полимерной композиции зависят усилия, необходимые для адгезионного контакта при формировании комбинированных текстильных материалов. С точки зрения химической теории адгезии [54] адгезионная активность связующего зависит от наличия в полимере атомов и групп атомов, способных образовывать физические и химические связи с текстильным материалом. Например, полимерные композиции на основе полиэтилена не содержат в своем составе реакционных групп. При межфазном взаимодействии реализуются межмолекулярные силы, а энергия возможной водородной связи невелика. Полиамидные связующие имеют высокую адгезионную активность к текстильным материалам, что может являться результатом образования координационной связи между атомами азота группы –NH–CO– и атомами макромолекул приповерхностных слоев. Полиакрилаты имеют в своей структуре полярные карбоксильные группы, которые усиливают адгезионную активность. Большинство полимеров, имеющих в своем составе полярные группы, обладают хорошими адгезионными свойствами.

Для приближенного качественного суждения об адгезии различных полимеров могут быть использованы дипольные моменты исходных мономеров [49] (таблица 1.7).

Адгезионные свойства полимеров зависят также от величины прочности связей между его молекулами (*когезионная прочность*). Эти величины, в свою очередь, связаны со структурой и природой групп, входящих в их состав (таблица 1.8).

Таблица 1.7 – Зависимость адгезионных свойств некоторых полимеров от величины дипольного момента мономера

Исходный мономер			Адгезионные свойства полимера
Название	Строение	Дипольный момент, Д	
Этилен	$\text{CH}_2=\text{CH}_2$	0	отсутствуют
Изобутилен	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{CH}_2=\text{C} \\ \\ \text{CH}_3 \end{array}$	0,49	очень слабо выражены
Изопрен	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}=\text{CH}_2 \end{array}$	0,38	хорошие
Стирол	$\text{C}_6\text{H}_5 \text{C} \text{H}=\text{CH}_2$	1,37	слабо выражены
Винилхлорид	$\text{CH}_2=\text{CHCl}$	1,44	удовлетворительные
Хлоропрен	$\begin{array}{c} \text{Cl} \\ \\ \text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}=\text{CH}_2 \end{array}$	1,42	хорошие
Винилацетат	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \\ \text{CH}_2=\text{CH}-\text{O}-\text{C}-\text{CH}_3 \end{array}$	1,72	хорошие

Таблица 1.8 – Молярная когезия полимеров

Полимер	Структура звена	Молярная энергия когезии отрезка цепи длиной в 5А, ккал/моль
Полиэтилен	$-\text{CH}_2-\text{CH}_2-$	1,0
Полиизобутен	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ -\text{CH}_2-\text{C}- \\ \\ \text{CH}_3 \end{array}$	1,2
Полибутадиен	$-\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_2-$	1,1
Полистирол	$\begin{array}{c} \text{C}_6\text{H}_5 \\ \\ -\text{CH}-\text{CH}_2- \end{array}$	2,0
Поливинилхлорид	$-\text{CH}_2-\text{CHCl}-$	2,6
Поливинилацетат	$\begin{array}{c} -\text{CH}_2-\text{CH}- \\ \\ \text{O} \\ \\ \text{O}=\text{C}-\text{CH}_3 \end{array}$	3,2
Поливиниловый спирт	$\begin{array}{c} -\text{CH}_2-\text{CH}- \\ \\ \text{OH} \end{array}$	4,2
Полиамиды	$\begin{array}{c} \text{O} \qquad \qquad \text{O} \\ \qquad \qquad \quad \\ -\text{C}-(\text{CH}_2)_m-\text{C}-\text{NH}- \\ (\text{CH}_2)_n-\text{NH}- \end{array}$	5,8

Макромолекулы, содержащие группы атомов с величиной энергии когезии менее 5,0 ккал/моль, не обладают достаточной адгезией к полярным поверхностям.

Для термопластичных связующих развитие когезии происходит физическим способом в процессе его затвердевания. Усилие (давление) при формировании слоистого материала позволяет улучшить когезионную прочность связующего. Если связующее представляет собой раствор, то процесс формирования происходит при испарении растворителя.

Для терморезактивных связующих процесс образования сшитого полимера происходит непосредственно в процессе формирования. В состав связующего входят различные материалы: олигомер, отвердитель, пластификатор. Часто для отверждения используют нагрев. При этом действует химический механизм отверждения.

Свойства основных органических полимеров, используемых в качестве связующих при формировании комбинированных текстильных материалов, представлены в таблице 1.9. Связующие являются сложными полимерными композициями, в состав которых кроме основного компонента входят пластификатор, растворитель, катализатор, ингибитор, различные модифицирующие добавки.

1.5.2. Используемые добавки в составах полимерных связующих для формирования комбинированных текстильных материалов

Как правило, в состав полимерного связующего вводятся различные добавки, которые оказывают значительное влияние на технологические свойства используемой композиции и специальные свойства готового комбинированного текстильного материала. Добавки могут изменять эластичность, мягкость, вязкость, придавать специальные свойства (огне-, термостойкость, водоотталкивание, антистатические, бактерицидные свойства и другие). Состав добавок, их количество подбирают экспериментальным путем в зависимости от требований к качеству готового материала.

Для повышения эластичности связующего в состав полимерной композиции вводят *пластификаторы* – вещества, которые термодинамически совместимы со связующим полимером, отличаются малой летучестью, достаточной химической стойкостью и улучшают деформационные характеристики полимеров в широком диапазоне температур. Механизм их пластифицирующего действия основан на увеличении подвижности макромолекул и экранировании межмолекулярного взаимодействия.

Таблица 1.9 – Физико-механические характеристики основных органических полимеров и синтетических клеев

Полимер	Плотность, кг/м ³	Температура плавления, °С	Разрушающее напряжение при растяжении, МПа	Относительное удлинение при разрыве, %	Диэлектрическая проницаемость	Теплопроводность, Вт/(м*К)	Теплостойкость, °С	Морозостойкость, °С	Водопоглощение за 24ч., %
Органические полимеры									
Полиэтилен									
ПЭВД	900-935	105-108	10-16	400-600	2.3-2.4	0.33-0.36	120	-46	<0.01
ПЭНД	948-959	125-135	20-30	300-800	2.3-2.4	0.42-0.44	80-90	-57	<0.01
Полипропилен	900-910	160-170	25-40	200-800	2.2-2.4	0.15	130-150	-18	<0.05
Поливинилхлорид	1380-1450	180-220	70-120	10-40	3.2-4.1	0.15-0.16	66-93	-46	0
Полистирол	1050-1080	-	37-45	1.5-3.0	2.5-2.8	0.09-0.14	80-95	-56	0.05
Полиэтилентерефталат	1320-1380	260	120-130	2-4	3.2-3.3	0.15	150	-60	0.8
Полиамид П6	1130	215	55-77	100-150	3.6-4.3	0.27-0.29	90-200	-70	9.5
Синтетические клеи									
Клей	Режим склеивания			Характеристики клеевого соединения					
	Температура, °С	Время, ч	Давление, МПа	Предел прочности при сдвиге, МПа	Термостойкость, °С	Среда, в которой соединение длительно устойчиво			
Фенолформальдегидный	20	4-6	0.2-0.4	10-15	75-100	Вода, бензин, масло, спирты, ароматические углеводороды			
Полиуретановый	20	24	0.05-0.5	10-20	75-125	Вода, масло, спирты, ароматические углеводороды			
Полиакриловый	20	24	0.1-0.3	10-15	50-60	Вода, топлива, масла			
Поливинилацетатный	20	-	контактное	8-12	40	Топлива, масла, алиф. углеводороды			

К наиболее распространенным пластификаторам относятся эфиры ароматических и алифатических кислот, эфиры гликолей, продукты переработки нефти, жирные кислоты, растительные масла.

Использование пластификаторов при формировании материалов декоративно-отделочного назначения ограничивается следующими недостатками: даже незначительная токсичность ограничивает область применения материалов; снижение прочности и стойкостью к термоокислительным процессам; уменьшается устойчивость к воздействию различного рода микроорганизмов; дополнительные затраты на организацию производства. Введение пластификатора в связующее с высокой вязкостью, у которого тепловое движение молекулярных цепей затруднено, может способствовать диффузии и, следовательно, повышать адгезию и прочность соединения связующего с текстильным материалом. Введение же пластификатора в сравнительно низковязкое связующее будет ухудшать адгезию и снижать механические свойства.

Для защиты комбинированных текстильных материалов от старения в состав полимерной композиции вводят *стабилизаторы*. Стабилизаторы вводят в небольших количествах (0.01 – 2 % по массе) при получении основного связующего полимера. В качестве стабилизаторов используют ароматические амины, производные фенолов, высокодисперсные (коллоидные) металлы.

Сшивающие агенты вводят в состав полимерной композиции для сшивки макромолекул и превращения полимеров в неплавкие и нерастворимые вещества с целью придания комбинированным текстильным материалам определенного комплекса потребительских и эксплуатационных свойств. В качестве сшивающих агентов используют вещества, участвующие в реакциях конденсации (гликоли, диамины, изоцианаты и др.), а также вещества, инициирующие процессы полимеризации (перекиси, нафтенаты и др.).

К *специальным компонентам* полимерной композиции относят вещества, придающие материалам такие свойства, как:

- уменьшение горючести, повышение устойчивости к действию высоких температур (антипирены);
- снижение статической электризации (антистатики);
- снижение биологической повреждаемости (антимикробные добавки);
- придание водо-, масло-, грязеоталкивания (гидро-, олеофобизаторы).

Виды и способы придания специальных свойств выбираются в зависимости от сырьевого состава и назначения комбинированного текстильного материала (рисунок 1.12).

Известен способ обработки текстильного материала путем пропитки полиуретановой композицией с последующей сушкой и термообработкой, причем в полиуретановой композиции используют фторполимер на основе политетрагидрофурандиола и толуилендиизоцианата.

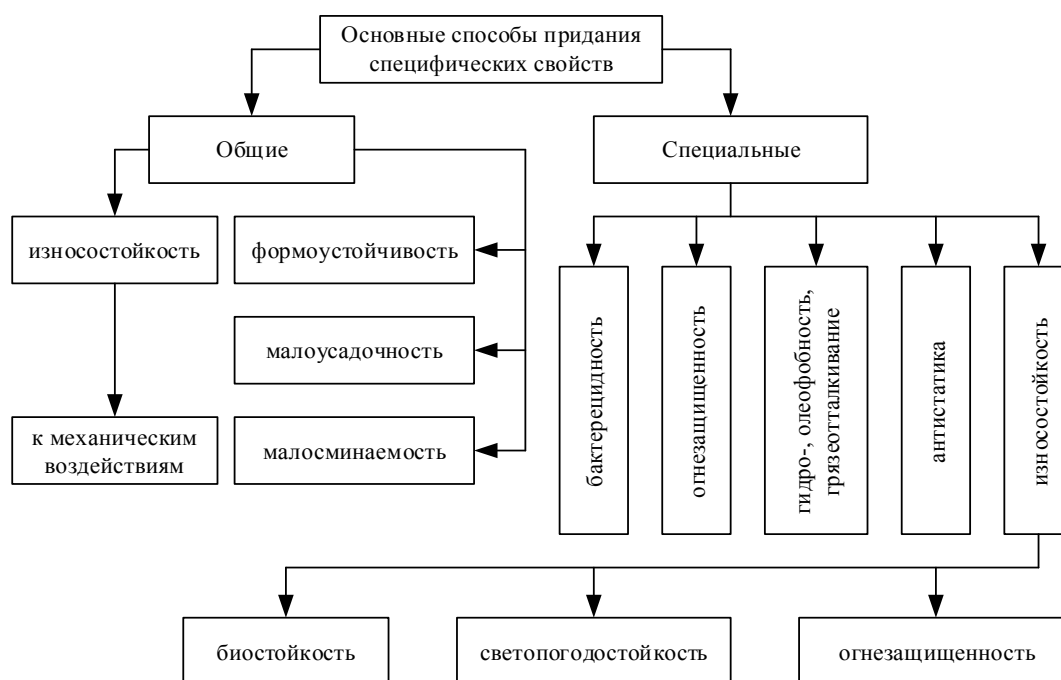


Рисунок 1.12 – Классификация способов придания специальных свойств

Пропитку осуществляют в присутствии в качестве отвердителя ароматического диамина в среде органического растворителя. [55]. Данная обработка обеспечивает материалу водоупорность и повышенные механические характеристики, но при этом огнестойкость материала и его устойчивость к мокрым обработкам остаются на недостаточном уровне.

Для формирования водонепроницаемый и огнетермостойких свойств используются перфторполимеры Teflon® AF (DuPont), Hyflon® AD (Solvay Solexis) и Cytop® (Asahi Glass) с добавками, например, вспениваемый графит [56]. Вспениваемый графит своим действием предотвращает горение в случае контакта с теплом. Пористые свойства вспениваемого графита препятствуют передаче тепла и предотвращают горение текстильного композита.

В качестве пропитки при изготовлении материалов для технических изделий, в том числе защитных чехлов, тентов, отдельных слоев многослойных композиционных материалов используется 15–20%-ный раствор диизоцианата-4,4'-дифенилметандиизоцианат ϵ -капролактама в органическом растворителе, а затем 5–10%-ный водный раствор фосфорборсодержащего полиола. В качестве органического растворителя используют толуол, гексан, бензол. В результате обработки композицией указанного состава материалы приобретают огнестойкость, устойчивость к мокрым обработкам при сохранении высоких физико-механических свойств [57].

Недостаток указанных составов связующих – присутствие органических растворителей, ухудшающих экологичность производства и материалов.

Для получения декоративного комбинированного материала с высокими санитарными свойствами: звукопоглощением и антистатикой, обеспечивающими

безопасную среду обитания человека предложено [58] вододисперсное полимерное связующее с наполнителями: каолин, клиноптилолита и микрокристаллическую целлюлозу порошковую. Получаемые слоистые материалы обладают высокими антистатическими и звукопоглощающими свойствами.

Для создания огнестойких комбинированных текстильных материалов, обладающих заданным комплексом физико-механических свойств по функциональным назначениям предложен состав на основе поливинилхлоридной композиции с добавкой антипирена [59]. Полимерное связующее наносится на полиэфирную ткань предварительно пропитанную силиконовой эмульсией и смесью полифосфорных кислот и мочевины.

Характеристика некоторых видов специальной обработки представлена в таблице 1.10.

Таблица 1.10 – Характеристика некоторых видов специальной обработки

Наименование специальной обработки	Характеристика обработки
Жесткая	Придание жесткости путем аппретирования водной дисперсией поливинилацетата, стирол-акрилата, поливиниловым спиртом с последующей сушкой и термофиксацией
Малосминаемая и малоусадочная	Пропитка раствором предконденсатов (термореактивные смолы – карбамол, метазин и др.) с последующими сушкой, термообработкой, промывкой и сушкой. Недостаток – потеря прочности на 20 – 40 %.
«Стирай – носи»	Пропитка раствором предконденсатов на основе карбамола, метазина
Водоотталкивающая	Покрытие гидрофобными эмульсиями (силиконы, хромолан, фторорганические соединения и др.), улучшаются водоотталкивающие свойства при сохранении паро- и воздухопроницаемости
Водонепроницаемая	Сплошное покрытие изнаночной стороны ткани пленками из резиновой смеси или на базе синтетических смол
Антистатическая	Обработка поверхностно-активными веществами, снижающими поверхностное электрическое сопротивление (алкомон ОС-2, эпамин-06, тетрамон С)
Грязеотталкивающая	Обработка препаратами, обладающими одновременно водоупорностью и маслостойкостью
Противогнилостная	Обработка антисептическими веществами (соли хрома, меди, ртути, свинца, соединения меди, органические соединения – производные фенола, салициловой кислоты, серы)
Огнеупорная	Пропитка растворами аммонийных фосфорно-кислых солей магния и кремния, способных при нагревании выделять газы, препятствующие распространению пламени
Масло-, водоотталкивающая отделка	Снижение способности волокнистых материалов поглощать грязь в виде жидких масел, а также в виде водных растворов суспензий и эмульсий различных веществ. Для маслоотталкивающей отделки применяются фторсодержащие органические соединения, сообщающие текстильным материалам одновременно гидрофобные и олеофобные свойства

1.6. Анализ способов формирования комбинированных текстильных материалов

1.6.1. Формирование комбинированных каркасных текстильных материалов

Технология формирования комбинированных *каркасных текстильных материалов* состоит из операции формирования текстильного каркаса – тканого, трикотажного или нетканого полотен, с последующим заполнением его порового пространства полимерным связующим различными способами пропитки. Пропитка текстильного материала может осуществляться без давления и под давлением. Известны следующие способы пропитки: пропитка погружением в ванну, протягиванием через ванну с полимерным связующим, пропитка контактным роликом, пропитка напылением связующего, пропитка под давлением, вакуумные метод, центробежная пропитка [6, 23]. Пропитка может осуществляться комбинированными способами.

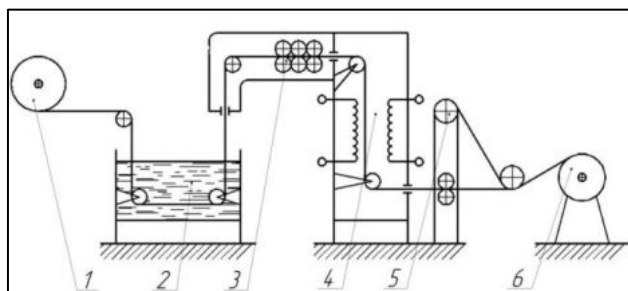
В процессе пропитки без давления (самопроизвольная пропитка) полимерное связующее смачивает поверхность и проникает в межволоконное пространство под действием сил поверхностного натяжения и силы тяжести, преодолевая силы вязкого трения [14]. Самопроизвольную пропитку осуществляют протягиванием через ванну с полимерным связующим, контактным способом или напылением.

При пропитке под давлением скорость продвижения связующего по межволоконным капиллярам и порам увеличивают наложением дополнительных сил: вакуумная, пневматическая, центробежная экструзионная пропитка.

С точки зрения технологического упрощения, снижения трудоемкости и энергетических затрат процесса пропитки, наиболее предпочтительным представляется метод капиллярного подъема. При этом расход связующего и интенсивность пропитки будут зависеть от пористости текстильного материала, способа его изготовления и пропитывающих свойств связующего [6].

Способ пропитки погружением в ванну используется при формировании изделий различной формы и заключается в погружении изделия в ванну с полимерным связующим. Возможно формировать и рулонные композиционные материалы путем полного погружения рулона текстильного материала в ванну с полимерным связующим. Достоинством данного способа является возможность пропитывать полотна любой толщины. Основной недостаток – длительность для получения требуемой полноты пропитки, так как содержащийся внутри пор волокнистого материала «защемленный» воздух не позволяет проникать связующему в структуру полотна.

Наиболее распространенным способом формирования рулонных материалов является способ протягивания через ванну с полимерным связующим (рисунок 1.13).



1 - рулон текстильного полотна; 2 - ванна с полимерным связующим; 3 - отжимные ролики; 4 - сушильная камера; 5 - направляющий ролик; 6 - рулон с готовым текстильным композиционным материалом.

Рисунок 1.13 – Схема пропитки текстильного материала протягиванием через ванну с полимерным связующим

Пропитка текстильного полотна протекает за счет действия различных сил, давление пропитки складывается из капиллярного, гидростатического и атмосферного давления. Основной движущей силой пропитки является капиллярное давление. Способ обладает высокой производительностью, но рекомендован для материалов толщиной до 1,5 мм. Для достижения высокого содержания вещества связующего в материале проводят двукратное или многократное протягивание полотна через пропиточную ванну.

Для интенсификации пропитки используют вакуумирование, увеличение давления над свободной поверхностью связующего (пневматическая пропитка), возбуждением в связующем акустического давления (пропитка с наложением механических колебаний), наложением на связующее центробежных сил (центробежная пропитка) [23].

Из способов вакуумной пропитки известен метод VARTM (Vacuum Assisted Resin Transfer Molding) [60], используемый для формирования полимерных композиционных материалов конструкционного назначения, в частности изделий сложной формы с использованием термореактивных связующих вязкостью до 600 мПа·с. Скорость движения полимерного связующего через текстильный материал определяется законом фильтрации Дарси. Метод совмещает операцию пропитки с формированием детали или изделия заданной формы и размеров. Полимерное связующее закачивается в форму за счет разряжения, создаваемого под вакуумным мешком (рисунок 1.14).

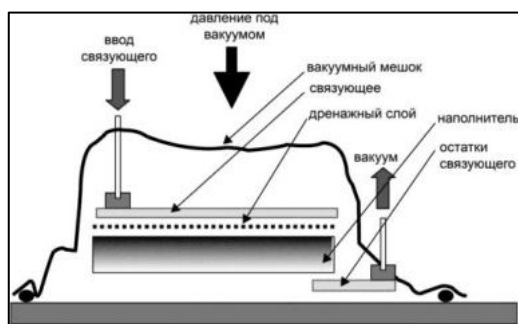
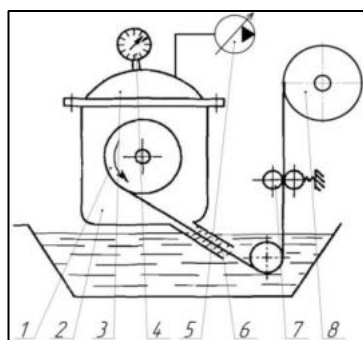


Рисунок 1.14 – Схема вакуумной пропитки методом VARTM

Использование технологии VARTM возможно и для пропитки рулонных материалов, при этом необходимо применять плоские формы и различные способы укладки текстильного материала.

Одна из возможных технологий вакуумной пропитки рулонных материалов представлена на рисунке 1.15 [23].



1 - рулон текстильного полотна, 2 - герметичная вакуумная камера, 3 - крышка вакуумной камеры, 4 - вакуумметр, 5 - вакуумная система, 6 - фильера, 7 - отжимные валки, 8 – рулон с готовым материалом

Рисунок 1.15 – Схема вакуумной пропитки рулонного текстильного полотна

Текстильное полотно (1), помещенное в герметичную камеру (2), протягивается через фильеру (6), пропитывается связующим и после отжима (7) наматывается на рулон с готовым материалом, далее подается в сушильную камеру.

Недостатками методов вакуумной пропитки является трудность воспроизводимости процесса, контроля количества связующего поступающего в изделие или материал. Бесспорным преимуществом метода является более полное заполнение полимерным связующим порового пространства из-за отсутствия в них воздуха. Для реализации метода вакуумной пропитки требуется специальное оборудование, что препятствует внедрению технологий на

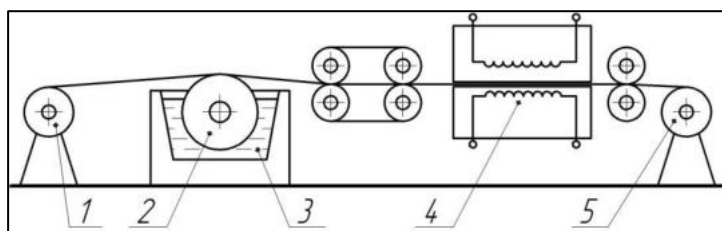
текстильных предприятиях с традиционными способами отделки текстильных материалов.

Применяют комбинированный способ, совмещая вакуум и избыточное давление - *пневмовакуумный* [23]. Способ позволяет достигнуть высокого содержания полимера и улучшить качество распределения в материале. Для осуществления вакуумной пропитки пропиточные установки снабжают специальной вакуумной камерой через которую проходит волокнистый материал. Связующее поступает в межволоконное пространство под давлением. Этот способ целесообразно применять при формировании пакетов большой толщины до 50 мм. В частности, авторы патента [61] предлагают установку для пневмовакуумной пропитки древесины, канатов, картона защитными или окрашивающими проточными растворами. Способ включает загрузку материала в камеру, заполнение ее пропиточной жидкостью с последующей герметизацией, создание в камере разряжения, подачи пропиточной жидкости под давлением, выдержку материала, снижение давления до атмосферного, откачку жидкости и извлечение материала из камеры.

Способ центробежной пропитки осуществляется в специальных осесимметричных формах при их вращении с заданной частотой. Предварительно полимерное связующее равномерно распределяется по поверхности материала. Пропитка происходит в результате действия центробежных сил, максимальная толщина пропитываемых материалов 1,5 мм.

В патенте [62] предлагается использование совмещенного способа центробежной пропитки и отжима для заключительной отделки текстильных материалов, используемых в парашютных системах. Пропитку отрезков синтетических и искусственных текстильных материалов, уложенных в виде мотков в корзину, производили в центрифугальном гидроэкстракторе. При вращении корзины с угловой скоростью около 650-750 об/мин образовывалась центробежная сила, которая формировала у ее стенок избыточное давление и прогоняла пропиточный раствор насквозь через массу текстильного материала.

К способам самопроизвольной пропитки относится *пропитка контактным роликом* (рисунок 1.16).



1 - рулон текстильного полотна, 2 - контактный ролик, 3 - ванна с полимерным связующим, 4 - сушильная камера, 5 - рулон готового материала

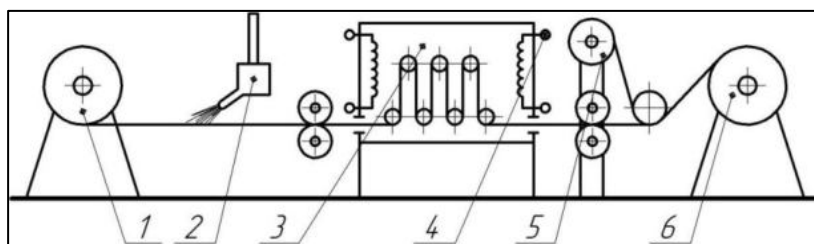
Рисунок 1.16 – Схема пропитки текстильного полотна контактным роликом

Пропитка текстильного полотна осуществляется при контакте с погруженным в полимерное связующее роликом. Полимерное связующее проникает в волокнистый материал под действием капиллярных сил и сил тяжести. Способ рекомендован для пропитки материалов с низким модулем упругости, в частности из борных и базальтовых волокон.

Способ также применяется в текстильном отделочном производстве для заключительной обработки тканых полотен. В работе [63] описан способ который состоит в том, что ткань предварительно запаривают, затем наносят контактным методом пропиточный раствор сначала на одну сторону ткани с последующим продавливанием раствора в толщу ткани, а затем наносят раствор на другую сторону ткани.

Способ пропитки контактным роликом позволяет пропитывать ткани, ленты, полотна на толщину до 0,7 мм.

Для пропитки текстильных материалов больших размеров используют способ напыления связующего, схема которого представлена на рисунке 1.17.



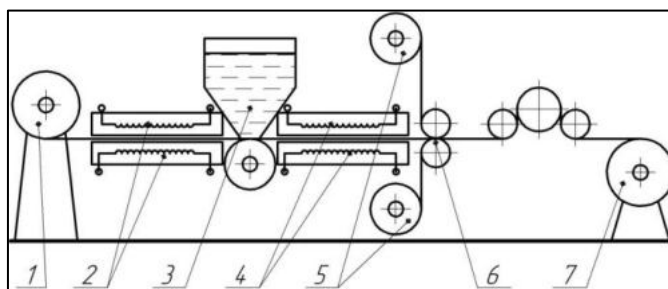
1 - рулон текстильного материала, 2 – распыляющее устройство, 3 - сушильная камера, 4 - нагреватель, 5 – рулон разделительного материала, 6 – рулон готового материала

Рисунок 1.17 – Способ пропитки напылением полимерного связующего

Способ используют в случае нанесения полимерного связующего с ограниченным временем жизнеспособности при комнатной температуре, глубина пропитки до 1,5 мм.

Для формирования рулонных текстильных композиционных материалов нашел применение способ пропитки под давлением (рисунок 1.18), заключающийся в следующем: текстильный материал предварительно подогревается для предотвращения повышения вязкости полимерного связующего, поступает в зону пропитки, куда нагнетается полимерное связующее. Предварительный подогрев текстильного материала позволяет частично удалить заземленный в порах воздух, что облегчает пропитку.

Способ используется и для формирования изделий заданной формы [64], при этом волокнистый материал укладывается на поверхность пуансона и обжимается матрицей до требуемой толщины.



1 - рулон текстильного полотна, 2 - камера подогрева текстильного полотна, 3 - термостат со связующим, 4 - обогреватели зоны пропитки, 5 -рулоны разделительного материала, 6 - каландры, 7 - рулон готового материала

Рисунок 1.18 – Пропитка текстильного полотна под давлением

В образующуюся замкнутую полость под избыточным давлением нагнетается связующее, которое, проходя по каналам между волокнами наполнителя, осуществляет их пропитку и выходит через сток. Для повышения качества пропитки пакет наполнителя можно предварительно вакуумировать.

Для повышения эффективности пропитки способ пропитки под давлением совмещают с предварительным нагреванием и вакуумированием текстильного полотна [65]. Нагрев производят до температуры, превышающей температуру связующего в ванне. Установка для пропитки длинномерного текстильного полотна содержит камеру вакуумирования, герметичную пропиточную ванну, соединенную с емкостью для приготовления и подачи связующего, систему вакуумирования и средства отбора готового материала.

Способ пропитки под давлением позволяет пропитывать текстильные материалы толщиной 0,1 – 2 мм.

Большинство рассмотренных способов пропитки используются при производстве полимерных композиционных материалов конструкционного назначения и требуют специального дорогостоящего оборудования. Для реализации технологии формирования комбинированных текстильных материалов способом пропитки в условиях предприятий текстильной и легкой промышленности наиболее подходящим является *метод протягивания через ванну с полимерным связующим* с последующей сушкой материала. Способ может осуществляться на существующем в текстильном отделочном производстве оборудовании без его модернизации и капитальных вложений.

Использование способа пропитки при формировании комбинированных текстильных материалов позволяет:

- организовать поточное производство;
- сократить технологический процесс формирования комбинированного текстильного материала с заданными свойствами;

- создать новый ассортимент с заданными физико-механическими и эксплуатационными свойствами на существующем на текстильных предприятиях оборудовании;
- придавать специальные свойства путем варьирования составом полимерного связующего.

1.6.2. Формирование комбинированных слоистых текстильных материалов

Комбинированными слоистыми текстильными материалами называют группу материалов, состоящих из однородных или разнородных слоев, соединенных в единую структуру следующими способами: клеевым, прессованием, нанесением полимерного покрытия, термическим и прошивным. [9, 10, 13]. Каждый из способов имеет свои преимущества и недостатки.

Различают способы, позволяющие соединять однородные текстильные компоненты, а также текстильные компоненты с другими материалами (бумага, металлические или полимерные пленки, сетки и т.д.) в плоскую слоистую структуру.

Соединение в слоистую структуру однородных компонентов чаще всего происходит при формировании нетканых материалов. Например, нетканые материалы, получаемые из расплавов полимеров с водоструйной или воздушной укладкой волокнистой массы, применяемые фирмами «C-airlaid» (Россия), «Fist Quality Nonwovens» (США). Такие материалы выпускаются в виде рулонов для переработки в товары гигиены, технического сектора, медицины, фильтрации [65]. Фильтрный способ, заключается в непосредственном формовании синтетических нитей или волокон из расплавов полимеров с одновременной укладкой их в холст. При укладке в холст нитей (волокон) в размягченном состоянии получают готовое нетканое полотно благодаря склеиванию нитей между собой [66, 67]. Этот способ известен под названием *spunmelt* (спряденный из расплава) [68].

Фирмой Sandler (Германия) разработан ряд слоистых нетканых материалов гигиенического и фильтровального назначения, выпускаемых по технологии прямой переработки полимера в холст [69].

Анализ патентных и литературных источников позволяет выделить следующие основные способы формирования однородных слоистых текстильных композиционных материалов на основе нетканых полотен:

- химический, заключающийся в пропитке слоев нетканых полотен раствором или дисперсией полимерного связующего с последующей сушкой и, при необходимости, термофиксацией;

- термический, основанный на размягчении и сплавлении между собой термопластичных химических волокон не разрушающихся при температуре размягчения;
- механический, при котором нетканые полотна соединяются между собой за счет переплетения волокон (иглопробивной, гидроструйный).

Компания Freudenberg Vliesstoffe KG (Германия) предлагает потребителям широкий ассортимент слоистых нетканых материалов *химического способа формирования* для использования в качестве кровельных материалов, стеклообоев, напольных покрытий и др. [70]. Нетканые материалы Viledon® серии FRP изготавливаются на основе холстов, сформированных и равномерно распределенных химических волокон различных видов. Скрепление холстов осуществляется с помощью химических связующих, в качестве которых наиболее часто применяются термореактивные.

Известны способы формирования однородных слоистых материалов с использованием в качестве составляющих слоев пряжи, тканей, а также трикотажных полотен [71, 72, 73]. Немецкими учеными разработан способ формирования слоистого однородного материала способом пропитки волокнистого материала пластичным полимерным веществом. В качестве волокнистого материала, образующего основу композиционного материала, может использоваться пряжа, ткань или нетканый материал. Используемое полимерное связующее обладает высокой эластичностью, а также высокой стойкостью к истиранию и пиллингоустойчивостью [71].

Термический способ формирования однородных слоистых материалов заключается в соединении нетканых полотен, содержащих термопластичные волокна. В США разработан слоистый нетканый материал [72], который содержит первый слой, состоящий из 50–90 % по массе нетермопластичных абсорбирующих волокон и из 10–50 % по массе термопластичных волокон. Второй слой, состоящий из 50–90 % по массе нетермопластичных абсорбирующих волокон и из 10–50 % по массе термопластичных волокон. Соединение слоев происходит в результате сплавления термопластичных волокон при действии температуры размягчения волокнообразующего полимера.

Известен способ получения звукопоглощающих слоистых однородных материалов для машиностроения, транспорта и строительства [73] с высокими акустическими характеристиками, изгибной жесткостью и следовательно конструктивной прочностью. Способ заключается в соединении двух слоев нетканых материалов из смеси полимерных или полимерных и льняных волокон. Перед соединением один из слоев подвергается термоформованию сжатием при температуре не ниже температуры плавления полимерного материала волокон до увеличения объемной плотности в 2–6 раз. Соединение осуществляется путем

совместного прессования непрогретого слоя исходной плотности и слоя, подвергнутого термоформованию.

В швейной и обувной промышленности используется многослойный нетканый материал из синтетических волокон. Собирается многослойный пакет, состоящий по крайней мере из одного внешнего слоя нетканого волокнистого полотна и внутреннего слоя термопластичного полимера, после иглопрокалывания многослойного пакета проводится термообработка при температуре 1,0–1,7 температуры плавления пленки из термопластичного полимера [74]. Способ позволяет упростить и повысить экологическую безопасность технологии получения слоистых материалов, состоящих из нетканых холстов, получить воздухо- и паропроницаемый слоистый материал с рядом высоких защитных, формовочных и эксплуатационных свойств.

Известны способы формирования слоистых однородных материалов из нетканых полотен предварительно соединенных в единую структуру *механическим, физико-химическим или комбинированным способом*.

Фирмой «Societe National Etude» (Франция) предложен слоистый материал, изготовленный из нетканых полотен. Волокнистый наполнитель формируется в виде матов из однонаправленных непрерывных волокон, уложенных одни на другие в поперечном направлении. Волокнистый мат иглопрокалывают, получая скрепленную, плотную структуру армирующего слоя, после чего его карбонизируют. При последующей обработке волокна полуфабриката не смещаются, равномерно и монолитно размещаясь в композиционном материале [75].

Необходимо отметить, что использование нетканых полотен для формирования слоистых однородных материалов является наиболее быстро развивающимся направлением. Преимуществами таких материалов являются: высокие прочностные характеристики, возможность использования разнообразного волокнистого состава, наибольшее применение находят полиэфирные и полипропиленовые волокна. Однако, при производстве материалов декоративно-отделочного назначения их применение возможно только в качестве подложки, основы для нанесения декоративного слоя. Основные области применения слоистых материалов на основе нетканых полотен тепло-, шумоизоляционные, фильтровальные, медицинские, гигиенические материалы.

К комбинированным слоистым текстильным материалам, состоящим из разнородных слоев можно отнести: искусственные кожи, технические композиты самого различного назначения [15], материалы и покрытия замшеподобного вида [76, 77], а также многослойные металлизированные материалы используемые в производстве спецодежды пожарников, рабочих горячих цехов, для защиты от

магнитных полей, от фотохимического воздействия лучей, для защиты от теплоизлучения [78].

Метод нанесения полимерного покрытия используется для формирования многослойных материалов как одежного, так и технического назначения. На текстильную основу наносят полимерную композицию: полиуретановую, поливинилхлоридную, полиамидную, полиэтиленовую, кремнийорганическую или каучуковую (бутилкаучуковые, фторкаучуковые, силоксановые) [79, 80].

Существуют различные способы нанесения полимерного покрытия на текстильный материал [81, 82].

Ракельный способ заключается в нанесении полимерной композиции на текстильное полотно с частичным вдавливанием в капиллярно-пористую структуру ткани, последующим удалением ее излишков с поверхности материала и выравниванием.

Например, многослойный материал типа кожи [79], который используется для изготовления галантерейных изделий широкого ассортимента. Многослойный материал включает лицевой слой, выполненный в виде текстильной основы с поверхностной плотностью $100\text{--}350 \text{ г/м}^2$, состоящей из хлопковых волокон, или из смеси хлопковых и химических волокон в различных соотношениях. Изнаночный слой – полимерная композиция, состоящая из поливинилхлорида, пластификатора и стабилизатора. Глубина проникновения полимерного покрытия составляет $0,10\text{--}0,25 \text{ мм}$ по толщине тканого полотна.

Предложен способ формирования декоративного многослойного материала, предназначенного для отделки галантерейных изделий, колясок, мебели, а также для внутренней отделки помещений на наносно-сушильном оборудовании [80]. Декоративный многослойный материал содержит текстильную основу, поверхностной плотностью $80\text{--}340 \text{ г/м}^2$, состоящую из натуральных волокон или натуральных и искусственных волокон, или натуральных и синтетических волокон, или натуральных, искусственных и синтетических волокон и полимерное покрытие, которое наносится ракельным способом.

Способ нанесения вспененного покрытия. Этот способ широко используется для изготовления защитных перчаток, напольных и настенных покрытий. Изделие из тканого или трикотажного материала погружают в раствор коагулянта, далее вынимают и погружают в раствор вспененного полимера, промывают и нагревают до температуры вулканизации [83, 84].

Способ нанесения вспененного покрытия используется для формирования мембранных слоев [85, 86].

По технологии авторов [85] на верхний слой текстильного полотна наносят полимер мембраны с помощью ножевой ракли и после коагуляции, отмывки и сушки его дублируют со стороны мембраны трикотажным полотном. Пористый

слой мембранного покрытия состоит из полиэфируретана, диметилформамида, микрокристаллической целлюлозы и поверхностно-активного вещества.

Нанесения мембранного покрытия применяется для производства одежды и материалов технического назначения с водонепроницаемыми свойствами, широко используется метод – membrane coating, либо клеевой – membrane laminated.

Способ переводного покрытия. Заключается в том, что сначала покрытие наносится на бумагу для формирования пленки, затем пленка растворяется на ткани [82, 87]. Сшивка происходит за счет нагревания и ламинирования полимерного слоя. Этот метод используется для придания мебели определенных свойств с помощью покрытия, так же таким образом изготавливаются чехлы для матрасов и обивка для автомобильных кресел, используется для нанесения ковровых покрытий.

Способ каландрирования. Каландрирование – процесс формования и обработки полимеров на специальных агрегатах, главной частью которых является каландр [88]. Формирование слоистого текстильного материала происходит при прохождении через каландры – валы. Каландры могут использоваться для формования тонкой полимерной пленки; нанесения слоя полимерного связующего на материал основы; дублирования полотен из тканых и нетканых материалов [89]. Так, например, по технологии производства нетканых материалов строительного, отделочного назначения соединяют два нетканых слоя, расположенной между ними сетки из стекловолокна и полимерного связующего каландрированием с последующей сушкой и термофиксацией.

При нанесении пленки полимерного связующего на текстильное полотно каландрированием возможно получать ровное покрытие в диапазоне от около 0,1 до 1,5 мм. Для получения более низкой толщины, требуется высокая нагрузка на каландр. Достоинством данного способа является высокая скорость формирования слоистого материала, недостатком – каландровый эффект.

Способом каландрирования получают материалы гигиенического назначения. В патенте [90] предложен способ согласно которому нетканое полотно и образующая микропоры, термопластичная пленка поступают в щель между каландрами, образуя ламинированное полотно. В результате последующей инкрементальной вытяжки при температуре окружающей среды формируется тканеподобный микропористый слоистый материал.

Экструзионный способ. Состоит в покрытии горячим расплавом термопластичных полимеров (полиуретан, полиолефины, поливинилхлорид) на текстильное полотно. Полимер подается в виде гранул в зазор между подвижными термовалками, гранулы плавятся за счет высокой температуры и сдвиговых усилий на валке. Полученная пленка прессуется на тканевую подложку на дублирующих валках, возможно нанесение адгезива на ткань [84]. Этот процесс используется для получения легких весовых покрытий или брезента.

В вышеупомянутом патенте [90] предлагается и второй способ формирования слоистых материалов гигиенического назначения – экструзионное ламинирование поверхности полотна путем непрерывной экструзии в щель образующего микропоры экструдата при температуре выше точки его размягчения с последующей вытяжкой ламинированного полотна. Получаемый материал проницаем для воздуха и паров влаги, но не проницаем для жидкости и имеет сходство с тканью, создавая ощущение мягкого нетканого полотна.

Экструзионным способом получают воздухопроницаемые слоистые композиционные материалы для одежды и изделий одноразового использования. Материал содержит эластомерную пленку, нанесенную посредством экструзионного наплавления на ваточный холст, предусмотренный у одной поверхности или у обеих поверхностей пленки. Эластомерная пленка имеет нерегулярную текстуру макроотверстий, сформированных в ней посредством дискретного растяжения, имеющих диаметр от 10 мкм до 100 мкм. Пленка содержит порообразующий наполнитель [91].

Технологии формирования слоистых текстильных материалов вышеуказанными способом нанесения полимерного связующего позволяют получать широкий ассортимент материалов самого различного назначения. Однако, имеют следующие недостатки:

- высокая стоимость полимерных связующих, наносимых на текстильный материал;
- значительные энергозатраты;
- загрязнение окружающей среды из-за возможности выделения токсичных веществ при использовании в технологии горячих расплавов полимерных связующих;
- необходимость применения дополнительного дорогостоящего оборудования для нанесения полимерной пленки на текстильную основу;
- увеличение цепочки технологического процесса получения слоистого композиционного текстильного материала, как следствие – удорожание конечного продукта.

Большую группу слоистых композитов составляют материалы, полученные *клеевым способом* соединения разнородных слоев. Клеевой способ является простым и позволяет получить двухслойные и многослойные материалы, используемые в производстве обуви, одежды бытового назначения, специальной одежды (огне- и химзащитной, форменной, спортивной и т.д.), а также изделий технического назначения (обивочные, укрывные и тентовые материалы и т.д.). В качестве декоративного слоя используют тканые или трикотажные полотна, а материала основы различные нетканые полотна. В качестве полимерного связующего используют полиамидный, полиэтиленовый, полипропиленовый,

полиэфирный, полиуретановый, поливинилхлоридный клеи, а также разнообразные сополимеры - акриловые, сополиамидные, поливинилацетатные и другие клеевые композиции [9, 10]. Связующее используется в виде порошков, нитей, паутинок, пленок, растворов и расплавов. Соединение слоев осуществляется, как правило, горячим прессованием, пропуская материалы между нагретым и прижимным валами каландра или на прессах проходного типа с последующим охлаждением полученного материала [10, 80, 92].

Известны комбинированные слоистые материалы на основе нетканых полотен из натуральных и химических волокон, полученные способом термокаландрирования или термопрессования [93, 94]. Например, материал, для фильтров, который получен ламинированием двух нетканых полотен и полиэфирной сетки. Первое нетканое полотно состоит из полиэфирных волокон разной линейной плотности и полиэфирных волокон с низкой температурой плавления в поверхностном слое. Второе полотно состоит из полиэфирных волокон линейной плотности 0,22 текс. Оба нетканых материала вместе с полиэфирной сеткой образуют материал с поверхностной плотностью 500 г/м². Далее материал подвергается термокаландрированию и иглопрокалыванию для соединения слоёв.

Авторами [95] предложен способ формирования защитной одежды методом термоклеевого дублирования с использованием клеевых материалов с двухсторонней клеящей способностью. Преимущество данного способа соединения является возможность формирования в объеме композита полостей между слоями, заполненных воздухом, жидкостью или другим наполнителем, например волокнами, порошком, гранулами. Такой способ позволяет регулировать свойства готового слоистого материала в широких пределах.

Фирмой Kafus Biocompositos (США) получены слоистые композиты состоящие из натуральных растительных волокон и синтетических термопластичных связующих [94]. Композитный материал под действием тепла и давления прессуется в трехмерные детали, такие как дверные панели, спинки сидений, приборные панели и другие детали интерьера. Их применение ускоряет производственный процесс, снижает издержки производства и обеспечивает получение более легких и прочных готовых изделий.

Недостатком способов формирования комбинированных слоистых материалов с использованием термопластичных связующих либо связующих на основе синтетических смол является необходимость применения энергозатратного оборудования.

Для изготовления слоистых текстильных материалов с высокими электростатическими свойствами используют металлизацию поверхности текстильного материала. Металлические покрытия наносят на полотна различными способами [96, 97, 98]: гальванический, газофазный, клеевого

дублирования. Наиболее перспективным и экологическим способом напыления металлического слоя является метод магнитронного распыления – применение низкотемпературной плазмы [99, 100].

Способы металлизации позволяют получать текстильные материалы, обладающие специфическими свойствами, однако имеют недостатки: повышенная энергоемкость, дороговизна металлических мишеней, повышенная вредность побочных продуктов.

Технологии прошивного соединения слое нашла применения в производстве пакетов материалов для швейных изделий и заключается в соединении двух и более текстильных полотен нитками на стегально-прошивных машинах [101, 102].

1.6.3. Формирование слоистых ворсовых текстильных материалов

Значительное место в ассортименте комбинированных слоистых текстильных материалов декоративно-отделочного назначения занимают ворсовые покрытия, в частности флокированные. Флокированные материалы используются для галантерейных, обивочных, обувных, швейных целей, а также создания объемных ворсовых материалов игрушек, перчаток с внутренним ворсовым слоем и др.

Известным способом формирования ворсовых покрытий является электрофлокирование [103, 104, 105]. Электрофлокирование это ориентированное осаждение в электрическом поле относительно коротких волокон (0,3–1,0 мм) на материал основы, с предварительно нанесенным полимерным связующим [104]. Флок – мелко-порубленные или нарезанные текстильные волокна (мононити) различного происхождения (натуральные или химические), отличающиеся по длине, цветам, толщине.

Последовательность технологических операций и принципиальная схема электрофлокирования рулонных материалов представлены на рисунке 1.19 и 1.20 соответственно.

Полотно основы 1 проходит в электрическом поле, которое создается между электродами 2 и 4 с помощью источника высокого напряжения 5; в этой зоне осуществляется зарядка и ориентация волокон 3. Термофиксация ворсового покрытия осуществляется в сушильной камере 6. В состав линии могут входить дополнительные устройства, как например, ракельное устройство для нанесения влаги и гладильное обогреваемое и прессующие валки, установленным перед клееносущим устройством, предназначенные для влажно-тепловой обработки основы флокируемого материала с целью исключения имеющихся на поверхности неровностей [106].

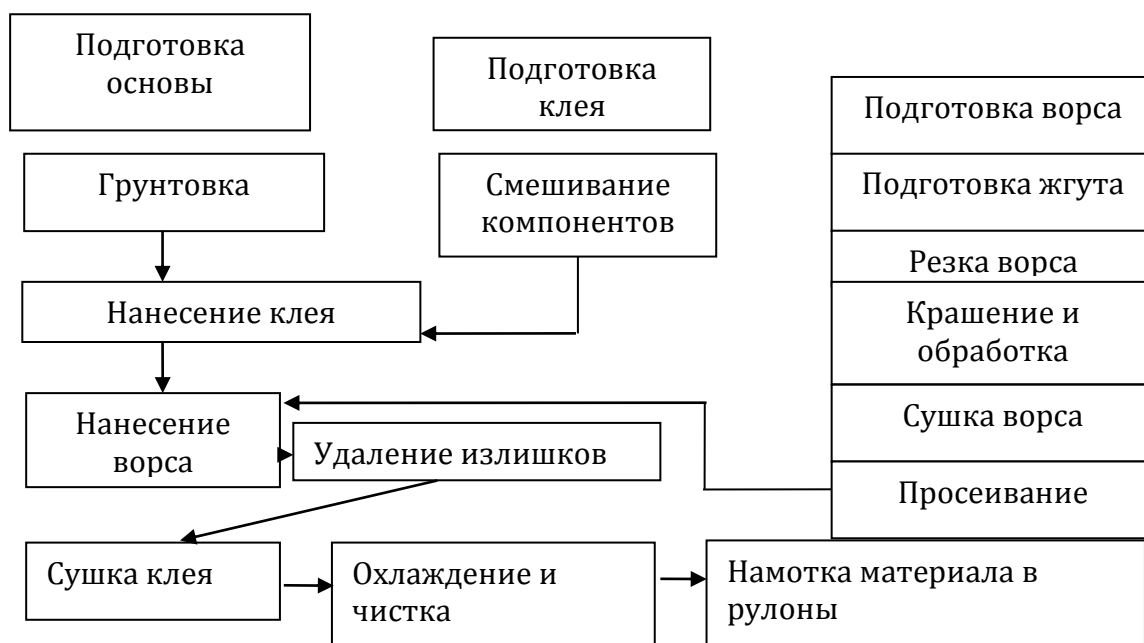
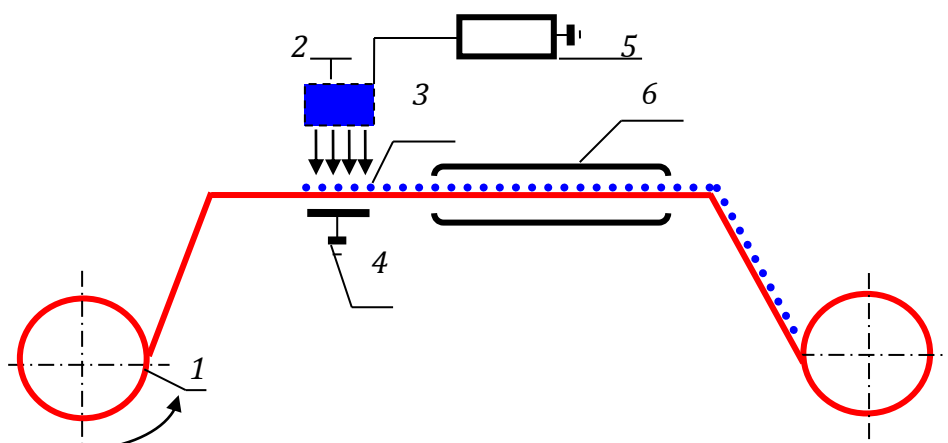


Рисунок 1.19 – Последовательность технологических операций электрофлокирования



1 – основа; 2 – верхний электрод; 3 – заряженное волокно; 4 – нижний электрод; 5 – источник высокого напряжения; 6 – сушильная камера

Рисунок 1.20 – Принципиальная схема электрофлокирования

Нанесение ворса может осуществляться непрерывным способом (рулонные материалы), периодическим способом (штучные изделия). Различают так же прямое флокирование и флок-трансфер. Независимо от способа, технология электрофлокирование включает подготовку основы, нанесение пленки полимерного связующего, нанесения ворса (флока) в электростатическом поле, в котором флок заряжается, разгоняется и внедряется вертикально в пленку полимерного связующего, затем следует сушка. Для нанесения флока используется либо ручной флокатор, либо стационарные флокмашины.

упаковки, игрушек, обоев, стеновых панелей, а также при флокировании некоторых текстильных и нетканых материалов;

- *ворс из молотого хлопкового волокна* обладает очень низкой износостойкостью, высокой гидрофильностью, используется для создания поверхности типа «замша», изготовления недорогой упаковки;
- *ворс из углеродного волокна* не горит, не деформируется при механических нагрузках до 400 °С, выпускается только черного цвета, промышленного применения пока не нашел;
- полипропиленовый флок имеет низкую температуру плавления, окрашивается только в массу, уступает полиамидному по устойчивости к механическим воздействиям, легко утилизируется, применяется для ковровых покрытий, отделки верхней одежды

Таблица 1.11 – Свойства флока

Волокно	Длина, мм	Толщина, dtex
Полиамидное	0,3 - 2	0,9 - 44
Полиэфирное	0,5 - 1	1,3 - 6,7
Вискозное	0,3 - 4	0,55 - 0,9
Хлопковое	-	1 - 4
Углеродное	-	1,7 - 5
Полипропиленовое	-	3,3 - 70

Полиакриловое волокно обладает рядом преимуществ, но является сложным для использования в технологии электрофлокирования

Фактура флокированной поверхности определяется длиной и толщиной ворса, степенью извитости ворсинок, поверхностным заполнением и видом предварительной обработки волокнистого материала.

Соотношение между длиной и толщиной волокон для ворсового покрытия не может быть произвольным. Необходимо исходить, прежде всего, из назначения материала, которое определяет длину ворса, и уже по этой длине подбирать соответствующую толщину волокон. Из практики отечественных и зарубежных исследований известны установившиеся соотношения между длиной и толщиной ворса при формировании ворсового покрытия способом электрофлокирования [104].

Выбор полимерного связующего для формирования ворсового покрытия осуществляется с учетом свойств волокон и материала основы, при этом необходимо обеспечить прочное закрепление ворса, а в случае рулонных материалов сохранить эластичность. Кроме того, к полимерному связующему для электрофлокирования предъявляются требования по электропроводности, времени высыхания, температуре сушки, используемому растворителю.

Для приклеивания ворса при формировании слоистых текстильных материалов пригодны клеевые составы на основе поливинилового спирта, поливинилацетатной дисперсии, акриловые клеи. Для придания эластичности полимерной пленке и специальных свойств в состав полимерного связующего вводится пластификатор и различные добавки в зависимости от назначения материала [2-А].

Интересное решение задачи формирования прочного адгезионного соединения ворса и материала основы предложено авторами патента [108]. Используется ворс из поливинилспиртового волокна – винола. Высокая адгезия поливинилспиртового (ПВС) ворса к клеям за счет частичного растворения поверхности волокна в клее при отверждении последнего. Частично клей заполняет капилляры ПВС-волокна за счет осмотического поднятия, и, таким образом, образуется единая система клей-волокно адгезия в которой очень велика. За счет капиллярного заполнения объема ворсинок и частичного растворения поверхности погруженного в клей конца ворсинок, разрушение этой системы после отверждения может произойти только когезионно, на что требуется большое усилие.

Для нанесения флокированных рисунков на поверхности различных материалов, в том числе и многоцветных, используется трафаретная печать флоком. Суть способов заключается в нанесении клеевого рисунка по шаблону с последующим флокированием через трафареты ворсом разных цветов [104, 109]. Недостаток способа – для обеспечения четких границ цветов шаблоны должны располагаться на минимальном расстоянии от клеевой поверхности ($1 \div 2$ мм), а смещение в горизонтальной плоскости (на $0,1-0,2$ мм) ведет к появлению незаполненных промежутков или к наложению цветов.

Авторами [109] предложено исключить указанный выше недостаток путем последовательного нанесения ворса разных цветов в неоднородном электрическом поле, разделенном по вертикали на две зоны с напряженностью электрического поля на поверхности материала, задаваемой для каждого нанесения в пределах от 1 до 8 кВ/см.

Новая технология Double flock (двойное флокирование) считается одной из самых совершенных процессов производства мебельных тканей. В отличие от обычного флокирования, процесс производства флока на флоке состоит из двух этапов: в первую очередь на ткань наносят тонкий ворсовый слой высотой меньше миллиметра, а после этого на поверхность ткани наносится основной ворс, высота которого варьируется от 1,5 до 2 мм [110]. Использование ворса разной высоты придает двойному флоку объемную фактуру и повышенную мягкость.

Таким образом, способ электрофлокирования позволяет создавать декоративное ворсовое покрытие из натуральных и химических волокон на

различных материалах и штучных изделиях, однако имеет следующие недостатки:

- низкая производительность при формировании рулонных материалов;
- нестабильность ворса (флока), изменяет свои технологические свойства при незначительном изменении влажности и температуры;
- использование специального оборудования высокого напряжения.

Наряду с декорированием флокирование придает материалу дополнительные потребительские свойства: звукоизоляцию теплоизоляцию, влагопоглощение [111].

1.7. Пути и способы интенсификации технологии формирования комбинированных текстильных материалов

Высокие скорости транспортирования при формировании комбинированных материалов на современном оборудовании обуславливают необходимость интенсификации основных операций и процессов. Цель интенсификации - ускорение физико-химических процессов, лежащих в основе пропитки, сушки и термообработки, при этом необходимо обеспечить сохранение и улучшение свойств текстильных материалов, а также снижение энергозатрат и экологической вредности производства.

Вид и возможное место приложения интенсифицирующих воздействий, определяется в зависимости от традиционной технологии и существующего оборудования для формирования комбинированных текстильных материалов (рисунок 1.23).

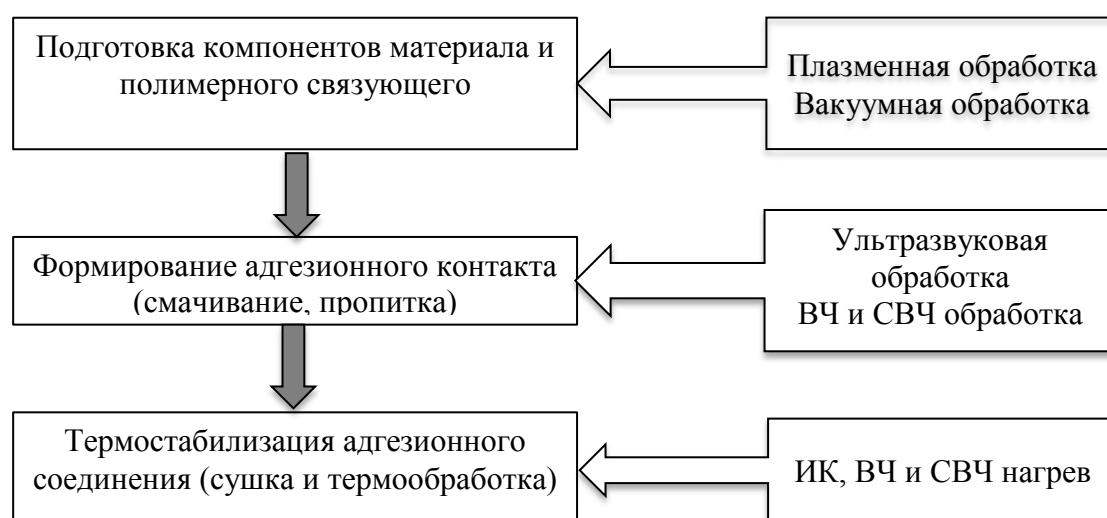


Рисунок 1.23 – Вид и место приложения воздействий для интенсификации формирования комбинированных текстильных материалов

Известными способами интенсификации процессов пропитки являются: повышение смачивающей способности пропитываемой жидкости и ее температуры, принудительная фильтрация раствора через толщу текстильного полотна, удаление воздуха из материала перед пропиткой, повышение гидрофильности обрабатываемого материала.

Удаление воздуха из капилляров и пор текстильного материала возможно путем вакуумирования, пропаривания или нагрева до высоких температур перед пропиткой.

В способе, предлагаемом в [112] текстильный материал вакуумируют до пропитки, а затем пропитывают окунанием в герметичной ванне со связующим, подаваемым под давлением из емкости, в которой создают вакуум, величина которого больше степени вакуумирования емкости со связующим. Это обеспечивает равенство подаваемого в ванну и отбираемого из нее волокнистым материалом количества связующего. При этом осуществляют нагрев наполнителя перед пропиткой до температуры, превышающей температуру связующего в ванне.

Для повышения гидрофильности текстильного материала возможно использовать предварительную его обработку в низкотемпературной плазме [113, 114, 115]. Обработка плазмой проводится при вакуумировании, что позволяет одновременно удалить воздух, происходит разрыхление волокнистого материала и улучшается пропитка. Недостатком плазменной обработки текстильных материалов и композитов является неустойчивость модифицирующего эффекта во времени, который, в среднем снижается до 40 % в течение 30 дней, а также протекание деструктивных процессов в текстильных материалах, что затрудняет комплексное улучшение их свойств. Ограничивающим фактором внедрения плазменной обработки служат высокие энергозатраты и низкий КПД установок, который для плазмотронов составляет 30–50 %.

Обеспечение вакуумирования процесса пропитки технологически сложно. Наиболее эффективным способом улучшения смачиваемости волокон наполнителя и облегчения проникновения полимерного связующего является физическое модифицирование полимерного связующего под воздействием ультразвуковых колебаний высокой интенсивности.

Ультразвуковая обработка (18 – 44 кГц) нашла применение в процессах пропитки текстильных материалов при белении [116, 117], крашении и аппретировании [116, 118, 119]. Интенсификация пропитки волокнистого материала происходит за счет изменения структурных и поверхностных свойств текстильных материалов и диффузионных свойств жидкости под действием следующих факторов: кавитация, акустическое течение, звуковое давление, звукокапиллярный эффект [116]. Большинство технологических процессов

ультразвуковой обработки осуществляется в ультразвуковых ваннах, заполненных рабочим раствором.

Ультразвуковая технология пропитки позволяет ввести в структуру текстильного материала наночастицы благородных металлов или драгоценных минералов [120], эффективна при пропитке сверхплотных текстильных материалов полимерным связующим при формировании композиционных материалов в наукоемких отраслях промышленности, таких как авиа- и ракетостроение [120]. При использовании высоковязких жидкостей и ультразвуковых полей малой интенсивности эффективность обработки уменьшается, а с увеличением интенсивности возрастает [116].

Доказана эффективность ультразвуковой обработки при пропитке текстильных материалов полимерным связующим [121], что возможно из-за снижения вязкости полимерного связующего в десятки раз. Облегчается проникновение связующего в межволоконное пространство текстильного материала, а также одновременно происходит дегазация в области пропитки. Ультразвуковая дегазация ведет к значительному уменьшению количества воздушных газовых включений в волокнистом материале, что ведёт к повышению качества и прочности готового текстильного композита.

Технология ультразвуковой обработки имеет ограниченное применение для рулонных материалов. Реализация любого из вышеперечисленных способов пропитки требует установки дополнительного сложного и дорогостоящего оборудования, что не всегда возможно.

Сушку и термообработку комбинированных текстильных материалов различают в зависимости от вида подвода тепла и осуществляют следующими способами:

Конвективный способ. Перемещение влаги к поверхности осуществляется за счет градиента влажности, а градиент температуры противоположно направлен, что несколько замедляет процесс сушки. За счет разности температур на поверхности и внутри материала происходит движение влаги внутрь, в направлении снижения температуры. В результате перемещения влаги к поверхности материала затрудняется, а температурное сопротивление переносу вещества увеличивается [122, 123, 124]. В результате этого происходит миграция вещества полимерного связующего на поверхность текстильного материала [46, 124, 125].

Достоинствами конвективного способа подвода тепла являются простота, дешевизна оборудования, однако при этом низкий КПД процесса и высокие энергозатраты на нагрев. Необходимо отметить, что данный способ сушки все еще широко используется на предприятиях текстильной и легкой промышленности.

Ускорение процессов сушки и термофиксации при конвективном способе подвода тепла связано с повышением температуры. При этом возможно пересушивание и коробление слоистого композиционного материалы, что является недопустимым.

Сушка инфракрасным излучением позволяет избежать перегрева материала. Градиент влагосодержания и температуры направлены в противоположные стороны, в первом периоде скорость сушки несколько снижена. Материал нагревается, влага при этом перемещается внутрь и при значительном градиенте влагосодержания и уменьшении градиента температуры происходит изменение потока влаги в обратном направлении, интенсивное движение к поверхности материала и ее испарение [122, 123]. Инфракрасная сушка эффективна для тонких материалов, позволяет увеличить скорость сушки в 1,5 – 2 раза при одновременном снижении энергозатрат в 1,5 раз. В текстильном производстве инфракрасную сушку используют для предварительной подсушки материала на стадии удаления капиллярно связанной влаги и комбинируют с конвективной сушкой. К недостаткам инфракрасного нагрева можно отнести низкую эффективность при обработке толстых материалов, неравномерность нагрева, высокий расход энергии (более 1,5 кВт час на 1 кг испаренной влаги), а также высокая вероятность перегрева материала на заключительной стадии сушки, когда влагосодержание резко снижается и температура резко увеличивается. Остановка движения полотна при включенных излучателях может привести к его возгоранию.

Автором работы [126] проведен сравнительный анализ пропитки и сушки текстильных композиционных материалов в условиях инфракрасного и СВЧ нагрева. Установлено, что процесс пропитки в условиях СВЧ-излучения протекает более эффективно и позволяет достигать заданной степени пропитки текстильного полотна полимерным связующим при сравнительно небольших энергозатратах и за меньшее время. При этом физико-механические и эксплуатационные свойства улучшаются за счет более равномерного распределения полимерного связующего в объеме волокнистого материала в условиях СВЧ обработки.

При *контактном способе* тепло, необходимое для испарения влаги и нагревания материала передается теплопроводностью от нагретой поверхности [123]. Направление градиентов температуры и влагосодержания совпадает, что способствует ускорению переноса влаги в первом периоде сушки, во втором периоде градиент температур уменьшается, следовательно и интенсивность сушки снижается. Скорость подвода тепла к внутренним слоям лимитируется термическими характеристиками объекта сушки [123, 124].

Однако, контактный способ сушки эффективен для тонких материалов, а также не рекомендуется для текстильных полотен, содержащих более 33 %

синтетических волокон из-за возможного изменения внешнего вида и туше текстильного полотна.

Таким образом, рассмотренные способы интенсификации пропитки и сушки комбинированных текстильных материалов имеют свои преимущества и недостатки. Более универсальным способом, позволяющим обрабатывать материалы любой толщины и сырьевого состава без ухудшения свойств, обеспечивать высокие скорости процесса и легко ими управлять является нагрев в поле токов высокой и сверхвысокой частот [10, 116, 127].

Диэлектрический способ включает высокочастотный (ВЧ) и сверхвысокочастотный (СВЧ) нагрев. Сущность высокочастотного (ВЧ) способа обработки заключается в том, что при прохождении влажного материала в электрическом поле токов высокой частоты происходит его нагрев путем преобразования энергии электрического поля в тепловую энергию. Основное отличие СВЧ-нагрева от ВЧ заключается в виде и частоте электрического излучения: излучение ВЧ-диапазона представляет собой переменное электрическое поле, создаваемое обкладками конденсатора, а СВЧ-излучение существует в виде электромагнитной волны, генерируемой специальными электровакуумными приборами. Получаемая при этом частота электромагнитного излучения при СВЧ-обработке выше приблизительно на два порядка, что приводит к значительному увеличению эффективности процесса обработки [126, 127, 128].

СВЧ обработка текстильных материалов позволяет интенсифицировать тепло-, массообменные и диффузионные процессы, при этом достигается улучшение физико-механических свойств волокнистых материалов вследствие благотворного воздействия электромагнитного излучения на структуру волокнообразующего полимера [116, 127]. Возможности СВЧ нагрева как метода интенсификации достаточно широки, что делает его практически универсальным способом повышения эффективности технологий обработки текстильных материалов из натуральных и химических волокон [2-А].

СВЧ способ обработки обладает рядом достоинств [124, 127]:

Равномерное объемное нагревание материала. Позволяет избежать возникновения температурного градиента от периферии к центру материала, который имеет место в традиционных технологиях сушки, а также перегрева поверхности слоев обрабатываемого текстильного композита. Особенно актуально при термообработке материалов с большим поперечным сечением и высокой плотностью, диэлектрический нагрев обеспечивает практически равномерный нагрев материалов по всему объему.

Высокая интенсивность нагрева в результате термодиффузии. Диэлектрический нагрев дает возможность передачи значительных мощностей на единицу поверхности (объема) материала, благодаря чему резко возрастает

скорость его нагрева, и, как следствие, эффективность процесса термообработки.

Избирательное удаление влаги из неоднородного по структуре материала, которое основано на зависимости диэлектрических потерь $tg\delta$ в нагреваемом материале от длины волны. При этом в многокомпонентной системе, в частности слоистых материалах будут нагреваться только части, где высокий $tg\delta$.

Саморегулируемость. При нагревании комбинированных текстильных материалов, содержащих водную дисперсию полимерного связующего с уменьшением влажности в процессе обезвоживания диэлектрические потери уменьшаются, а нагрев продолжается только в тех участках обрабатываемого материала, где еще сохранилась повышенная влажность. Это исключает опасность местного перегрева материала, уменьшается возможность коробления материала, поскольку нагрев высушенных мест автоматически прекращается.

Тепловая безинерционность. Поскольку диэлектрический нагрев целиком и полностью определяется воздействием на материал электрического излучения, то в момент его прекращения образование тепла в диэлектрике также прекращается.

Особенностью нагрева текстильных материалов в условиях воздействия электромагнитных волн СВЧ диапазона является преобразование энергии электромагнитного излучения в тепловую непосредственно в материале, что обеспечивает его объемное нагревание независимо от теплопроводности [116].

Таким образом, отмеченные преимущества СВЧ обработки создают предпосылки для разработки прогрессивных высокоэффективных способов интенсификации при формировании комбинированных текстильных материалов из натуральных и химических волокон. Для освоения технологий формирования с использованием СВЧ воздействия необходимо изучить закономерности протекания основных физико-химических процессов и разработать рекомендации для практического использования.

ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 1

1. На основании известных разработана новая обобщенная классификация комбинированных текстильных материалов, учитывающая многообразие признаков и охватывающая широкий ассортимент композитов, полученных с использованием текстильных технологий. В отдельную группу выделены комбинированные текстильные материалы декоративно-отделочного назначения.
2. В результате анализа сырьевого состава, структуры и свойств текстильных материалов, установлено, что для производства комбинированных материалов декоративно-отделочного назначения наибольший интерес представляют ворс, в качестве которого целесообразно использовать коротковолокнистые отходы текстильного производства, и тканые полотна из льняной пряжи с использованием короткого волокна, а также химических нитей больших линейных плотностей.
3. Установлены требования к полимерным связующим. Показано преимущество использования водных растворов и дисперсий полимеров, а также возможность придания готовому материалу комплекса заданных свойств за счет введения в состав связующего специальных добавок.
4. Осуществлен анализ технологий получения комбинированных текстильных материалов и способов интенсификации основных операций формирования. Установлено, что существующие в мировой практике технологии ориентированы на потребление зарубежного сырья, применение дорогостоящего, сложного и энергоемкого оборудования, введение дополнительных этапов технологического процесса их производства.
5. Выявлены основные достоинства и недостатки технологий получения комбинированных текстильных материалов, что позволило сформулировать цели диссертационной работы, для достижения которых необходимо решить следующие задачи:
 - исследовать основные физико-химические явления, сопровождающие процессы формирования, разработать методы проектирования рациональных технологических параметров, прогнозирования и оценки основных показателей качества комбинированных текстильных материалов;
 - исследовать влияние свойств текстильного компонента и полимерного связующего на эффективность процессов формирования и качественные показатели комбинированного текстильного материала;
 - провести разработку и комплексное исследование новых технологий производства комбинированных текстильных материалов, ориентированных на использование вторичного и низкосортного сырья и существующего оборудования, сокращение энергоемкости производства, расширение ассортимента материалов с заданными свойствами, обеспечивающими многофункциональность применения.

ГЛАВА 2. ПОСТРОЕНИЕ НОМЕНКЛАТУРЫ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА И РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ПРОЕКТИРОВАНИЯ КОМБИНИРОВАННЫХ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

2.1. Анализ показателей качества и обобщение требований, предъявляемых к комбинированным текстильным материалам декоративно-отделочного назначения

Согласно международному стандарту ИСО 9000-2015 «Качество продукции и услуг организации определяется способностью удовлетворять потребителей и преднамеренным или непреднамеренным влиянием на соответствующие заинтересованные стороны. Качество продукции и услуг включает не только выполнение функций в соответствии с назначением и их характеристики, но также воспринимаемую ценность и выгоду для потребителя» [129]. Из этого следует, что не все свойства материала или изделия необходимо учитывать при оценке качества продукции, а лишь те, от которых зависит ее успешное использование по назначению.

В ходе изучения и анализа всевозможных видов текстильных композитов различного назначения в которых одним из составляющих компонентов является текстильный материал – волокно, пряжа (нить), ткань, трикотаж, нетканый материал установлено, что отсутствует единая терминология, позволяющая четко охарактеризовать структуру комбинированного текстильного материала. Существующая терминология [9, 10, 13] относится к швейным материалам и изделиям и не учитывает особенностей комбинированных текстильных материалов декоративно-отделочного назначения, предназначенных для производства текстильных настенных покрытий, галантерейных изделий, жалюзи, верха обуви, отделки корпусной мебели и др.

В связи с этим предлагаем для комбинированных текстильных материалов ввести следующие уточняющие понятия, используемые в данном исследовании [19-А]:

- термин *«слоистый материал с тканым покрытием»* использовать для материалов, полученных клеевым способом соединения тканого полотна с полотном нетканой основы;
- термин *«слоистый материал с ворсовым покрытием»* использовать для материала, полученного при нанесении коротковолокнистых частиц на поверхность с пленкой полимерного связующего и последующая их прочная фиксация;
- термин *«каркасный текстильный материал»* использовать для материалов, полученных способом пропитки текстильного полотна (ткани, трикотажа, нетканого материала) полимерным связующим.

Комбинированный текстильный материал имеет признаки композиционного материала, а именно: сочетание текстильного материала и полимерного связующего приводит к созданию нового материала, свойства которого существенно отличаются от свойств каждого из его составляющих. Признаком композиционного материала, в том числе и комбинированного текстильного, является заметное взаимное влияние составных элементов композита, их новое качество, эффект. Варьируя состав полимерного связующего и текстильного материала, их соотношение, применяя специальные дополнительные реагенты и т.д., получают широкий спектр материалов с требуемым набором свойств. Существенным признаком комбинированного текстильного материала является то, что хотя бы один из компонентов либо готовый материал получены по текстильной технологии [2-А, 74-А].

Анализ литературных источников и научно-технической документации показал, что на сегодняшний день не существует национальных и межгосударственных стандартов, устанавливающих требования к комбинированным текстильным материалам декоративно-отделочного назначения, используемых в качестве текстильных настенных покрытий (с тканым или ворсовым покрытием), для производства галантерейных изделий, верха обуви, отделки корпусной мебели.

Единственным стандартом на композиционные многослойные материалы является ГОСТ Р 56285-2014 Материал текстильный многослойный. Общие технические условия. Стандарт распространяется на многослойный текстильный материал, который состоит из верхнего и подкладочного слоев, соединенных между собой полимерной композицией. Многослойный текстильный материал предназначен для пошива верхней одежды различных ассортиментных групп. При этом верхний слой - ткани из натуральных и химических волокон, подкладочный слой - мех искусственный, или трикотажное полотно, или ткань из натуральных и химических волокон [130]. В указанном ГОСТе рекомендуется проводить оценку показателей свойств в соответствии с методиками и ГОСТами на одинарные полотна.

Большинство работ по разработке способов формирования и исследованию свойств комбинированных текстильных материалов посвящено швейным технологиям. Практически отсутствует информация о технологиях, свойствах и ассортименте комбинированных текстильных материалах декоративно-отделочного назначения, используемых по указанным выше направлениям. Однако, возросший потребительский интерес стимулирует отечественных производителей осваивать выпуск новых текстильных материалов с высокими эксплуатационными и потребительскими свойствами.

Для выбора показателей качества комбинированных материалов используем классификацию свойств, принятую в текстильном материаловедении [131].

Технологичность - характеризует свойства комбинированных текстильных материалов, которые обеспечивают изготовление из них изделий.

Эксплуатационные – характеризуют срок службы комбинированных текстильных материалов, способность сохранять во времени свои свойства в заданных пределах.

Функциональные – характеризует основное назначение комбинированных текстильных материалов (обувные, галантерейные, отделочные, мебельные).

Эстетические – характеризуют и формируют внешний вид комбинированных текстильных материалов, который зависит от фактуры, цвета, блеска, рисунка, отделки.

Эргономические (гигиенические) - характеризуют удобство и комфорт эксплуатации определяют степень безвредности комбинированных текстильных материалов для человека.

Технико-экономические - определяют целесообразность производства комбинированных текстильных материалов, их конкурентоспособность (себестоимость, трудоемкость и т. д.).

Номенклатура показателей качества зависит от конкретного назначения комбинированных текстильных материалов - текстильные настенные покрытия, галантерейные изделия, жалюзи, материал для верха обуви или отделки корпусной мебели.

Выбор ограниченного числа показателей качества и выявление наиболее значимых произведен методом экспертной оценки [132]. Метод ранжирования заключается в следующем: наиболее предпочтительному объекту присваивают ранг 1, а наименее предпочтительному – последний ранг, равный по абсолютной величине числу упорядочиваемых объектов. Результирующие ранги объектов ранжирования по данным опросов определяются как суммы рангов для каждого объекта. В итоге первое по значимости место присваивается тому объекту, который получил наименьшую сумму рангов, а последний – тому, у которого оказалась наибольшая сумма рангов, т.е. наименее значимому объекту.

Коэффициенты весомости каждого показателя рассчитываются по формуле:

$$m_i = \frac{l \cdot n - S_i}{0,5l \cdot n(n - 1)}, \quad (2.1)$$

где l - количество экспертов;

n – количество показателей;

$S_i = \sum_{j=1}^l R_{ji}$ - сумма ранговых оценок экспертов по каждому i -му показателю.

Для оценки согласованности мнений экспертов определяем коэффициент конкордации W по формуле:

$$W = \frac{\sum_{i=1}^n (S_i - \bar{S})^2}{\frac{1}{12} l^2 (n^3 - n) - l \sum_{j=1}^l T_j}, \quad (2.2)$$

где $\bar{S} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_i = 0,5l(n+1)$ – средняя сумма рангов для всех показателей.

$$T_j = \frac{1}{12} \sum_{j=1}^u (t_j^3 - t_j), \quad (2.3)$$

где u – число рангов с одинаковыми оценками у j -го эксперта; t_j – число оценок с одинаковым рангом у j -го эксперта.

Коэффициент конкордации изменяется от нуля до единицы и возрастает при увеличении согласованности мнений опрашиваемых экспертов. Оценить значимость коэффициента конкордации можно, используя – критерий (критерий Пирсона), который рассчитывается по формуле:

$$\chi^2 = Wl(n-1). \quad (2.4)$$

Если $\chi^2 > \chi_{табл}^2$ то W значим.

Существенно значимые показатели определяются, сравнивая коэффициенты весомости с числом $1/n$. Если коэффициент весомости больше этого числа, то показатель существенно значим, для таких показателей коэффициенты весомости пересчитывают по формуле:

$$m_{i0} = \frac{m_i}{\sum m_i}. \quad (2.5)$$

где m_i – коэффициент весомости.

В результате статистической обработки экспертных оценок определены наиболее значимые показатели качества комбинированных текстильных материалов декоративно-отделочного назначения конкретной области использования и способа формирования.

2.1.1. Определение показателей качества текстильных настенных покрытий (клеевой способ формирования)

Текстильные настенные покрытия это рулонный материал для внутренней отделки помещений, состоящий из нескольких слоев. Верхний (лицевой) слой – тканое полотно, в качестве основы используют бумагу, флизелин или

синтетический материал – поролон. Для экспертной оценки предложены показатели качества, представленные в таблице 2.1. Выбор произведен на основании опроса потребителей, специалистов предприятий холдинга «Белорусские обои» и анализа требований стандартов на номенклатуру показателей качества: ГОСТ 6810-2002 Обои. Технические условия, ГОСТ 4.230-83 Материалы отделочные и изделия облицовочные полимерные, ГОСТ 23432-89 Полотна декоративные. Общие технические условия, ГОСТ Р 56285-2014 Материал текстильный многослойный. Общие технические условия.

Таблица 2.1 – Развернутая номенклатура показателей качества для текстильных настенных покрытий

Показатели качества
1. Прочность связи между слоями, Н/см
2. Вредные вещества, выделяемые обоями при эксплуатации в воздушную среду жилых и общественных зданий, концентрация, мг/м ³
3. Устойчивость окраски к свету, баллы
4. Устойчивость рельефа тиснения для обоев тисненых дуплекс, %
5. Возгораемость (горючесть)
6. Колористическое оформление, балл
7. Жесткость, Н/м
8. Разрушающее усилие во влажном состоянии, Н
9. Фактура лицевой поверхности обоев, балл
10. Соответствие моде, балл
11. Долговечность (срок службы), лет
12. Водопоглощение, %
13. Стойкость к пиллингообразованию, пиллей/см ²
14. Воздухопроницаемость дм ³ /м ² ·с
15. Устойчивость к действию микро- и макроорганизмов и продуктов их жизнедеятельности
16. Усадка, %
17. Удельное объемное или поверхностное электрическое сопротивление, Ом · см, Ом
18. Коэффициент звукопоглощения
19. Устойчивость к истиранию, число циклов
20. Декоративное исполнение, балл

Результаты экспертной оценки, их статистическая обработка – расчет коэффициента конкордации, оценке его значимости по критерию Пирсона, определение коэффициентов значимости каждого показателя представлены в таблице 2.2 и на рисунке 2.1.

Таблица 2.2 – Результаты статистической обработки для текстильных настенных покрытий

Коэффициент конкордации W	Критерий Пирсона χ^2	Табличное значение критерия Пирсона χ^2
0,985	187,25	30,144

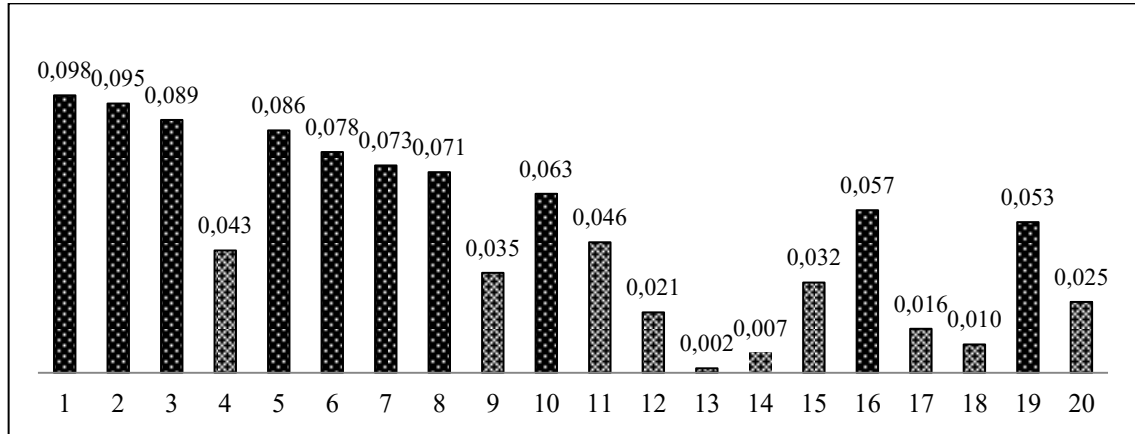


Рисунок 2.1 – Распределения значимости показателей качества текстильных настенных покрытий

Согласованность мнений опрашиваемых экспертов высокая, что позволяет доверять результатам расчетов коэффициентов весомости. Исходя из полученных оценок значимости показателей качества, выявлено 10 существенно значимых единичных показателя. Анализ результатов экспертной оценки позволил установить показатели качества текстильных настенных покрытий (таблица 2.3) [21-А].

Таблица 2.3 – Показатели качества текстильных настенных покрытий и методы испытаний

Наименование показателя	Метод испытания
Прочность связи между слоями, Н/см	ГОСТ 17317 - 88 Кожа искусственная. Метод определения прочности связи между слоями ГОСТ 13648.6-86 Бумага и картон. Методы определения сопротивления расслаиванию
Вредные вещества, выделяемые обоями при эксплуатации в воздушную среду жилых и общественных зданий, концентрация, мг/м ³	СанПиН 2.1.2.729-99 Полимерные и полимерсодержащие строительные материалы, изделия и конструкции. Гигиенические требования безопасности.
Устойчивость окраски к свету, баллы	ГОСТ 9733.3-83 Материалы текстильные. Методы испытания устойчивости окраски к свету в условиях искусственного освещения (ксеноновая лампа)
Возгораемость (горючесть)	ГОСТ 12.1.044–89 Пожаровзрывоопасность веществ и материалов

Колористическое оформление, балл	—
Жесткость, Н	ГОСТ 30271-96 Бумага и картон. Определение жесткости при изгибе. Метод резонанса ГОСТ 10550-93 Материалы текстильные. Полотна. Методы определения жесткости при изгибе.
Разрушающее усилие во влажном состоянии, Н	ГОСТ 13525.7-68 Бумага и картон. Методы определения влагопрочности и ГОСТ 6810-2002 Обои. Технические условия (п 7.4)
Соответствие моде, балл	—
Усадка, %	ГОСТ 30157.1-95 Полотна текстильные. Методы определения изменения размеров после мокрых обработок или химической чистки. Режимы обработок. ГОСТ 12057-81 Бумага и картон. Методы определения линейной деформации.
Устойчивость к истиранию, число циклов	ГОСТ 6810-2002 Обои. Технические условия (п 7.3)

Анализ полученных результатов показывает, что из десяти наиболее значимых показателей качества текстильных настенных покрытий эксперты на первое место поставили эксплуатационный показатель - прочность связи между слоями. Этот показатель зависит от волокнистого состава используемых слоев, свойств полимерного связующего, а также технологических режимов формирования.

Не менее важным является показатель, определяющий степень безвредности - вредные вещества, выделяемые обоями при эксплуатации в воздушную среду жилых и общественных зданий, который также определяется свойствами выбранных материалов. Показатель, характеризующий технологичность, жесткость текстильных настенных покрытий определяет способность не образовывать складки и замины при перемещении полотна через рабочие органы машин на технологической линии, а также возможность формирования потребительских рулончиков (трубок).

2.1.2. Определение показателей качества слоистых материалов с ворсовым покрытием

Выбор качественных показателей, характеризующих свойства слоистых ворсовых материалов зависит от конкретной области применения. Технология ворсового покрытия может быть использована для получения обоев с ворсовым рисунком, тканых ворсовых полотен (искусственная замша, велюр, бархат), для обивки автомобильных сидений, ворсовая печать рулонных текстильных материалов, трафаретное нанесение на швейные изделия, а также различные штучные изделия (игрушки, сувениры и прочее) [111]. Для определения

номенклатуры показателей качества выбраны рулонные ворсовые материалы на тканой и нетканой основе.

На основании опроса потенциальных потребителей и анализа требований стандартов на номенклатуру показателей качества ГОСТ 7081-93 Полотна шелковые и полупелковые ворсовые. Общие технические условия, ГОСТ 4.230 – 83 Материалы отделочные и изделия облицовочные полимерные, ГОСТ 6810-2002 Обои. Технические условия составлена развернутая номенклатура показателей качества на слоистые ворсовые материалы декоративно-отделочного назначения (таблица 2.4).

Таблица 2.4 – Развернутая номенклатура показателей качества материалов декоративно-отделочного назначения с ворсовым покрытием

Показатели качества
1. Устойчивость окраски к свету, балл
2 Устойчивость ворса к истиранию, число циклов
3. Жесткость, Н
4 Разрушающее усилие во влажном состоянии, Н
5. Поверхностная плотность, г/м ²
6. Воздухопроницаемость, дм ³ /м ² · с
7. Водопоглощение, %
5. Колористическое оформление, балл
9. Пылепроницаемость, г/м ²
10. Долговечность, (срок службы), лет
11. Теплопроводность, Вт/м К
12. Возгораемость (горючесть)
13. Коэффициент звукопоглощения
14. Удельное поверхностное электрическое сопротивление, Ом · см, Ом
15. Усадка, %

Особенностью материалов является наличие короткого ворса, который придает им особые эстетические свойства. Даже незначительное изменение ворсовой поверхности или отсутствие ворса ухудшает внешний вид и срок эксплуатации изделия. Поэтому одним из главных показателей качества данных материалов является прочность закрепления ворса. Известны методы определения прочности закрепления ворса: ГОСТ 3815.3-93 Материалы ворсовые. Методы определения прочности закрепления ворса; ГОСТ 24220-80 Ткани мебельные. Общие технические условия. Известна методика определения закрепления ворса, например, для напольного покрытия по ГОСТ 14217-87 Материалы текстильные.

Покрывтия напольные. Метод определения прочности закрепления ворса. Однако требования указанного стандарта не распространяются на материалы с приклеенным ворсом и не применимы для разрабатываемых слоистых ворсовых материалов так как длина ворса не превышает 2 мм и его расположение на поверхности не строго горизонтальное, отсутствует возможность захвата ворса в зажим. Учитывая область применения разрабатываемых слоистых ворсовых материалов и способа их формирования, выбран показатель стойкость к истиранию.

Результаты экспертной оценки, их статистическая обработка – расчет коэффициента конкордации, оценке его значимости по критерию Пирсона, и определение коэффициентов значимости каждого показателя представлены в таблице 2.5.

Таблица 2.5 – Результаты статистической обработки для слоистых ворсовых материалов

Коэффициент конкордации W	Критерий Пирсона χ^2	Табличное значение критерия Пирсона χ^2
0,989	138,46	23,685

Существенно значимые показатели определяются, сравнивая коэффициенты весомости с числом $1/n=0,066$. Если коэффициент весомости больше этого числа, то показатель существенно значим, для таких показателей коэффициенты весомости пересчитывают по формуле 2.5.

Исходя из полученных оценок значимости показателей качества, выявлено 7 существенно значимых единичных показателя (рисунок 2.2).

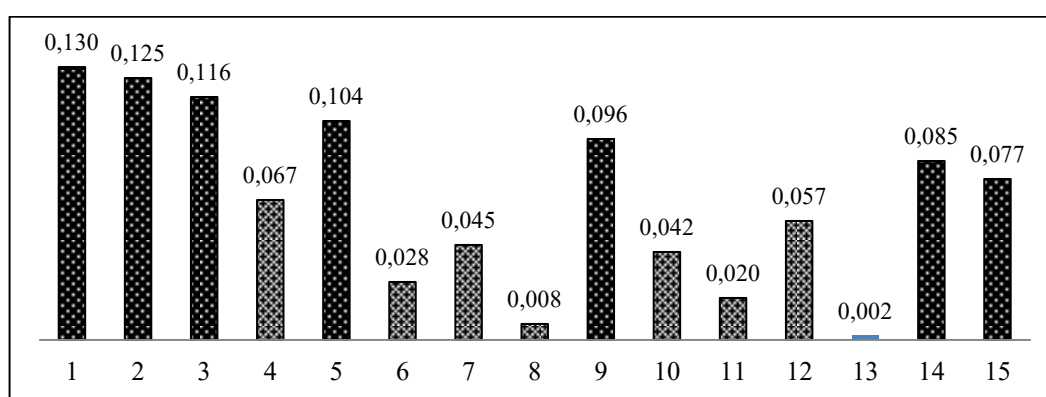


Рисунок 2.2 – Распределения значимости показателей качества материалов с ворсовым покрытием

Таким образом, анализ результатов экспертной оценки позволил установить показатели качества слоистых ворсовых материалов декоративно-отделочного назначения (таблица 2.6) [21-А].

Таблица 2.6 – Показатели качества слоистых ворсовых материалов декоративно-отделочного назначения и методы испытаний

Наименование показателя	Метод испытания
Устойчивость окраски к свету, баллы	ГОСТ 9733.3-83 Материалы текстильные. Методы испытания устойчивости окраски к свету в условиях искусственного освещения (ксеноновая лампа)
Устойчивость ворса к истиранию, число циклов	ГОСТ 6810-2002 Обои. Технические условия (п 7.3) ГОСТ 9913-90 Материалы текстильные. Методы определения стойкости к истиранию
Жесткость, Н	ГОСТ 30271-96 Бумага и картон. Определение жесткости при изгибе. Метод резонанса ГОСТ 10550-93 Материалы текстильные. Полотна. Методы определения жесткости при изгибе.
Поверхностная плотность, г/м ²	ГОСТ 3811-72 Материалы текстильные. Ткани, нетканые полотна и штучные изделия. Методы определения линейных размеров, линейной и поверхностной плотностей
Пылепроницаемость, г/м ²	ГОСТ 17804-72 Система стандартов безопасности труда. Одежда специальная. Метод определения пылепроницаемости тканей и соединительных швов
Вредные вещества, выделяемые обоями при эксплуатации в воздушную среду жилых и общественных зданий, концентрация, мг/м ³	СанПиН 2.1.2.729-99 Полимерные и полимерсодержащие строительные материалы, изделия и конструкции. Гигиенические требования безопасности.
Усадка, %	ГОСТ 30157.1-95 Полотна текстильные. Методы определения изменения размеров после мокрых обработок или химической чистки. Режимы обработок. ГОСТ 12057-81 Бумага и картон. Методы определения линейной деформации.

Эксперты определили семь наиболее значимых показателей. Среди них лидируют – устойчивость окраски к свету, устойчивость ворса к истиранию и жесткость. Важным показателем, характеризующим плотность ворсового покрытия, является поверхностная плотность слоистого ворсового материала. Устойчивость окраски к свету определяется выбранным для формирования ворсового покрытия волокном, а устойчивость к истиранию, поверхностная плотность и жесткость определяется технологическими режимами формирования и составом полимерного связующего.

2.1.3. Определение показателей качества каркасных текстильных материалов со специальными свойствами

Комбинированные каркасные текстильные материалы используются для производства галантерейных изделий, материала для верха обуви, жалюзи,

мебельно-декоративный материал (для обивочный и облицовочный). Перечисленные материалы декоративно-отделочного назначения должны соответствовать стандартам, указанным в таблице 2.7.

Таблица 2.7 – Наименование групп текстильных декоративно-отделочных материалов в соответствии с нормативной документацией

Нормативный документ	Наименование нормативного документа (ГОСТ)	Назначение материалов
ГОСТ 4.3-78	Ткани и штучные изделия хлопчатобумажные и смешанные бытового назначения. Номенклатура показателей	мебельные, декоративные панели, жалюзи
ГОСТ 4.51-87	Система показателей качества продукции. Ткани и штучные изделия бытового назначения из химических волокон. Номенклатура показателей	мебельные, декоративные панели, жалюзи
ГОСТ 4.34-84	Система показателей качества продукции. Полотна нетканые и штучные нетканые изделия бытового назначения. Номенклатура показателей	полотна мебельные облицовочные, декоративные панели, жалюзи
ГОСТ 4.116-84	Система показателей качества продукции. Кожа искусственная и пленочные материалы технического назначения. Номенклатура показателей	обивка сидений и спинок кресел обивка сидений и спальных полок пассажирских вагонов отделка и облицовка пассажирских самолетов обивка сидений мебельные кожгалантерейные обувные
ГОСТ 4.229-83	Система показателей качества продукции. Строительство. Пластики бумажно-слоистые декоративные	мебельные, декоративные панели

Галантерейные материалы должны иметь наибольшую поверхностную плотность, высокую прочность, эластичность, хорошую драпируемость, большое сопротивление истиранию, жесткость и каркасность, водонепроницаемость, хорошее сопротивление изгибу. Обивочные и облицовочные материалы должны иметь высокую прочность, сопротивление многократному изгибу и истиранию, устойчивость окраски к мокрому трению, к действию света. Материалы для верха обуви должны обладать достаточной прочностью, которая характеризуется разрывной нагрузкой, удлинением, сопротивлением многократному изгибу [133].

Для определения основных показателей качества каркасных текстильных материалов предложено объединить их в две группы. Первая группа – материалы галантерейного и обувного назначения, для пошива которых используются кожа

искусственная и пленочные материалы на текстильной основе. Вторая группа – материалы мебельные (обивочные, отделка корпусной мебели), для производства которых используются ткани из натуральных и химических волокон и бумажно-слоистые декоративные пластики. При разработке развернутой номенклатуры показателей качества материалов первой группы использован ГОСТ 23432-89 Плотна декоративные. Общие технические условия, ГОСТ 19196-93 Ткани обувные. Общие технические условия, ГОСТ 29098-91 Ткани для галантерейных изделий. Общие технические условия. Согласно существующим нормативным документам предложен развернутый перечень показателей качества для каждой группы материалов (таблица 2.8, 2.9).

Таблица 2.8 – Развернутая номенклатура показателей качества материалов галантерейного и обувного назначения

Показатели качества
1. Устойчивость окраски к свету, балл
2. Стойкость поверхности к истиранию, число циклов
3. Устойчивость окраски к сухому и мокрому трению, балл
4. Усадка (после намокания и высушивания), %
5. Разрывное удлинение, %
6. Жесткость, Н
7. Стойкость к пиллингообразованию, число пилей на 10 см ²
8. Разрывная нагрузка, Н
9. Осыпаемость, мм
10. Раздвигаемость, Н
11. Воздухопроницаемость, см ³ /м ² · с
12. Водопоглощение, %
13. Устойчивость к действию микроорганизмов и продуктов их жизнедеятельности, баллы
14. Электризуемость, Ом · см, Ом
15. Формоустойчивость
16. Долговечность, (срок службы), лет

Таблица 2.9 – Развернутая номенклатура показателей качества материалов обивочных и облицовочных

Показатели качества
1. Устойчивость окраски к свету, балл
2. Устойчивость окраски к сухому и мокрому трению, балл
3. Стойкость поверхности к истиранию, число циклов
4. Цвет и рисунок поверхности, балл

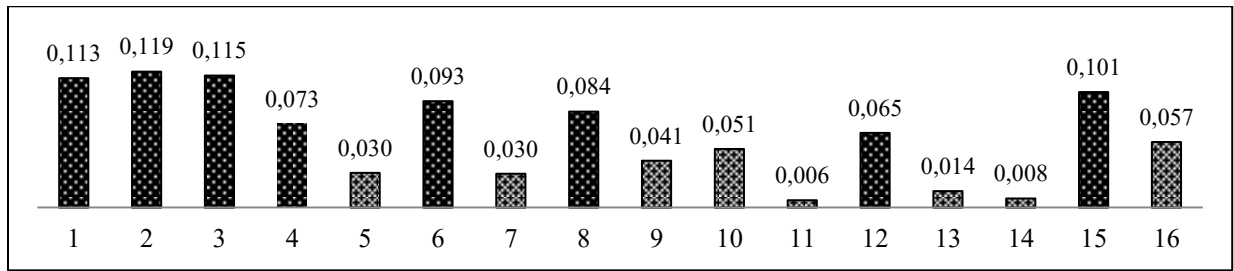
5. Устойчивость материала к многократному изгибу, циклы
6. Разрывное удлинение, %
7. Стойкость к загрязнениям
8. Выделение в окружающую среду вредных веществ, мг/м ³
9. Изменение размеров после мокрых обработок, %
10. Осыпаемость, мм
11. Разрывная нагрузка, Н
12. Водопоглощение, %
13. Воздухопроницаемость, см ³ /м ² с
14. Поверхностная плотность, г/м ²
15. Ударная прочность, мм
16. Стойкость к пиллингообразованию, число пилей на 10 см ²
17. Электризуемость, Ом · см, Ом
18. Возгораемость (горючесть)
19. Жесткость, Н
20. Раздвигаемость, Н
21. Формоустойчивость
22. Устойчивость к действию микроорганизмов и продуктов их жизнедеятельности

Результаты экспертной оценки и их статистическая обработка и определение коэффициентов значимости каждого показателя представлены в таблице 2.10 и на рисунке 2.3.

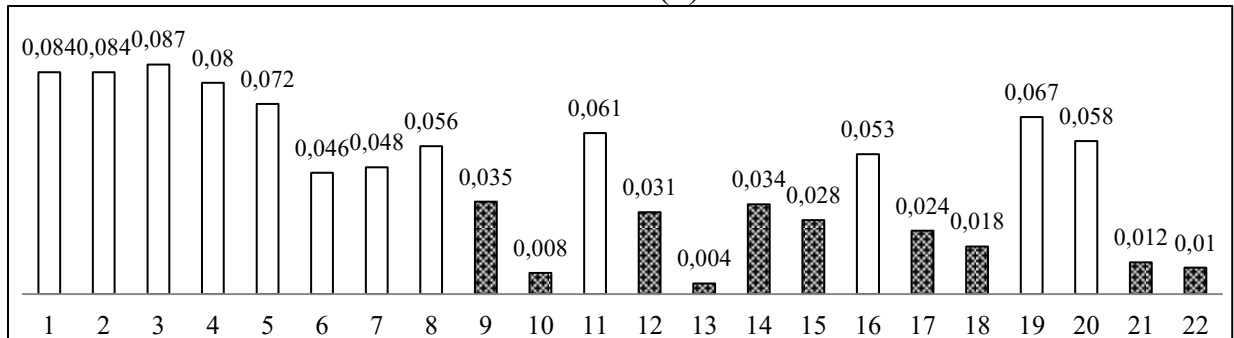
Таблица 2.10 – Результаты статистической обработки

Наименование статистического коэффициента	Коэффициент конкордации W	Критерий Пирсона χ^2	Табличное значение критерия Пирсона χ^2
Галантерейного и обувного назначения	0,96	158,4	24,996
Обивочные и облицовочные	0,916	211,596	32,7

Выявлено 8 существенно значимых единичных показателя для материалов галантерейного и обувного назначения и 12 для обивочных и облицовочных материалов.



(a)



(b)

Рисунок 2.3 – Распределения значимости показателей качества каркасных текстильных материалов галантерейного и обувного (a) и обивочного, облицовочного (b) назначения

Анализ результатов экспертной оценки позволил установить показатели качества комбинированных каркасных текстильных материалов (таблица 2.11, 2.12).

Таблица 2.11 – Показатели качества материалов галантерейного и обувного назначения и методы испытаний [36-А]

Наименование показателя	Метод испытания
Стойкость поверхности к истиранию, число циклов	ГОСТ 18976-73 Ткани текстильные. Метод определения стойкости к истиранию
Устойчивость окраски к сухому и мокрому трению, балл	ГОСТ 9733.27-83 (СТ СЭВ 5444-85) Материалы текстильные. Метод испытания устойчивости окраски к трению
Устойчивость окраски к свету, балл	ГОСТ 9733.1-91 (ИСО 105-B01-88) Материалы текстильные. Метод испытания устойчивости окраски к свету
Устойчивость материала к многократному изгибу, циклы	ГОСТ 8978-2003 Кожа искусственная и пленочные материалы. Методы определения устойчивости к многократному изгибу
Формоустойчивость	ГОСТ 8978-2003 Кожа искусственная и пленочные материалы. Методы определения устойчивости к многократному изгибу
Жесткость, Н	ГОСТ 8977-74 Кожа искусственная и пленочные материалы. Методы определения гибкости, жесткости и упругости.

Разрывная нагрузка, Н	ГОСТ 3813-72 (ИСО 5081-77, ИСО 5082-82) Материалы текстильные. Ткани и штучные изделия. Метод определения разрывных характеристик при растяжении
Усадка (после намокания и высушивания), %	ГОСТ 8972-78 Кожа искусственная. Методы определения намокаемости и усадки
Водопоглощение, %	ГОСТ 3816-81 Полотна текстильные. Методы определения гигроскопических и водоотталкивающих свойств

Таблица 2.12 – Показатели качества материалов обивочных и облицовочных

Наименование показателя	Метод испытания
Стойкость поверхности к истиранию, число циклов	ГОСТ 18976-73 Ткани текстильные. Метод определения стойкости к истиранию
Устойчивость окраски к сухому и мокрому трению, балл	ГОСТ 9733.27-83 (СТ СЭВ 5444-85) Материалы текстильные. Метод испытания устойчивости окраски к трению
Устойчивость окраски к свету, балл	ГОСТ 9733.1-91 (ИСО 105-B01-88) Материалы текстильные. Метод испытания устойчивости окраски к свету
Цвет и рисунок поверхности, балл	-
Устойчивость материала к многократному изгибу, циклы	ГОСТ 8978-2003 Кожа искусственная и пленочные материалы. Методы определения устойчивости к многократному изгибу
Жесткость, Н	ГОСТ 8977-74 Кожа искусственная и пленочные материалы. Методы определения гибкости, жесткости и упругости.
Разрывная нагрузка, Н	ГОСТ 3813-72 (ИСО 5081-77, ИСО 5082-82) Материалы текстильные. Ткани и штучные изделия. Методы определения разрывных характеристик при растяжении
Раздвигаемость, Н	ГОСТ 22730-87 Полотна текстильные. Метод определения раздвигаемости
Выделение в окружающую среду вредных веществ, мг/м ³	СанПиН 2.1.2.729-99 Полимерные и полимерсодержащие строительные материалы, изделия и конструкции. Гигиенические требования безопасности.
Стойкость к пиллингообразованию, число пилей на 10 см ²	ГОСТ 14326-73 Ткани текстильные. Метод определения пиллингуемости
Стойкость к загрязнениям	ГОСТ 9.049-91 Единая система защиты от коррозии и старения (ЕСЗКС). Материалы полимерные и их компоненты. Методы лабораторных испытаний на стойкость к воздействию плесневых грибов
Разрывное удлинение, %	ГОСТ 3813-72 (ИСО 5081-77, ИСО 5082-82) Материалы текстильные. Ткани и штучные изделия. Методы определения разрывных характеристик при растяжении

Как видно, для рассмотренных групп материалов эксперты прежде всего выбирают показатели определяющие внешний вид и привлекательность готового изделия. Затем показатели, характеризующие прямо или косвенно формоустойчивость (жесткость, устойчивость материала к многократному изгибу, усадка после намокания и высушивания), а также эргономические показатели (вредные вещества, выделяемые при эксплуатации, водонепроницаемость, горючесть, стойкость к загрязнениям, пылепроницаемость), которые могут придаваться путем специальных обработок текстильных материалов, а также введением специальных добавок в составы полимерных связующих.

Обобщив результаты для комбинированных текстильных материалов декоративно-отделочного назначения, составлена номенклатура показателей качества с указанием их применяемости для выбранных классификационных групп (таблица 2.13) [21-А, 41-А].

Таблица 2.13 – Применяемость показателей качества для классификационных групп

Наименование показателя качества	Классификационные группы текстильных композитов			
	Текстильные настенные покрытия		Материалы галантерейного и обувного назначения	Обивочные и облицовочные материалы
	с тканым покрытием	с ворсовым покрытием		
1 Устойчивость окраски к свету, баллы	+	+	+	+
2 Устойчивость к истиранию, число циклов	+	+	+	+
3 Разрушающим усилием во влажном состоянии, Н	+	–	–	–
4 Устойчивость окраски к сухому и мокрому трению	–	–	+	+
5 Устойчивость материала к многократному изгибу, циклы	–	–	+	+
6 Разрывная нагрузка, Н	–	+	+	+
7 Вредные вещества, выделяемые материалом при эксплуатации в воздушную среду жилых и общественных зданий, концентрация, мг/м ³	+	+	–	+
8 Колористическое оформление, балл	+	–	–	+
9 Декоративное исполнение, балл	+	–	–	+

10 Водопоглощение, %	–	–	+	–
11 Раздвигаемость, Н	–	–	–	+
12 Жесткость, Н	+	+	+	+
13 Прочность связи между слоями, Н/см	+	–	–	–
14 Стойкость к пиллингообразованию, пиллей/см ²	–	–	–	+
15 Пылепроницаемость, г/м ²	–	+	–	+
16 Стойкость к загрязнениям	–	–	–	+
17 Возгораемость (горючесть)	+	–	–	–
18 Усадка %	+	+	+	–
19. Поверхностная плотность, г/м ²	–	+	–	–

Установленный перечень наиболее значимых показателей качества позволит их использовать при оптимизации процессов формирования, а также разработке технических условий на комбинированные текстильные материалы.

2.2. Систематизация факторов, влияющих на качественные показатели комбинированных текстильных материалов

Процесс формирования комбинированных текстильных материалов состоит из следующих основных этапов:

- нанесение полимерного связующего на материал;
- диффузия полимерного связующего в структуру текстильного полотна, пряжи, нитей, одиночных волокон;
- образование адгезионного взаимодействия полимерное связующее - текстильный материал;
- фиксация полимерного связующего в текстильном материале.

В процессах производства основными операциями при формировании структуры являются пропитка волокнистого материала полимерным связующим и формирование адгезионного соединения в процессе сушки и термообработки.

В основе пропитки текстильных материалов (волокон, пряжи, жгутов, тканых, трикотажных и нетканых полотен) лежат такие физико-химические явления как смачивание, капиллярное поднятие связующего (раствора или дисперсии полимера), сорбция, диффузия. От полноты и эффективности протекания этих процессов зависят физико-механические, эксплуатационные и потребительские свойства готового материала.

В свою очередь полнота и эффективность протекания основных процессов, сопровождающих формирование комбинированных текстильных материалов определяется:

- свойствами текстильных компонентов (природа волокнистого материала, структура и пористость);
- свойствами полимерного связующего (вязкость, смачивающая способность);
- выбором режимов формирования (температура, продолжительность).

В результате анализа литературных источников и предварительных исследований выполнена систематизация факторов, влияющих на качество комбинированных текстильных материалов (рисунок 2.4). Основной целью систематизации является возможность управлять технологическими параметрами формирования и свойствами текстильных компонентов составляющих композит.



Рисунок 2.4 – Классификация факторов, влияющих на формирование комбинированных текстильных материалов

Рассмотрим факторы, влияющие на процессы склеивания и пропитки.

Вид волокна. Текстильные материалы, входящие в состав комбинированного, состоят из природных, искусственных и синтетических

волокнуобразующих полимеров. Способность смачиваться водой согласуется с гидрофильностью волокон: вискозное > хлопковое > льняное > полиамидное > полиэфирное. Адгезионное взаимодействие волокнистого материала и полимерного связующего определяется образованием химических связей (ковалентных или ионных), межмолекулярных (водородных и ван-дер-ваальсовских) либо фрикционным взаимодействием. Наибольшее значение адгезионное взаимодействие приобретает при наличии активных центров в макромолекулах волокнуобразующего полимера, способных образовывать химические связи. Связывание полимерного связующего происходит на активных центрах и концевых группах макромолекул волокнуобразующего полимера.

Структура текстильного материала. Текстильные материалы для формирования комбинированных состоят из волокон нитей, пряжи, тканей. К показателям их структуры, которые оказывают влияние на процессы пропитки и склеивания, образования адгезионного соединения можно отнести: пористость, ворсистость, геометрические свойства.

Текстильные материалы обладают пористой структурой, шероховатой поверхностью и большим числом выступающих волокон, что создает благоприятные условия для пропитки или склеивания.

Наличие в волокнах, нитях, пряже и тканях системы пор позволяет полимерным связующим затекать в них, что увеличивает площадь контакта, облегчает смачивание и диффузию, а соответственно улучшается качество пропитки и прочность адгезионного соединения, в том числе за счет механической составляющей. С другой стороны, пористость тканей, зависящая от числа нитей основы и утка, а также вида переплетения должна выбираться с учетом способа формирования комбинированного материала. В случае склеивания существует возможность проникновения полимерного связующего на лицевую сторону материала декоративно-отделочного назначения. При формировании способом пропитки дисперсиями полимеров существует опасность отфильтровывания частиц дисперсии, однако, учитывая, что как правило их размер значительно меньше пор ткани, то этим фактором можно пренебречь.

Согласно теории склеивания, предложенной В.Е. Кузьмичёвым [10], чем выше ворсистость текстильного материала, тем большая по величине площадь адгезионного контакта будет сформирована на границе раздела фаз, тем более благоприятные условия возникнут для формирования прочного адгезионного соединения. Ворсистость пряжи или тканого полотна, изготовленного из пряжи можно регулировать изменением крутки. При увеличении крутки ворсистость пряжи уменьшается, но при этом уплотняются одиночные волокна, нити, увеличиваются силы трения между волокнами, что способствует увеличению прочности и способности выдерживать большие усилия при разрушении адгезионного соединения.

При формировании слоистого материала с ворсовым покрытием на показатель поверхностного заполнения основы ворсом влияет длина и толщина волокна. Соотношение между длиной и толщиной волокна не может быть произвольным. При увеличении длины волокна выше некоторого оптимального значения ухудшаются свойства готового материала [103], происходит наложение волокон друг на друга, что препятствует формированию качественного покрытия. Не допустима неравномерность волокон по длине, так как при этом нарушается равномерность заполнения материала основы ворсом. Чем меньше будет изгибаться волокно, тем лучше качество покрытия [103].

Скорость пропитки тканого полотна при формировании комбинированного материала зависит от его толщины. При одинаковых условиях процесса и пористости пропитка тонких текстильных материалов протекает быстрее. Результаты исследований [46] показывают, что пропитывание никогда не приводит к равномерному распределению жидкости по толщине материала, даже в случае индивидуальных жидкостей. Внутренние слои всегда пропитываются в меньшей степени, чем наружные. Для возможности управления процессом диффузии полимерного связующего по толщине необходимо знание основных теоретических закономерностей, описывающих процессы смачивания и пропитки, зависимость от свойств волокнистого материала, полимерного связующего и условий формирования.

Таким образом, *технологическими характеристиками* текстильного материала, определяющим скорость пропитки или склеивания являются:

- диаметр волокон, пряжи, нитей, (мкм);
- линейная плотность пряжи и нитей, (текс);
- поверхностная плотность (г/м^2);
- пористость текстильных материалов, %.

Текстильные материалы, используемые при формировании комбинированных, подвергаются отделочным операциям – крашение и аппретирование. Красители образуют связи (химические и межмолекулярные) с активными центрами волокна, аппрететы образуют пленку на поверхности волокон, блокируя активные центры, а также сглаживая поверхность волокна. В результате адгезионная прочность соединения текстильного материала и нетканой основы, при формировании клеевым способом уменьшается [10]. При формировании комбинированного материала способом пропитки возможно введение необходимых специальных аппретирующих добавок (гидрофобных, антипиренов, антистатиков и др.) в полимерную композицию для пропитки.

Следующая группа факторов – *свойства полимерного связующего*, включающая:

- вид полимерного связующего и его состав;
- физико-химические свойства полимерного связующего.

Вид полимерного связующего и его состав выбирается в зависимости от вида текстильного компонента и материала основы, а также от назначения готового материала. Добавки, вводимые в полимерную композицию, имеют различное назначение и могут существенно влиять на свойства связующего: изменять эластичность и мягкость, понижать температуру размягчения, регулировать вязкость, придавать специальные свойства (огне-, термостойкость, водоотталкивание, антистатические, бактерицидные свойства и другие). Состав добавок, их количество подбирают экспериментальным путем в зависимости от требований к качеству готового материала.

При выборе вида полимерного связующего важным фактором является его малотоксичность и экологичность. На сегодняшний день предпочтение отдается полимерным связующим в которых в качестве растворителя или дисперсионной среды используется вода. В этом случае снижаются затраты на производство слоистых текстильных материалов и улучшаются условия труда.

Важное значение при формировании комбинированных материалов имеет равномерное распределение полимерного связующего, обеспечивающее монолитность материала и адгезионную прочность. Равномерное распределение связующего зависит от смачиваемости текстильных компонентов связующим, его вязкости и поверхностной энергии.

От вязкости зависит способность смачивать поверхность текстильного материала и проникать в пористую структуру, создавая условия для образования межмолекулярного взаимодействия связующего и волокнистого материала. При определении оптимального значения вязкости необходимо учитывать требования к скорости пропитки, требуемой глубине диффузии связующего в текстильном материале.

Глубину диффузии полимерного связующего в соединяемые слои регулируют в зависимости от способа формирования. При склеивании оно должно остаться в зоне адгезионного контакта между соединяемыми слоями, частично диффундируя в поверхностные слои. При формировании способом пропитки текстильного материала необходимо полное заполнение пор. Поэтому знание количественных соотношений в диффузионных процессах и зависимости от свойств волокнистых материалов, полимерных связующих, а также условий формирования позволит определять оптимальные режимы технологических процессов и получать требуемые свойства готового слоистого текстильного материала.

Последняя группа факторов, влияющих на свойства готового материала - *условия формирования* комбинированного текстильного материала.

Способ нанесения полимерного связующего определяет глубину диффузии и равномерность распределения в объеме текстильного материала, а также между соединяемыми поверхностями (текстильный материал и материал основы). При

пропитке текстильного материала необходимо создать условия для полного насыщения пористой структуры полимерным связующим. В случае склеивания необходимо контролировать глубину диффузии связующего. С одной стороны, при увеличении глубины увеличивается площадь контакта связующего с текстильным материалом и достигается необходимая прочность адгезионного соединения. Но при этом необходимо не допустить проникновения на лицевую сторону слоистого текстильного материала декоративно-отделочного назначения.

Расход полимерного связующего зависит от:

- способа формирования – пропитка или склеивание, т.е. от требуемой глубины диффузии в структуру волокнистого компонента;
- природы волокнистого материала (гидрофильное природное волокно или гидрофобное синтетическое);
- структуры текстильного материала.

Расход связующего должен быть минимально возможным для равномерного распределения в структуре волокнистого материала и образования прочного адгезионного соединения.

Продолжительность пропитки определяется пропитывающими свойствами связующего и видом волокнистого материала. Пропитка хорошо пропитывающими полимерными связующими происходит уже в первые секунды погружения в пропитывающую ванну и увеличение продолжительности практически не влияет на количество поглощенного связующего. Продолжительность зависит от геометрических свойств текстильного материала. Влиять на продолжительность возможно путем введения в состав полимерного связующего поверхностно-активных веществ, изменением температуры.

Увеличение температуры пропитки приводит к уменьшению вязкости полимерного связующего и облегчает его диффузию в поры текстильного материала. Однако, в некоторых случаях увеличение температуры выше оптимального значения может привести к астабилизации и коагуляции дисперсии полимера. Предел повышения температуры также обусловлен волокнистым составом текстильного материала. Оптимальная температура формирования должна обеспечивать сохранение свойств соединяемых материалов.

При формировании комбинированного текстильного материала после пропитки полимерным связующим следует операция отжима на плюсовках. Давление отжимных валов должно обеспечивать равномерный по всей ширине отжим, а также необходимое содержание полимерного связующего в текстильном материале. При склеивании поверхностей давление сжатия регулируется таким образом, чтобы при максимальном увеличении площади контакта склеиваемых материалов не происходило выдавливание полимерного связующего и образование «голодных спаек».

Важными операциями являются последующие сушка и термообработка. С одной стороны, сушку необходимо проводить достаточно быстро для того, чтобы обеспечить непрерывность и эффективность технологического процесса формирования. С другой стороны, повышение температуры может привести к короблению структуры, а также миграции дисперсной фазы полимерного связующего к поверхностным слоям материала, и как следствие, неравномерности свойств. При сушке необходимо выбирать рациональные режимы учитывая различие в теплофизических свойствах составляющих компонентов.

Таким образом, прогнозировать свойства комбинированного текстильного материала и управлять процессом формирования возможно с помощью выбора вида и моделирования структурных характеристик текстильного материала, физико-химических свойств полимерного связующего, а также комбинации технологических параметров – продолжительности, температуры и давления отжима при пропитке или сжатия при склеивании, условий сушки и термообработки.

2.3. Разработка алгоритма проектирования комбинированных текстильных материалов

Комбинированный текстильный материал конкретного целевого назначения должен соответствовать предъявляемым требованиям и выполнять функции в соответствии с областью применения. Программа функционирования комбинированного материала заложена в его структуре и поэтому важен концептуальный подход к ее проектированию.

Концептуальная модель – это логико-математическое описание, блочно - иерархическая схема структуры, моделируемой системы в соответствии с решаемой проблемой. Концептуальное описание представляет собой упрощенное алгоритмическое отображение реальной анализируемой системы. Построение концептуальной модели начинается с того, что на основе цели моделирования устанавливаются границы моделируемой системы, определяются воздействия внешней среды, выдвигаются гипотезы и фиксируются все допущения (предположения), необходимые для построения модели [9, 134]. Цель концептуальной модели – создание материала или изделия с заданными свойствами и требуемыми показателями качества.

Принцип разработки концептуальной модели комбинированных текстильных материалов для разных областей использования – создание упрощенной структуры модели с последующей детализацией, итеративное построение, когда по мере изучения материала по модели, в ходе разработки, модель изменяется путем добавления новых или исключения некоторых ее элементов и взаимосвязей [9, 134, 135].

В результате анализа и обобщения информации разработан алгоритм проектирования комбинированных текстильных материалов для различных областей использования, представленный на рисунке 2.5 [76-А].

На первом этапе проектирования определяется конкретная область использования – текстильные настенные покрытия, галантерейные и швейные материалы и изделия, материалы для обуви и другие, условия эксплуатации материалов или изделий и функции, которые должен выполнять материал.

Особенность комбинированных материалов заключается в том, что каждый компонент может выполнять определенные функции. Так, лицевой слой слоистого материала – текстиль – кроме функции декора может обеспечить специальные свойства: водо-, грязеотталкивание, огне-, термостойкость и другие; материал основы обеспечивает жесткость, формоустойчивость, шумоизоляционные, теплозащитные свойства и другие. Результатом первого этапа является техническое задание на материал для конкретной области применения.

На втором этапе разрабатывается перечень требований к готовому комбинированному материалу в соответствии с назначением. На этом этапе разрабатывается структура, порядок расположения слоев, определяются функции каждого компонента.

В результате анализа результатов, полученных на первом и втором этапах выбираются исходные материалы, которые будут использованы при формировании структуры – третий этап проектирования. На этом этапе необходима информация о свойствах возможных компонентов, составляющих материал. В результате анализа литературных источников установлено, что для формирования комбинированных материалов декоративно-отделочного назначения в качестве текстильного декорирующего компонента целесообразно использовать короткие волокна (ворсовые материалы) и тканые полотна различных структур из натуральных и химических пряж и нитей.

С учетом информации о структуре комбинированного текстильного материала, свойствах исходных компонентов и существующих способах нанесения текстильного материала и полимерного связующего, переходим к четвертому этапу - выбор способа формирования.

Учитывая достоинства и недостатки способов формирования комбинированных текстильных материалов, рассмотренных в разделе 1.6, а также с учетом возможности производства на существующем оборудовании, выбраны: для формирования *слоистых текстильных материалов – клеевой способ*; для формирования *каркасных текстильных материалов – способ пропитки декоративного тканого полотна полимерным связующим*.

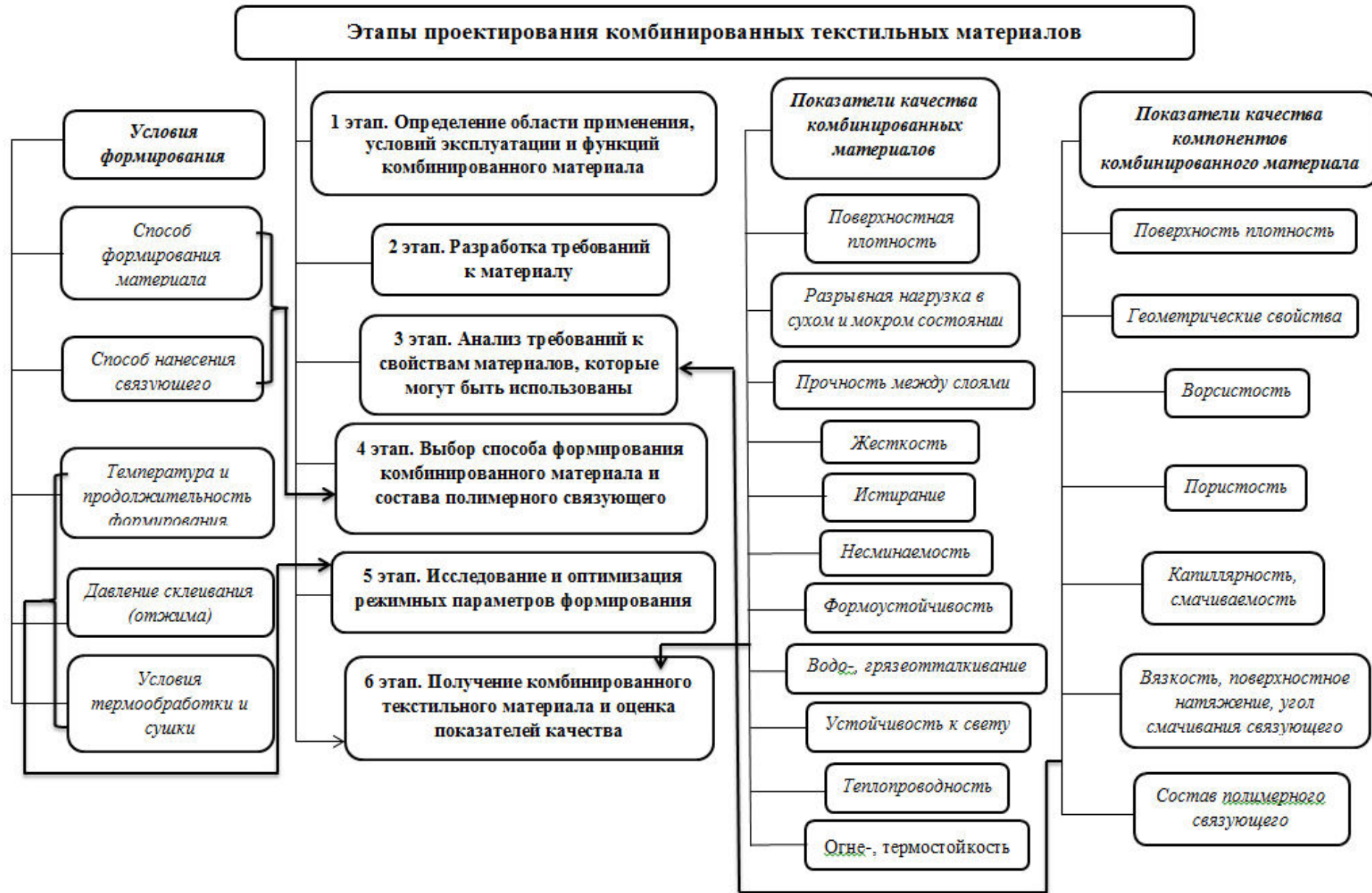


Рисунок 2.5 – Алгоритм проектирования комбинированных текстильных материалов

Клеевой способ формирования комбинированных слоистых текстильных материалов имеет следующие достоинства:

- позволяет соединять разнородные компоненты, отличающиеся по физико-механическим свойствам;
- формировать пакет из необходимого количества слоев, расположенных в заданной последовательности
- возможность управлять эластическими, тепло-, звукоизоляционными свойствами и формоустойчивостью слоистого композита;
- простота аппаратного оформления и технологии;
- быстрый и экономичный способ формирования слоистых композитов.

Технология получения слоистых текстильных материалов декоративно-отделочного назначения может быть реализована на оборудовании для производства дуплексных обоев. Технологические линии для производства дуплексных обоев установлены на предприятиях холдинга «Белорусские обои»

Способ пропитки позволяет получать комбинированные каркасные текстильные материалы по сокращенной («короткой») технологии, придавая некоторые специальные свойства (водо-, грязеотталкивание, антистатичность, огне-, термостойкость и другие) в результате одного прохода текстильного полотна через пропиточное устройство за счет введения в полимерную композицию специальных добавок. Технология формирования каркасных текстильных материалов способом пропитки может осуществляться на текстильных предприятиях, имеющих линии заключительной отделки текстильных полотен.

Пятый этап – исследование и оптимизация режимных параметров формирования комбинированного текстильного материала. На этом этапе необходимо получить основные математические зависимости свойств готового материала от технологических параметров формирования структуры: температуры и продолжительности, давления отжима или склеивания, а также условий сушки и при необходимости термообработки. Результатом этапа является технологический регламент формирования комбинированного текстильного материала декоративно-отделочного назначения для конкретной области использования.

На шестом этапе проводится оценка качества готового материала. Проводится апробация в изделиях, выявляется технологичность материала при переработки в изделие, а также проверяется соответствие требуемым потребительским и эксплуатационным свойствам изделия. В результате апробации вносятся изменения в структуру, технологию или корректируются оптимальные режимы формирования.

Таким образом, разработан общий алгоритм (концептуальная модель) проектирования комбинированных текстильных материалов [23-А].

ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 3

1. Предложена новая терминология для комбинированных текстильных материалов, полученных способом склеивания разнородных материалов, а также способом пропитки текстильных полотен полимерным связующим.
2. Установлен перечень наиболее значимых показателей качества новых видов комбинированных текстильных материалов декоративно-отделочного назначения, предназначенных для производства текстильных настенных покрытий, галантерейных и обувных изделий, декоративных занавесей, обивочных и облицовочных. Составлена номенклатура показателей их качества с указанием применимости для классификационных групп.
3. Проведена систематизация факторов, влияющих на качественные показатели готовых материалов, что позволит управлять технологическими параметрами, составом и свойствами текстильных компонентов и полимерных связующих.
4. В результате анализа и обобщения информации разработан алгоритм проектирования комбинированных текстильных материалов.

Таким образом, теоретические и экспериментальные исследования на всех этапах проектирования позволят создать теоретические и технологические основы получения комбинированных текстильных материалов, что и является целью данной работы.

ГЛАВА 3. МОДЕЛИРОВАНИЕ КАПИЛЛЯРНО-ПОРИСТОЙ СТРУКТУРЫ И ЯВЛЕНИЙ, СОПРОВОЖДАЮЩИХ ПРОЦЕСС ФОРМИРОВАНИЯ КОМБИНИРОВАННЫХ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Качество комбинированных текстильных материалов определяется однородностью структуры для каркасных и прочностью адгезионного соединения для слоистых материалов. Именно поэтому одной из основных операций технологического процесса является пропитка волокнистого материала полимерным связующим.

Целью данной главы диссертационной работы является теоретическое и экспериментальное исследование факторов, влияющих на скорость и полноту пропитки, а также адгезионные процессы при формировании комбинированных текстильных материалов. Для достижения цели необходимо решить следующие задачи:

- провести моделирование капиллярно-пористой структуры текстильных материалов, создать имитационные модели капиллярно-пористой структуры пряжи, нитей и тканей, позволяющие оценить изменение пористости волокнистого материала в зависимости от состава, структуры и свойств, а также прогнозировать их способность пропитываться полимерным связующим;
- разработать математические модели кинетики пропитки текстильных материалов водными дисперсиями и растворами полимерных связующих различного состава, позволяющие определять рациональные режимы формирования в зависимости от их геометрических характеристик, а также физико-химических свойств полимерного связующего;
- разработать математические модели прогнозирования качественных показателей комбинированных текстильных материалов - прочности адгезионного соединения при формировании слоистых материалов клеевым способом и расчета количества адсорбированного полимерного связующего, характеризующих эффективность пропитки текстильного материала.

3.1. Моделирование капиллярно-пористой структуры текстильного материала

Волокнистые материалы относятся к коллоидным капиллярно-пористым телам. Их структура является многоуровневой, включающей (рисунок 3.1): молекулярный (макромолекулы) надмолекулярный (фибриллы), микроуровень (волокна) и макроуровень (волокнистый материал – пряжа, комплексная нить, ткань, трикотаж или другой текстильный материал из нитей) [15]. На каждом уровне структура характеризуется формой, геометрией расположения

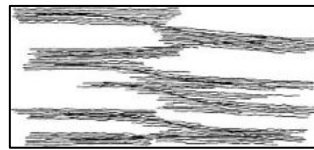
структурных элементов, их размерами взаимодействием элементов структуры, гетерогенностью.

Первый структурный уровень – строение макромолекул волокнообразующих полимеров. Второй структурный уровень – надмолекулярный (фибрилярный). Параллельно расположенные макромолекулы образуют фибриллы, состоящие из чередующихся аморфных и кристаллических областей. Третий структурный уровень – микроструктура волокна, которая характеризуется размером и формой поперечного сечения. Четвертый структурный уровень – текстильный материал – комплексная нить, пряжа, ткани, трикотажные полотна, нетканые материалы. Текстильные материалы различаются волокнистым составом, расположением волокон и взаимодействием между ними и, соответственно, свойствами. Сложность структуры волокон и волокнистых материалов (наличие уровней масштаба: 10^{-5} м – волокна; 10^{-3} м – нити, пряжа; 10^{-1} м – ткань, трикотажные полотна, нетканые материалы) приводит к сложности моделирования структуры, и соответственно, необходимости упрощающих предположений.

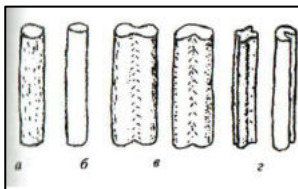
Первый уровень-молекулярный



Второй уровень – фибриллярный

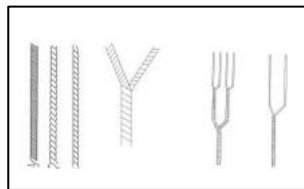


Третий уровень – волокно

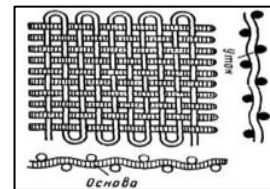


а – капроновое; б – лавсановое; в – нитроновое; г – хлориновое.

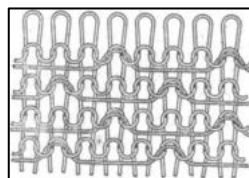
Четвертый уровень – текстильный материал



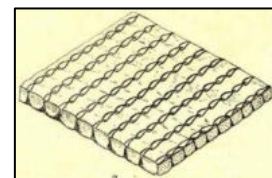
*пряжа,
комплексная нить*



ткань



трикотаж



нетканый материал

Рисунок 3.1 – Структура текстильных материалов

В работе использован модульный подход к моделированию текстильного материала и принцип гомогенизации [136], обобщающий свойства на нижнем уровне при переходе на верхний. Капиллярно-пористая структура волокнистого материала складывается из микроструктуры вещества волокна, из которого оно

состоит, и из макроструктуры волокнистого материала. Диаметр капилляров указанных структур совершенно различного порядка. Пора текстильного материала представляет собой микрообъем среды либо ограниченный (замкнутая пора), либо соединяющийся несколькими аналогичными близко расположенными микрообъемами. По размеру поры классифицируются [137]: макропоры > 10 мкм; капиллярные поры > 1 мкм; контракционные поры – $1 \dots 10^{-2}$ мкм.

В отличие от поры, капилляром является проводящий канал сложной формы и произвольного сечения, имеющий непроницаемые твердые стенки [137].

Проникновение связующего вглубь капилляров, имеющих в отдельных волокнах, в особенности за то короткое время, в течение которого происходит пропитывание, не может быть значительным. Несоизмеримо большее значение для практики имеет проникновение связующего в пространство между волокнами или нитями текстильного материала. Известно [46], что при пропитывании имеют значение поры и капилляры диаметр которых больше $10 - 15$ мкм.

Таким образом, текстильный материал содержит капилляры и поры различного радиуса, которые не имеют круглого сечения, заполняется полимерным связующим и газами [126, 137, 138]. В структуре волокнистых материалов содержатся тупиковые поры и капилляры, в которых заземлен воздух, препятствующий заполнению их полимерным связующим. Капиллярная структура текстильных материалов не является постоянной и зависит от условий, в которых находятся эти материалы. В данной работе рассмотрим капиллярную структуру текстильного материала сформированную в процессе прядения и ткачества, считая ее постоянной [138].

При создании упрощенной модели пористой структуры текстильного материала, удобной для практического использования, будем учитывать влияние следующих факторов (рисунок 3.2).

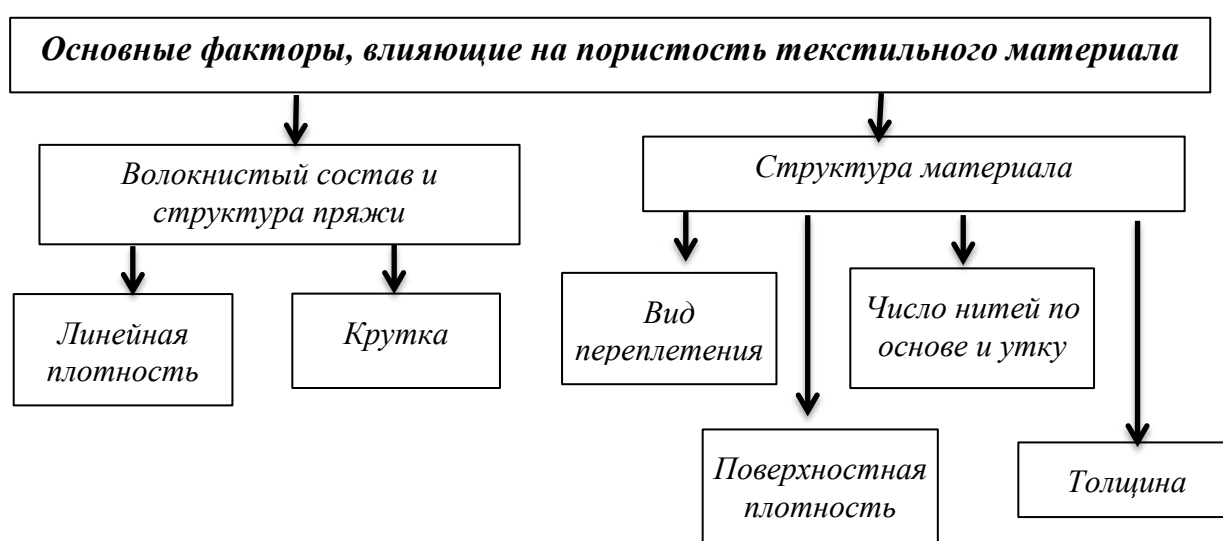


Рисунок 3.2 – Факторы, влияющие на пористость текстильных материалов

3.1.1. Имитационное моделирование пористой структуры текстильной нити

Структура пряжи или нити представляет собой множество волокон или филаментов различной формы, которые заполняют область круга без четко выраженных границ. Структура поперечного сечения пряжи и ее компьютерное моделирование изучалась многими отечественными и зарубежными учеными, которыми предлагаются различные алгоритмы моделирования поперечного сечения пряжи для конкретных областей применения. [46, 47, 136, 137, 138, 139]. Рассмотренные в указанных работах алгоритмы неудобны для моделирования капиллярно-пористой структуры и определения пористости текстильных материалов, используемых для формирования композитов декоративно-отделочного назначения.

Кроме того, при решении прикладных задач нет необходимости с высокой точностью воспроизводить структуру волокнистого материала, поэтому при моделировании возможно принять некоторые допущения. Моделируя пористую структуру волокнистого продукта для формирования текстильного композиционного материала, принято круглое сечение волокон случайного диаметра d_s , генерируемых в пределах круга, задающего границы моделируемого сечения пряжи, равного диаметру. Генерация волокон (филаментов) продолжается до тех пор, пока количество фактически сгенерированных волокон N_f не достигает диаметра пряжи или комплексной нити d_p . После генерации N_f числа волокон контролируется условие отсутствия пересечения отдельных волокон (филаментов).

Создание имитационной модели пористой структуры волокнистого материала для описания его смачивания и пропитки связующим целесообразно начать с решения вопросов расположения волокон или элементарных нитей в пространстве, взаимодействия между отдельными волокнами, определения геометрических свойств волокнистого материала, а также случайного изменения свойств материала по длине и площади, т. е. неровноту. Пористость пряжи и нитей зависит от линейной плотности, диаметра пряжи или нитей, диаметра элементарных волокон или филаментов, крутки.

Моделирование пористой структуры волокнистого материала рассмотрим на классическом примере - пряжи кольцевого способа прядения с заданной линейной плотностью, круткой, диаметром. В пряже волокна располагаются по винтовым линиям переменного шага и радиуса (рисунок 3.3). Каждое волокно по своей длине лежит не в одном слое пряжи, а в ряде слоев, переходя от центра пряжи к периферии и обратно.

Волокнистый материал в модели состоит из заданного количества волокон, которое можно определить, зная линейную плотность, их средний диаметр и

плотность вещества. Каждое волокно описывается набором из конечного числа точек в пространстве. Расположение точек каждого волокна в пространстве задается параметрическим уравнением винтовой линии [18-А, 138, 140]:

$$\begin{cases} y = b \cdot t \\ x = a \cdot \sin(t) \\ z = a \cdot \cos(t), \end{cases} \quad (3.1)$$

где x, y, z – координаты в пространстве;

a – радиус винтовой линии;

b/a – угловой коэффициент винтовой линии;

t – параметрическая переменная.

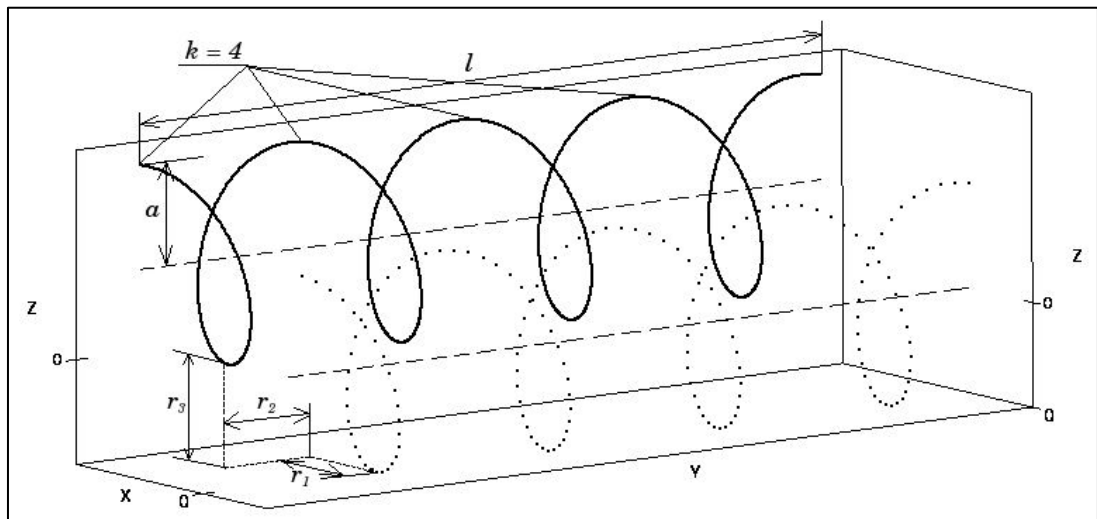


Рисунок 3.3 – Модель волокна

Для того, чтобы расстояние между точками не зависело от параметров винтовой линии (диаметр, количество витков, длина), использована формула длины дуги винтовой линии [140]:

$$L = l/b \cdot \sqrt{a^2 + b^2}, \quad (3.2)$$

где L - длина дуги винтовой линии;

l - длина проекции винтовой линии на ось y .

Для моделирования винтовой линии нужно задать длину проекции l на ось y , количество витков k на длине l , радиус a и шаг дискретизации d . Тогда b можно найти по формуле:

$$b = l/(2 \cdot \pi \cdot k). \quad (3.3)$$

Учитывая (3.2), описать винтовую линию радиуса a , с количеством витков k , длиной вдоль оси y равной l , и шагом дискретизации d можно следующими параметрическим уравнением:

$$\begin{cases} t = \frac{t_2}{\sqrt{a^2+b^2}} \\ y = b \cdot t \\ x = a \cdot \sin(t) \\ z = a \cdot \cos(t) \end{cases}, \text{ при } t_2 \in [0, L] \text{ с шагом } d. \quad (3.4)$$

Для моделирования отрезка волокнистого материала, необходимо сгенерировать несколько волокон 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 $[-(d_p-a)/2, (d_p-a)/2]$.

Тогда формулы (3.4) примут вид:

$$\begin{cases} t = \frac{t_2}{\sqrt{a^2+b^2}} \\ y = b \cdot t \\ x = a \cdot \sin\left(t + \frac{r_2}{b}\right) + r_1 \\ z = a \cdot \cos\left(t + \frac{r_2}{b}\right) + r_3 \end{cases}, \text{ при } t_2 \in [0, L] \text{ с шагом } d. \quad (3.5)$$

Необходимой линейной плотности, диаметра и равномерного распределения волокон по толщине волокнистого материала можно добиться, задавая диапазоны изменения случайных величин в модели.

На рисунке 3.3 изображено волокно, смоделированное согласно формулам (3.3), (3.5). Количество витков k выбрано равным 4. Показаны смещения r_1 , r_2 , r_3 волокна относительно начального положения. Для каждого волокна эти смещения, а также радиус a , выбираются случайным образом.

После генерации N_f числа волокон контролируется условие достижения линейной плотности модели пряжи (комплексной нити) T_m значения фактической линейной плотности T_f , а также отсутствие пересечения отдельных волокон (филаментов).

После того, как сгенерировано N_f число волокон (филаментов) со случайным расположением внутри отрезка пряжи (нити), возможно их пересечение в пространстве, так как в процессе добавления каждого нового волокна не

учитывается положение ранее добавленных. Наложение волокон (филаментов) негативно влияет на точность моделирования капиллярно-пористой структуры и расчет пористости волокнистого материала. Для корректировки положения волокон в пространстве применен метод моделирования взаимодействия элементарных отрезков волокон так, что соседние элементарные отрезки одного и того же волокна притягиваются, а элементарные отрезки разных волокон отталкиваются друг от друга. Для реализации притягивания элементарных отрезков одного волокна реализован метод скользящего среднего по трем соседним элементарным отрезкам.

Для реализации отталкивания элементарных отрезков различных волокон сначала для каждого отдельного отрезка находятся элементарные отрезки, принадлежащие другим волокнам, в пределах окрестности, равной диаметру отрезка. Затем вычисляются вектора воздействий этих отрезков на рассматриваемый. Элементарный отрезок перемещается в направлении равнодействующего вектора. Этот процесс повторяется несколько раз, до тех пор, пока перемещение отрезков не замедлится ниже пороговой величины.

Таким образом, алгоритм укладки волокон состоит из следующих этапов:

Для каждого волокна просматриваем точки по порядку.

- если точка первая или последняя в волокне, ее координаты не изменяются;
- для каждой i -ой точки волокна, кроме первой и последней, находим расстояния L до всех j -ых точек других волокон;
- если расстояние между точками i и j меньше суммы R радиусов волокон, к которым относятся рассматриваемые точки, то вычисляем вектор V воздействия j -ой точки на i -ую по следующим формулам:

$$V_x = (x_i - x_j) \frac{R}{L} + x_j, \quad (3.6)$$

$$V_y = (y_i - y_j) \frac{R}{L} + y_j, \quad (3.7)$$

$$V_z = (z_i - z_j) \frac{R}{L} + z_j. \quad (3.8)$$

- находим сумму $SumV$ всех векторов V (равнодействующий вектор) и количество n $SumV$ точек j , которые воздействуют на точку i ;
- вычисляем новые координаты точки i по формулам:

$$x_i = \frac{x_{i-1} + x_i + x_{i+1} + sumV_x}{3 + n sumV}, \quad (3.9)$$

$$y_i = \frac{y_{i-1} + y_i + y_{i+1} + \text{sum}V_y}{3 + n \text{ sum}V}, \quad (3.10)$$

$$z_i = \frac{z_{i-1} + z_i + z_{i+1} + \text{sum}V_z}{3 + n \text{ sum}V}. \quad (3.11)$$

- пересчет координат каждой точки происходит на каждом шаге укладки волокон.

Процесс укладки волокон продолжается до тех пор, пока наибольшее перемещение точки не станет меньше заданной малой величины, либо пока не будет достигнуто заданное количество шагов. После завершения процесса укладки волокон и моделирования проводится расчет истинной пористости модели волокнистого материала, т.е. объем пор, содержащихся в определенном объеме пряжи или комплексной нити [18-А, 39-А]:

$$P_u = \left(1 - \frac{V_g}{V_o}\right) \cdot 100\%, \quad (3.12)$$

где P_u – истинная пористость модели;

$V_g = \Sigma \pi \frac{d_g^2}{4} L$ – суммарный объем вещества волокон, м³;

$V_o = \pi \frac{d_p^2}{4} l$ – общий объем пряжи (нити), м³.

При моделировании пористой структуры пряжи или комплексной нити заданной линейной плотности необходимо знание поперечных размеров – диаметра, а также крутки. Известные формулы для расчета диаметра пряжи [131] не учитывают изменения объемной плотности в зависимости от линейной плотности волокон (филаментов), степени скрученности, в результате, расчетные значения геометрических и структурных свойств пряжи не совпадают с экспериментальными. Поэтому в дальнейших исследованиях была поставлена задача определения математических моделей для расчета диаметра пряжи (комплексной нити), учитывающих изменения объемной плотности в зависимости от линейной плотности и степени скрученности.

3.1.1.1. Исследование диаметра пряжи и нитей, используемых для формирования комбинированных текстильных материалов

Известна формула для определения диаметра пряжи или нити на основании линейной плотности и объемной массы, которая различается для каждого вида волокна [131]:

$$d_p = 0,0357 \cdot \sqrt{\frac{T}{\delta}}, \quad (3.13)$$

где d_p – расчетный диаметр пряжи (нити), мм;
 T – линейная плотность пряжи (нити), текс;
 δ – объемная плотность, г/см³.

Используемое в формуле (3.13) значение объемной плотности δ определяется из литературных источников и имеет постоянное значение, зависящее только от вида волокна. Причем, значения объемной массы для пряжи или нити одного состава имеют значительный разброс [141].

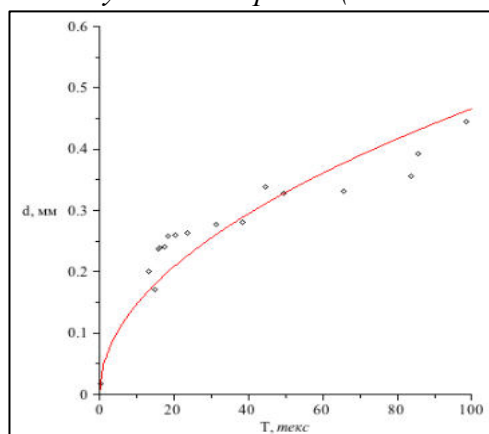
В результате экспериментальных исследований получены математические модели зависимости диаметра пряжи и нитей, используемых при формировании тканых полотен для комбинированных текстильных материалов, от линейной плотности (таблица 3.1) [4-А, 18-А, 39-А]. Методика исследования, а также результаты обработки экспериментальных данных и регрессионный анализ проведенные в системе компьютерной алгебры Maple, представлены в Приложении А. На рисунке 3.4 изображены зависимости диаметра используемых пряжи и комплексных нитей от линейной плотности и экспериментальные значения измерения диаметра цифровым методом.

Анализ расчетных и экспериментальных значений диаметра показывает, что относительная погрешность составляет 5-7 %, что позволяет использовать полученные математические модели для расчета диаметра при моделировании капиллярно-пористой структуры используемых пряж и комплексных нитей.

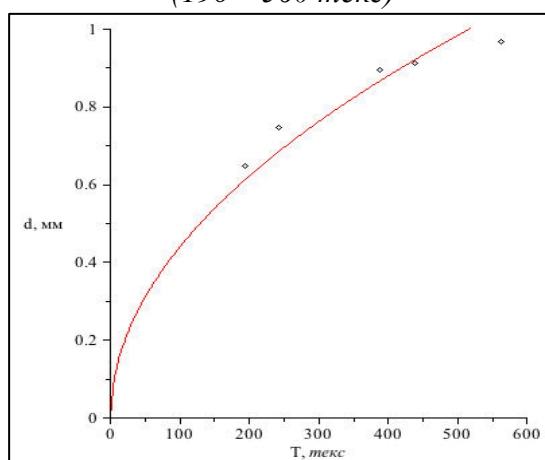
Таблица 3.1 – Результаты расчета объемной плотности

Наименование вида пряжи (нити)	Объемная плотность волокна, г/см ³	Объемная плотность пряжи (нити), г/см ³	Модель зависимости диаметра от линейной плотности
Кардная хлопчатобумажная пряжа кольцевого способа прядения	0,9-1,3	0,5873	$d_p = 0,0357 \sqrt{T/0,5873}$
Льняная пряжа сухого способа прядения (кольцевая)	1,40	0,6704	$d_p = 0,0357 \sqrt{T/0,6704}$
Вискозная комплексная нить	1,5	0,6575	$d_p = 0,0357 \sqrt{T/0,6575}$
Полиамидная комплексная нить	1,14	0,4855	$d_p = 0,0357 \sqrt{T/0,4855}$

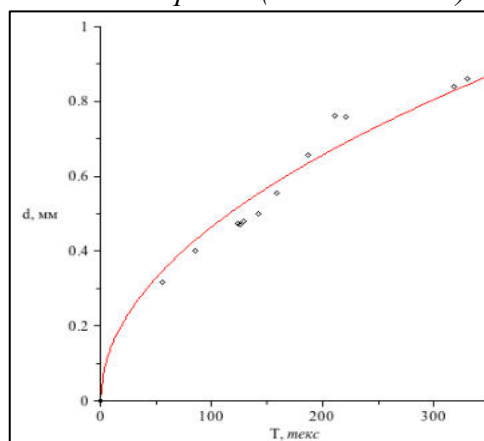
Хлопчатобумажная пряжа (15 – 100 текс)



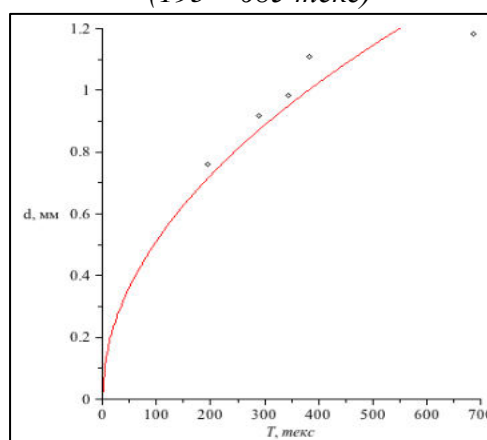
*Вискозная комплексная нить
(190 – 560 текс)*



Льняная пряжа (60 – 330 текс)



*Полиамидная комплексная нить
(195 – 685 текс)*



* точками изображены экспериментальные значения

Рисунок 3.4 – Зависимость диаметра текстильной нити от линейной плотности

3.1.1.2. Расчет диаметра волокон (филаментов)

Для расчета объема волокна (филамента) требуется знание его диаметра. Диаметр каждого филамента круглого сечения комплексных химических нитей является величиной постоянной и известной, определяемой из технического описания используемого ассортимента нитей.

Диаметр натуральных волокон в пряже не имеет одинакового значения, что необходимо учитывать при моделировании капиллярно-пористой структуры пряжи.

Диаметр хлопкового волокна составляет 10 - 25 мкм, средний диаметр волокон хлопка составляет 20 мкм [138, 142, 143]. Форма поперечного сечения волокон хлопка сильно варьируется, но большинство источников утверждает, что она не является круглой, а близка к эллипсовидной [142]. В отличие от хлопкового, диаметр льняного волокна в пряже может изменяться в более широком диапазоне 12–37 мкм. Авторы работы [138] предположили, что

распределение диаметра льняных волокон подчиняется закону логнормального распределения. Функция плотности вероятности для логнормального закона выглядит следующим образом:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma x \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(\ln x - \bar{x})^2}{2\sigma^2}}, \text{ при } x > 0 \quad (3.14)$$

где x – значение случайной величины (диаметр волокна, мкм);

\bar{x} – математическое ожидание случайной величины (диаметра);

σ – среднее квадратическое отклонение случайной величины (диаметра).

Выбор логнормального закона распределения для моделирования диаметра элементарных волокон льна и хлопка обусловлен тем, что эта величина не может быть отрицательной, а логнормальный закон распределения обладает соответствующим свойством. Для моделирования элементарных волокон с диаметрами, распределенными по логнормальному закону распределения, проанализированы данные о диаметрах элементарных волокон льна и хлопка, представленные авторами работ [138, 143, 144, 145]. Определены параметры распределения (математическое ожидание μ и среднее квадратическое отклонение σ) с помощью программного пакета Statistica и проверена гипотеза о логнормальном распределении выборки. Параметры выборки приведены в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Параметры экспериментальных значений

Кол -во	Среднее, мкм	Доверительный интервал среднего	Мин., мкм	Макс., мкм	Стандартное отклонение	Доверительный интервал стандартного отклонения
<i>хлопок</i>						
1992	14,56	14,39 – 14,74	4,21	26,26	4,04	3,91 – 4,16
<i>лен</i>						
148	15,98	15,32 – 16,63	9,20	34,00	4,05	3,64 – 4,57

На рисунке 3.5 изображены гистограммы частот выборки и графики ожидаемого распределения. Для проверки гипотезы о логнормальном законе распределения использовался критерий согласия Пирсона χ^2 .

Для генерации случайных величин, распределенных по логнормальному закону распределения, использован следующий алгоритм:

- генерируются две независимых псевдослучайных величины r и φ в диапазоне $(0; 1]$ по равномерному закону распределения;

- используется преобразование Бокса - Мюллера для получения случайной величины z , распределенной по нормальному закону с параметрами $\mu = 0$ и $\sigma=1$, по формуле $z = \cos(2\pi\varphi)\sqrt{-2\ln(r)}$;
- величина z преобразуется к величине ξ , распределенной по нормальному закону с заданными параметрами μ и σ по формуле $\xi = \sigma z + \mu$;
- величина ξ преобразуется к величине x_i , распределенной по логнормальному закону по формуле $x_i = e^{\xi}$.

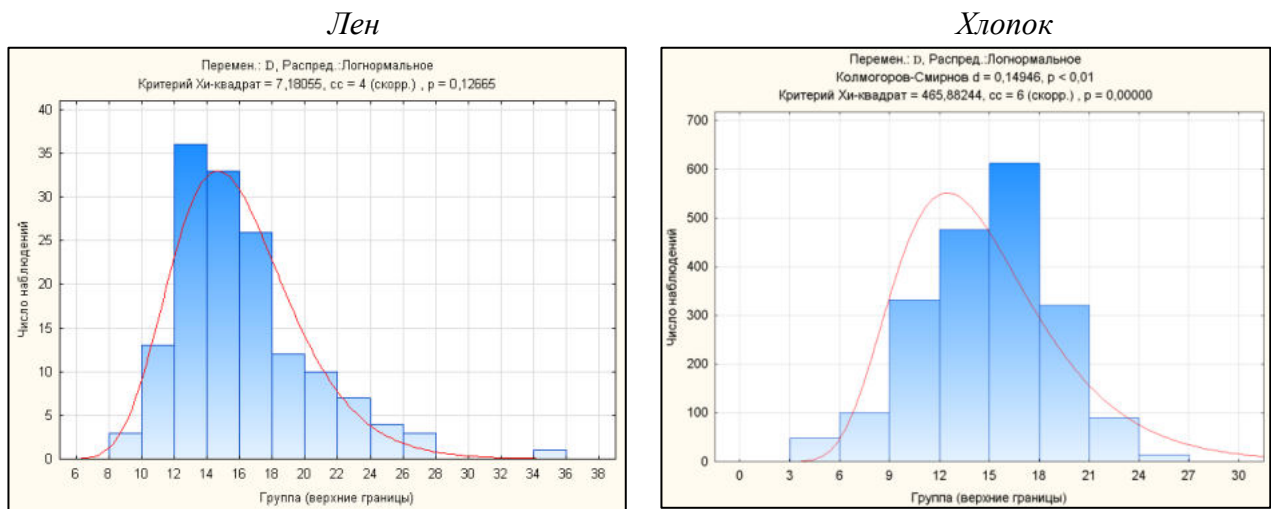


Рисунок 3.5 – График наблюдаемого и ожидаемого распределения диаметра волокон.

В результате применения вышеописанного алгоритма сгенерирован набор случайных значений с логнормальным законом распределения и параметрами μ и σ . Статистические параметры сгенерированного набора соответствуют значениям в таблице 3.2.

Таким образом, при имитационном моделировании структуры хлопчатобумажной и льняной пряжи приняты параметры масштаба логнормального распределения диаметра волокна μ и формы логнормального распределения диаметра волокна σ , представленные в таблице 3.3.

Таблица 4.3 – Значения параметров масштаба логнормального распределения диаметра волокна μ и формы логнормального распределения диаметра волокна σ

Вид волокна	μ	σ
Хлопчатобумажная пряжа	2,6313	0,3283
Льняная пряжа	2,7422	0,2373

3.1.2. Алгоритм имитационного моделирования структуры текстильной нити и расчета пористости волокнистого материала

Блок-схема алгоритма имитации структуры и расчета текстильной нити, представлена на рисунке 3.6.

Разработанный алгоритм имитационного моделирования капиллярно-пористой структуры пряжи и комплексных нитей, используемых при формировании комбинированных текстильных материалов реализован в программном продукте [18-А, 39-А] (Приложение Б), интерфейс которого представлен на рисунке 3.7.

Результат применения описанного алгоритма укладки волокон к модели, представленной на рисунке 3.7, продемонстрирован на рисунке 3.8. Процесс укладки волокон обеспечивает отсутствие пересечения волокон в модели пряжи или нити, что повысит точность результатов моделирования структуры и расчета пористости.

Упрощенная имитационная модель капиллярно-пористой структуры пряжи и комплексных нитей учитывает изменение объемной плотности в зависимости от линейной плотности и степени скрученности, неравномерности распределения волокон по их диаметру, неравномерную уплотненность волокнистого материала по сечению пряжи или нитей, позволяет оценить их пористость в зависимости от состава и свойств [39-А, 73-А]. Разработанный алгоритм и модель далее использованы для моделирования капиллярно-пористой структуры тканей при формировании комбинированных текстильных материалов клеевым способом и способом пропитки.

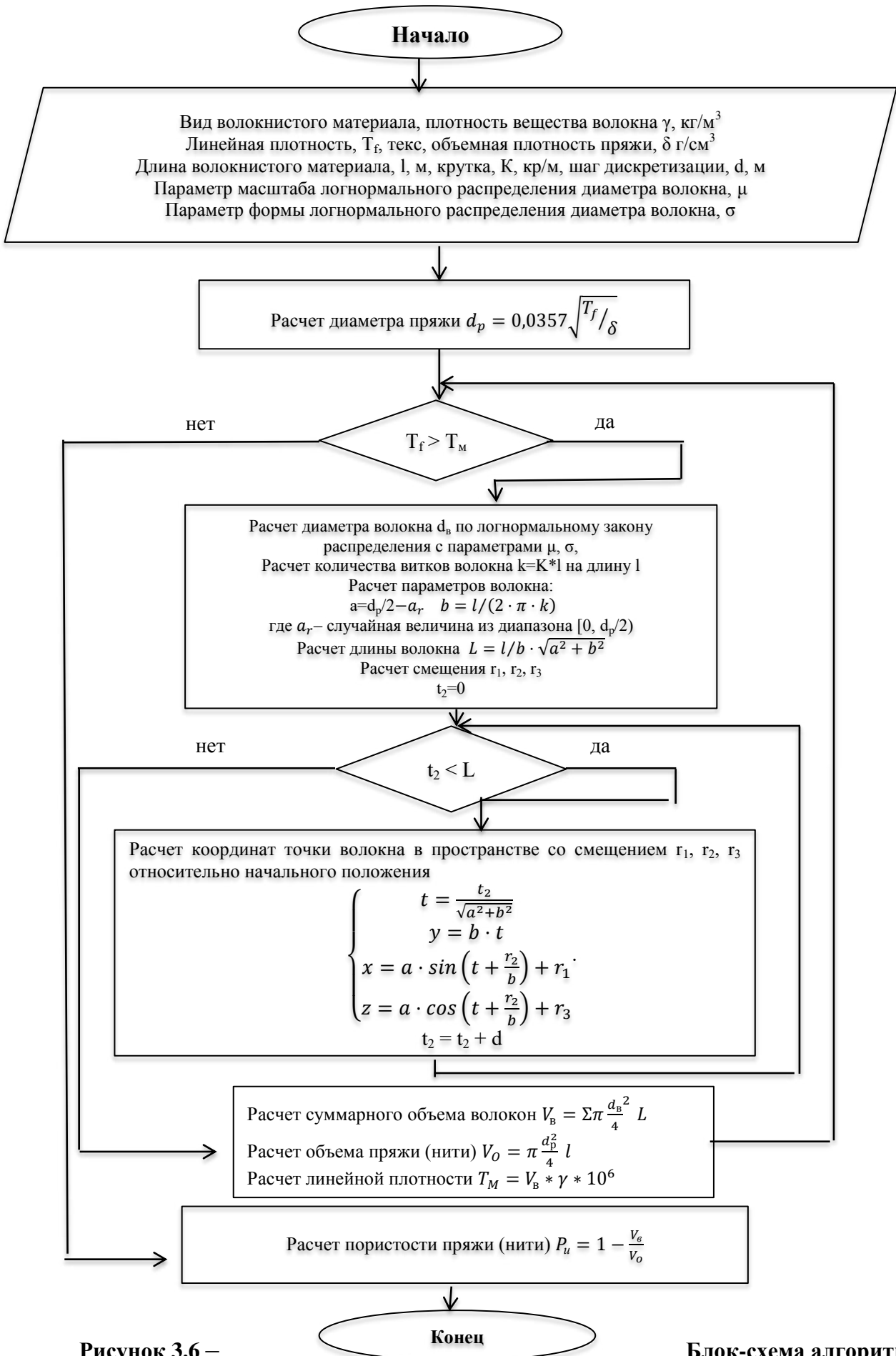


Рисунок 3.6 –
имитационного моделирования

Блок-схема алгоритма

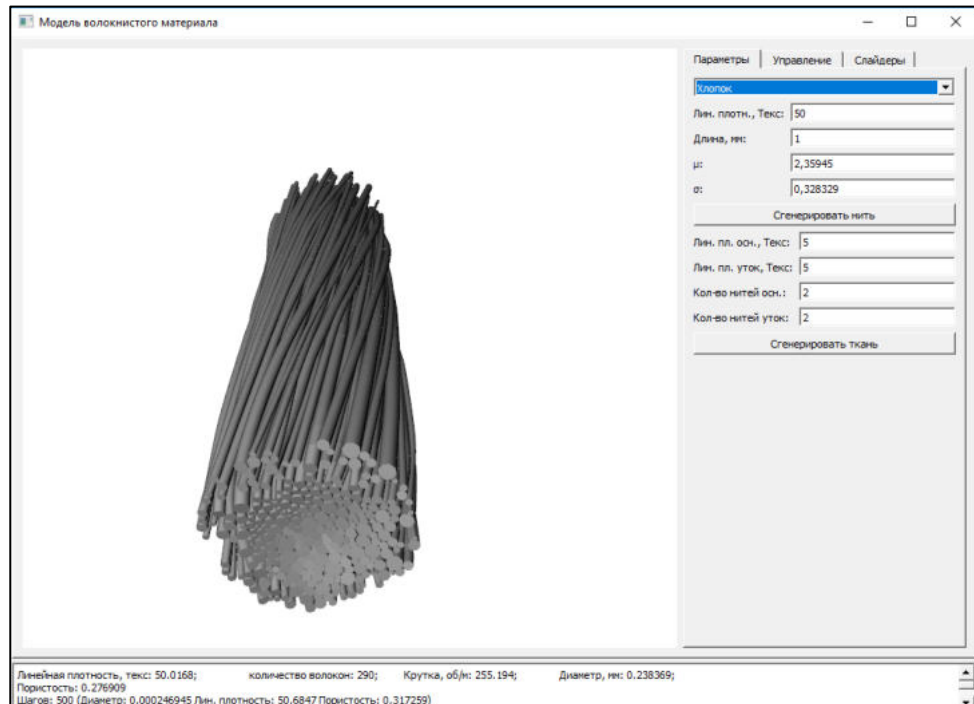


Рисунок 3.7 – Интерфейс программы для моделирования структуры и определения пористости текстильной нити

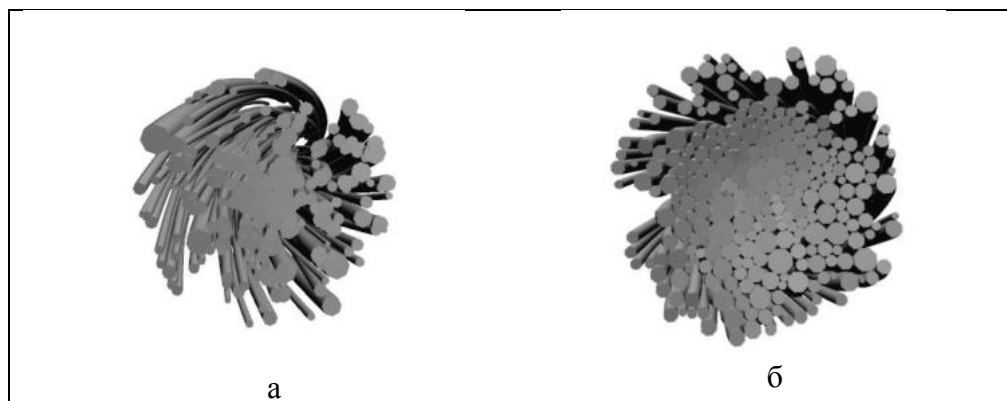


Рисунок 3.8 – Модель пряжи (нити) до укладки волокон (а), после укладки волокон (б)

3.1.3. Имитационное моделирование капиллярно-пористой структуры тканей

В литературных источниках представлены различные способы моделирования структуры тканей [136, 138]. Необходимо отметить, что все они являются сложными, масштабными, универсальными и следовательно дорогостоящими. Рассматриваемые в работах [136, 138, 146, 147, 148, 149]

способы моделирования являются закрытыми для использования и алгоритм их работы неизвестен.

В работах группы «Композиционные материалы», сотрудников Католического университета Лёвена (Бельгия), предложены методы прогнозирования строения и свойств тканей, основанные на математических моделях механики ткани в свободном и деформированном состоянии, разработаны специализированные пакеты прикладных программ для описания геометрии и численного решения краевых задач методом конечных элементов, позволяющие описать пространственное расположение нитей в ткани и рассчитывать на основе этого описания разнообразные геометрические характеристики ткани [146, 147, 148, 149]. В указанных работах моделирование однослойных и многослойных текстильных полотен, в том числе тканей, проводится в среде WiseTex, которая отличается определенной степенью сложности используемого математического аппарата для решения прикладных задач.

С учетом указанных причин, а также с отсутствием необходимости высокой степени универсальности модели и точности воспроизведения структуры используемых тканей, в данном исследовании поставлена задача создания простой модели, позволяющей оценить важное для процесса пропитки геометрическое свойство – общая пористость. При определении общей пористости ткани учтена пористость на уровне межволоконных промежутков пряжи или комплексной нити.

Общая пористость ткани характеризует долю всех промежутков между нитями, внутри нитей и волокон [150, 151]:

$$P_R = 1 - \frac{V_g}{V_{om}}, \quad (3.15)$$

где V_{om} – суммарный объем ткани, м³.

При расчете общего объема пористого пространства в тканом полотне возможно сделать допущение – не учитывать форму пор и вид переплетения [151, 153].

При моделировании единичного объема тканого полотна учтены все допущения, используемые при моделировании пряжи (нити): вид волокнистого материала, линейная плотность, количество волокон, распределение диаметра волокна. Кроме того, заданы: количество нитей по основе и утку в моделируемом единичном объеме и характеристики нитей основы и утка. Для моделирования простейшего полотняного переплетения можно использовать предположение, что нити изгибаются в виде синусоид, характеристики которых зависят от количества и толщины нитей в моделируемом отрезке. При переплетении поперечное сечение

нитей деформируется и уже не представляет собой окружность, что учитывается при построении модели.

Учитывая формулу (3.5), которая использовалась при моделировании каждой отдельной нити, для участка ткани в нее были внесены изменения учитывающие изгибы нитей и искажения их поперечного сечения. Тогда параметрические уравнения для участка ткани примут вид:

- для нитей основы:

$$\left\{ \begin{array}{l} t = \frac{t_2}{\sqrt{a^2 + b^2}} \\ y = b \cdot t \\ x = a \cdot \sin\left(t + \frac{r_2}{b}\right) + r_1 + \frac{l}{N_{\text{осн}}} \cdot j, \text{ при } t_2 \in [0, L] \text{ с шагом } d \\ z = \left(a \cdot \cos\left(t + \frac{r_2}{b}\right) + r_3\right) \cdot C_{\text{осн}} + \\ + R_{\text{ут}} * \sin\left(\frac{y}{l} \cdot N_{\text{ут}} \cdot \pi + j \cdot \pi\right), \end{array} \right. \quad (3.16)$$

где $N_{\text{осн}}$ - количество нитей основы в моделируемом участке;

j – порядковый номер моделируемой нити основы;

$C_{\text{осн}}$ - коэффициент отношения вертикального диаметра нити основы к горизонтальному диаметру (коэффициент искажения поперечного сечения);

$R_{\text{ут}}$ - вертикальный радиус нити утка;

$N_{\text{ут}}$ - количество нитей утка в моделируемом отрезке ткани;

$\frac{l}{N_{\text{осн}}} \cdot j$ – смещение каждой последующей нити вдоль оси X на половину периода изгиба для образования полотняного переплетения;

$R_{\text{ут}} * \sin\left(\frac{y}{l} \cdot N_{\text{ут}} \cdot \pi + j \cdot \pi\right)$ – выражение для формирования изгибов нити с заданной амплитудой и периодичностью.

- для нитей утка:

$$\left\{ \begin{array}{l} t = \frac{t_2}{\sqrt{a^2 + b^2}} \\ x = b \cdot t - \frac{l}{N_{\text{осн}} \cdot 2} \\ y = a \cdot \sin\left(t + \frac{r_2}{b}\right) + r_1 + \frac{l}{N_{\text{ут}}} \cdot j + \frac{l}{N_{\text{ут}} \cdot 2}, \text{ при } t_2 \in [0, L] \text{ с шагом } d \\ z = \left(a \cdot \cos\left(t + \frac{r_2}{b}\right) + r_3\right) \cdot C_{\text{ут}} + \\ + R_{\text{осн}} * \sin\left(\frac{x}{l} \cdot N_{\text{осн}} \cdot \pi + (j + 1) \cdot \pi\right), \end{array} \right. \quad (3.17)$$

где $C_{ут}$ - коэффициент отношения вертикального диаметра нити утка к горизонтальному диаметру;

$R_{осн}$ - вертикальный радиус нити основы;

j – порядковый номер моделируемой нити утка;

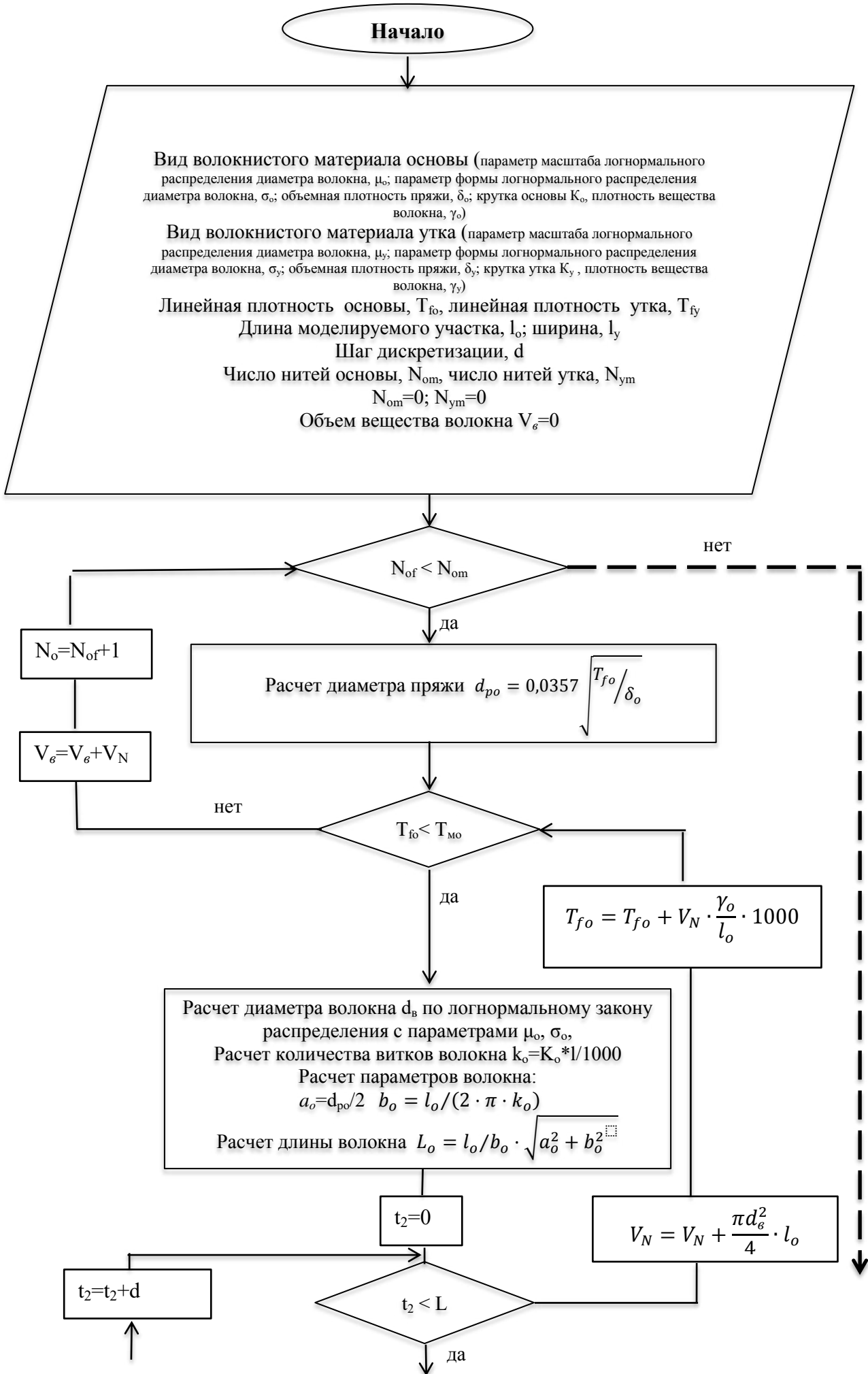
$-\frac{l}{N_{осн} \cdot 2}$ – смещение нитей утка вдоль оси x на четверть периода изгиба для совмещения изгибов нитей основы и утка;

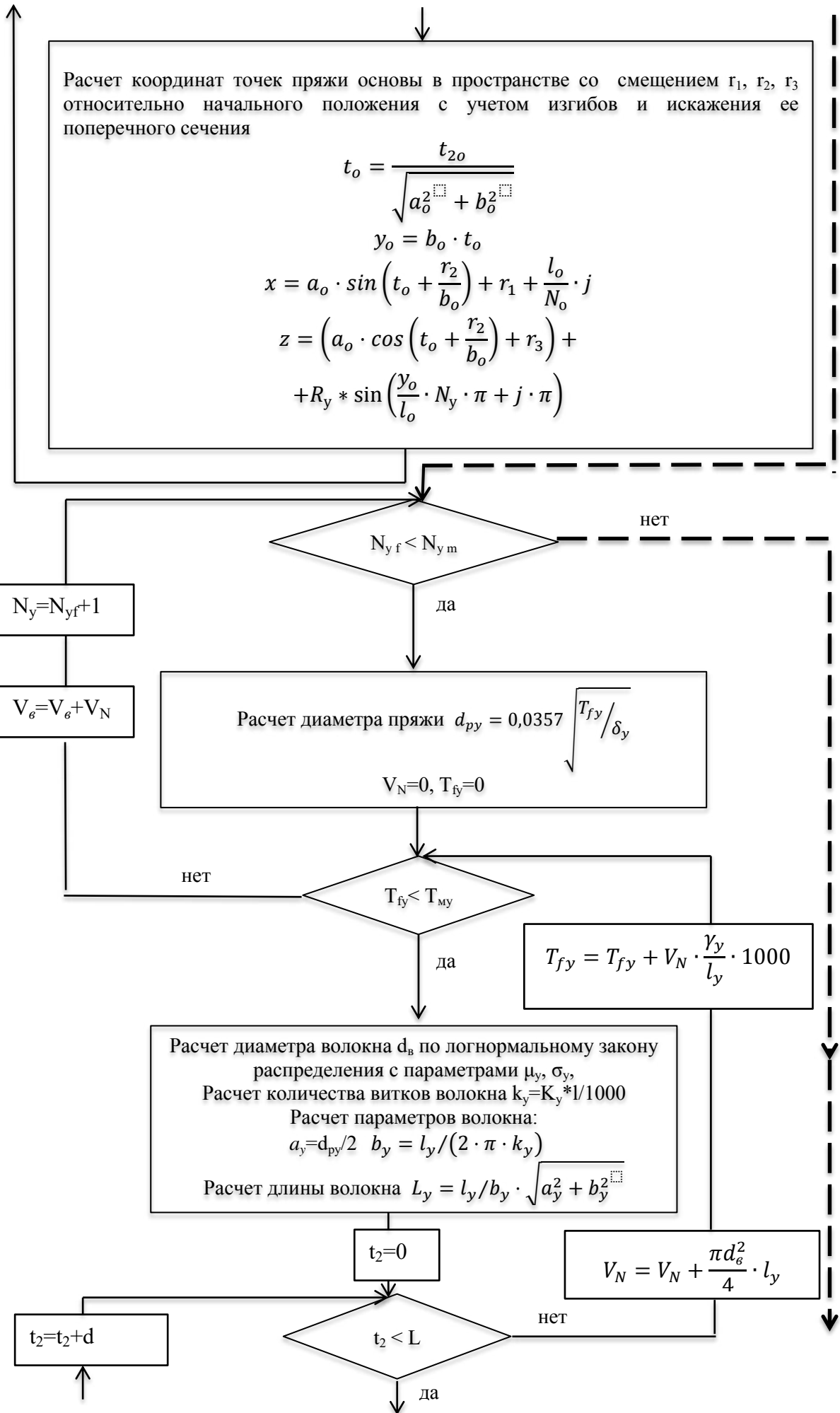
$\frac{l}{N_{ут} \cdot 2}$ – смещение нитей утка вдоль оси y на четверть периода изгиба для совмещения изгибов нитей основы и утка.

Количество изгибов волокна соответствует количеству нитей основы $N_{осн}$ в моделируемом участке ткани.

Алгоритм имитационного моделирование ткани полотняного переплетения и определения общей пористости тканого полотна, представлен на рисунке 3.9.

На рисунке 3.10 представлен интерфейс компьютерной программы, разработанной для моделирования капиллярно-пористой структуры тканого полотна [18-А, 20-А, 39-А, 73-А]. В правой части окна осуществляется ввод исходных данных для моделирования: вид волокнистого состава, линейная плотность нитей основы и утка, длина моделируемого участка, количество нитей основы и утка.





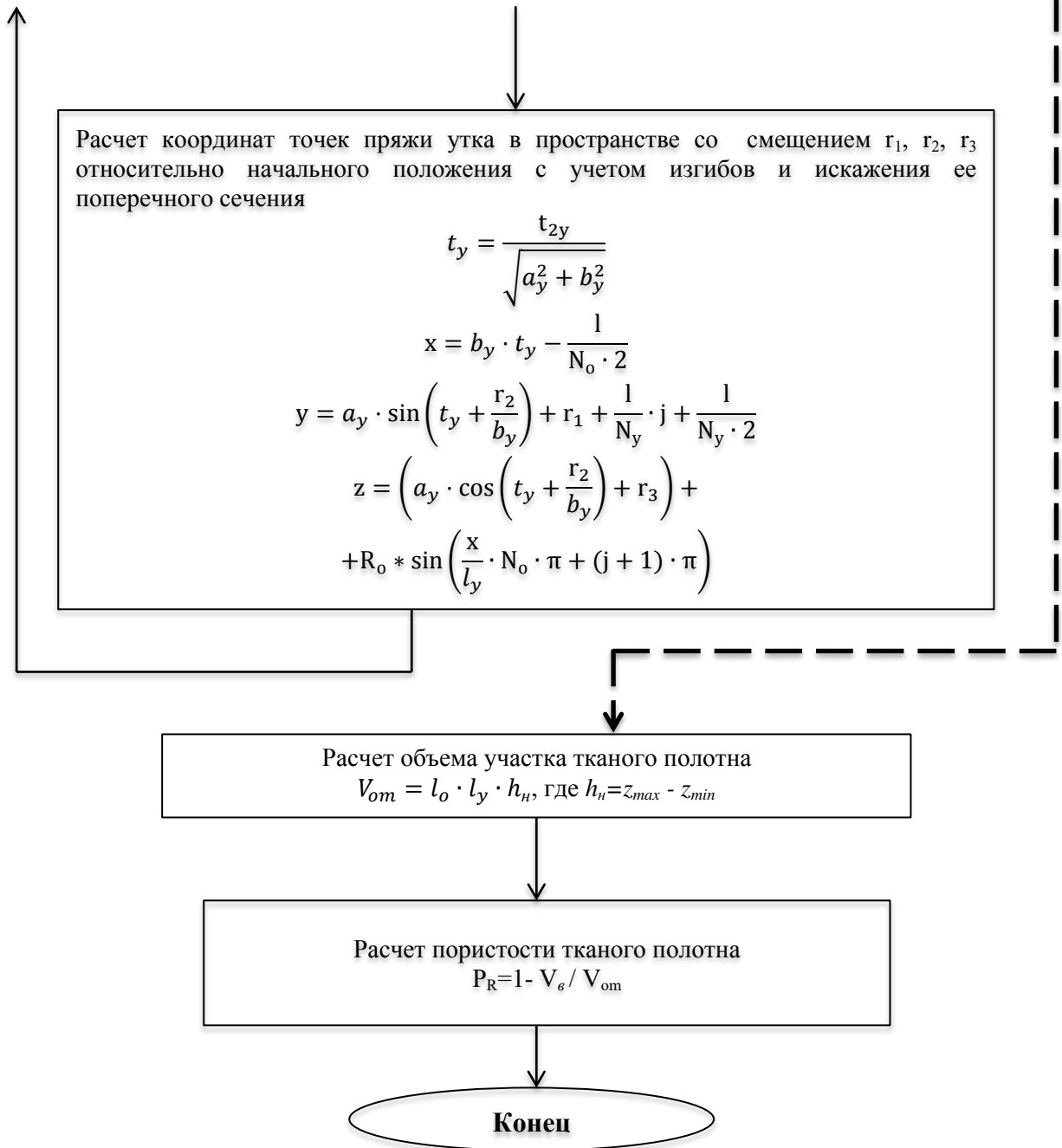


Рисунок 3.9 – Блок-схема алгоритма имитационного моделирования капиллярно-пористой структуры ткани

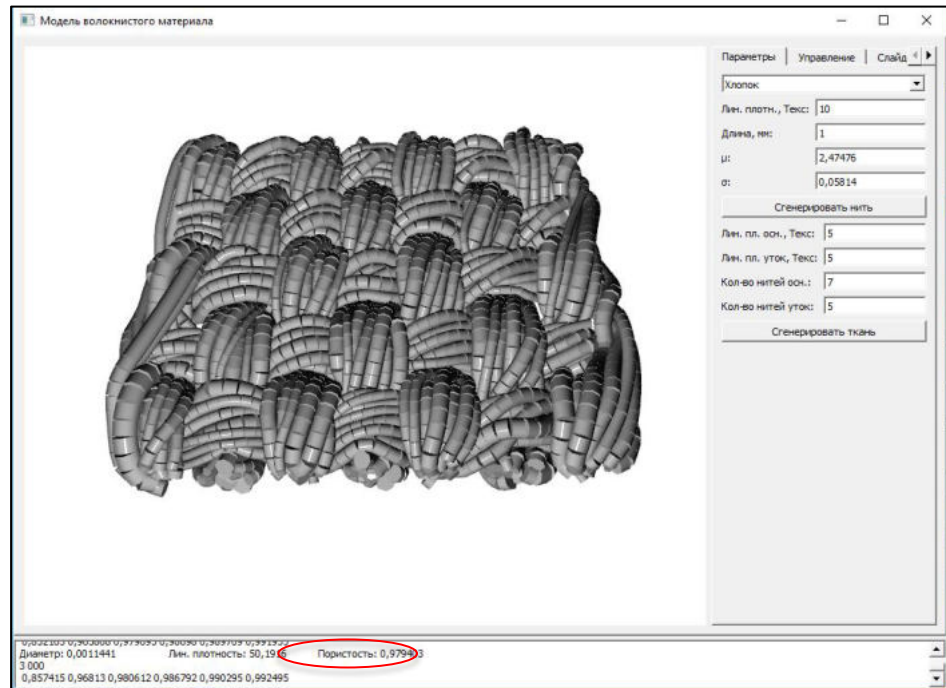


Рисунок 3.10 – Интерфейс программы для моделирования капиллярно-пористой структуры ткани

В нижней части окна показаны результаты расчета диаметра пряжи (нити) с учетом уточненного значения объемной плотности, показателя общей пористости ткани, а также распределения пористости по радиусу пряжи (нити).

Разработанные модели позволяют оценить влияние вида волокнистого состава, линейной плотности пряжи (нитей), плотности ткани по основе и утку на изменение пористости, прогнозировать на этапе проектирования способность к пропитке полимерным связующим в реальных условиях формирования, а также управлять технологическими режимами пропитки и склеивания.

3.2. Экспериментальное исследование капиллярно-пористой структуры текстильных материалов

Целью экспериментальных исследований являлось подтверждение возможности использования разработанного алгоритма моделирования капиллярно-пористой структуры текстильного материала и компьютерной программы для оценки общей пористости.

При моделировании определена истинная пористость – отношение истинного объема пор к объему образца пряжи (нити) и ткани. При пропитке суровых материалов происходит неполное заполнение порового пространства из-за наличия тупиковых пор и пор, содержащих защемленный воздух. Объем

незамкнутых пор, способных заполняться жидкостью называют - кажущийся объем пор (кажущаяся пористость).

Полнота заполнения порового пространства характеризуется коэффициентом пропитки, равным отношению кажущейся пористости к истинной. Для повышения коэффициента пропитки используют различные способы подготовки волокнистого материала с целью удаления заземленного воздуха и раскрытия тупиковых пор: предварительная щелочная отварка, вакуумирование, нагревание, запаривание, плазменная обработка и другие. В данном исследовании использован способ предварительной щелочной отварки. Известно, что в процессе щелочной отварки число тупиковых пор и пор, содержащих заземленный воздух снижается до 3 % [154].

Авторами работ [46, 155] для определения кажущейся пористости волокнистых материалов предложены методы погружения их в жидкость полностью смачивающую волокно. В качестве такой жидкости выбраны бензол или этиловый спирт, показывающие краевой угол близкий к нулю. Тогда, расчет кажущейся пористости волокнистых материалов проводится по формуле:

$$P_k = 1 - \frac{V_B}{(V_{ж} + V_B)}, \quad (3.18)$$

где P_k – кажущаяся пористость;

$V_{жс}$ – средний объем впитанной жидкости, м³.

Предварительные экспериментальные исследования показали, что при использовании данного метода возникают затруднения из-за сложности точного определения объема впитанной жидкости. Поэтому для исследования пористости волокнистых материалов в данной работе предложена новая методика, описание которой представлено в Приложении В.

Для исследования объема пор, способных заполняться жидкостью при пропитке взяты пряжа и нити, используемые при формировании комбинированных текстильных материалов, свойства которых представлены в таблице 3.4. Для повышения смачиваемости и достижения максимально возможного заполнения порового пространства жидкостью пряжа и нити предварительно подвергались щелочной отварке. Результаты расчета истинной пористости смоделированного волокнистого материала и экспериментального определения кажущейся пористости пряжи и нитей представлены в таблице 3.4.

Установлено, что отклонения значений истинной (теоретической) и кажущейся (экспериментальной) пористости, прошедших предварительную щелочную отварку пряжи и нитей составляют не более 5-6%, что подтверждает

адекватность разработанного алгоритма моделирования капиллярно-пористой структуры и прогнозирования пористости [39-А].

Таблица 3.4 – Результаты определения истинной и кажущейся пористости пряжи и 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	0,3293	39,33	37,37
Льняная пряжа кольцевого способа прядения				
87	391	0,4067	53,39	51,00
317	225	0,7763	54,36	51,77
Полиамидная комплексная нить				
195	110	0,7154	59,27	56,94
380	70	0,9987	56,22	56,33
Вискозная комплексная нить				
195	140	0,6149	64,26	60,60
390	70	0,8694	59,98	57,00

Принято, что общая пористость тканого материала P_R складывается из [150, 151]:

- сквозной пористости (поры между нитями основы и утка) P_s ;
- внутренней пористости (межволоконные поры, находящиеся в промежутках между волокнами нитей основы и утка) P_u .

Сквозная пористость образуется при переплетении нитей основы и утка и может быть рассчитана по формуле [150]:

$$P_s = 1 - (E_o + E_v - 0,01E_o \cdot E_v), \quad (3.19)$$

где E_o , E_v – заполнение тканого полотна вдоль нитей основы и утка, соответственно.

$$E_o = \mu_o \cdot \Pi_o; \quad (3.20)$$

$$E_v = \mu_v \cdot \Pi_v, \quad (3.21)$$

где Π_o , Π_v – плотность по основе и утку соответственно, нити на мм;
 μ_o и μ_v – максимальные размеры поперечного сечения нити в ткани вдоль большой оси при деформации, мм:

$$\mu_o = d_o \cdot \eta_{oz}; \quad (3.22)$$

$$\mu_y = d_y \cdot \eta_{y2}, \quad (3.23)$$

где $\eta_{ог}$, $\eta_{ов}$ – коэффициент смятия нитей основы для сечения эллипс по горизонтальной и вертикальной оси, соответственно;

$\eta_{уг}$, $\eta_{ув}$ – коэффициент смятия нитей утка для сечения эллипс по горизонтальной и вертикальной оси, соответственно.

Согласно данным справочной литературы [152]: для вискозных $\eta_{ог}=1,27$, $\eta_{ов}=0,78$, $\eta_{уг}=1,28$, $\eta_{ув}=0,78$; для полиамидных $\eta_{ог}=1,35$, $\eta_{ов}=0,67$, $\eta_{уг}=1,35$, $\eta_{ув}=0,7$.

Внутренняя пористость P_u , образованная в промежутках между волокнами и элементарными нитями, определяется по формуле 3.12.

Размеры сквозной поры по направлению нитей основы a_o и утка a_y , мм, соответственно:

$$a_o = \frac{1}{\Pi_y} - \mu_y; \quad (3.24)$$

$$a_y = \frac{1}{\Pi_o} - \mu_o. \quad (3.25)$$

Периметр сквозной поры, мм:

$$P = 2 \cdot a_o + 2 \cdot a_y. \quad (3.26)$$

Площадь сквозной поры, мм²:

$$S = a_o \cdot a_y. \quad (3.27)$$

Пористость пряжи или нитей, отнесенная ко всему объему ткани равна:

$$P_o = P_k \cdot 0,01(E_o + E_y - 0,01E_o \cdot E_y). \quad (3.28)$$

Экспериментальное значение общей пористости ткани P_R определится как сумма пористости пряжи или нитей, отнесенной ко всему объему ткани P_o , и сквозной пористости ткани P_s .

Результаты теоретической и экспериментальной пористости тканых полотен из вискозных и полиамидных нитей представлены в таблице 3.5.

Как видно, отклонение экспериментальных данных от теоретических составляет не более 5–6 %, что подтверждает адекватность разработанной модели и возможность ее использования для прогнозирования кинетики пропитки, при

проектировании капиллярно-пористой структуры пряжи, нити и ткани с заданными свойствами, а также выборе эффективных технологических режимов пропитки полимерными связующими.

Таблица 3.5 – Результаты определения пористости тканых полотен

Наименование переплетения образца	Число нитей на 10 см		Диаметр нитей, d_p , мм		Пористость, %				
	основы	утка	основы	утка	P_k основа/уток	P_o	сквозная, P_s	теоретическая общая P_R (модель)	экспериментальная общая
<i>Тканое полотно из вискозных нитей</i>									
Комбинированное переплетение	80	62	0,615	0,869	60,60/ 57,00	76,4	11,7	88,9	88,1
<i>Тканое полотно из льняной пряжи</i>									
Плотняное	48	34	0,776	0,776	51,77	27,9	46,2	78,2	74,1
<i>Тканое полотно из полиамидных нитей</i>									
Комбинированное переплетение	80	62	0,715	0,999	56,94/ 56,33	54,7	3,9	61,7	58,6

3.3. Теоретико-экспериментальное исследование физико-химических явлений при формировании комбинированных текстильных материалов

Основными физико-химическими явлениями, лежащими в основе технологии формирования комбинированных текстильных материалов являются:

- смачивание поверхности текстильного материала полимерным связующим и адсорбция;
- частичное (в клеевом способе) или полное (при пропитке) проникновение полимерного связующего в капиллярно-пористую структуру текстильного материала;
- образование между полимерным связующим и текстильным материалом прочного адгезионного соединения;
- фиксация полимерного связующего в текстильном материале.

После погружения тканого полотна в пропиточную ванну с полимерным связующим или при его нанесении на поверхность, происходит *смачивание* текстильного материала. Смачивание поверхности является важным условием

формирования, так как характеризует возможность поглощения полимерного связующего текстильным материалом и равномерное его распределение.

Количественная оценка энергии смачивания текстильного материала полимерным связующим может быть дана на основании уравнения Юнге [46, 158]:

$$\sigma_{13} = \sigma_{12} + \sigma_{23} \cos \theta, \quad (3.29)$$

где σ_{13} , σ_{12} , σ_{23} – поверхностное натяжение текстильного материала на границе с воздухом, на границе раздела текстильный материал – полимерное связующее, полимерное связующее – воздух, соответственно;

θ – краевой угол смачивания.

Используя известное уравнение Дюпре [53] и подставив (3.29) получим:

$$W_a = \sigma_{23} \cdot (1 + \cos \theta). \quad (3.30)$$

Самопроизвольно смачивание происходит при условии $\theta=0$, тогда:

$$W_a = 2\sigma_{23}. \quad (3.31)$$

Смачивание текстильных материалов полимерным связующим в нормальных условиях происходит в том случае, если

$$\sigma_{13} > \sigma_{23}, \quad (3.32)$$

т. е., поверхность текстильного материала хорошо смачивается полимерными связующими, поверхностное натяжение которых меньше, чем у него.

Известно, что по способности смачиваться полимерными связующими на водной основе волокна, используемые в данном исследовании, можно распределить в следующий ряд [46, 131]:

вискозное > хлопковое > полиакрилонитрильное > полиамидное > полиэфирное

Важное значение для смачивания является подготовка текстильного материала, связанная с удалением гидрофобных примесей и загрязнений. Улучшение смачивания может быть достигнуто путем активации процесса нагреванием, воздействием электромагнитных волн ВЧ, СВЧ диапазона, плазменной обработкой поверхности текстильного материала, введением в составы полимерных связующих поверхностно-активных веществ [116, 127].

После смачивания происходит проникновение полимерного связующего в текстильный материал. В зависимости от способа формирования происходит:

- пропитка текстильного материала водными дисперсиями полимеров под действием капиллярных сил и гидростатического давления (самопроизвольная пропитка);
- пропитка материалов водными растворами полимеров при соединении слоев под действием внешнего давления (давление прижимных валиков).

В первом случае для управления и оптимизации процессов можно использовать основные законы капиллярной пропитки, заключающейся в поднятии жидкости по капиллярам пористых материалов под действием капиллярного давления. В волокнистый материал проникает и дисперсионная среда и дисперсные частицы.

В соответствии с законом Пуазейля полимерное связующее проникает вначале в наиболее широкие капилляры, затем заполняются узкие капилляры. Однако, узкие капилляры могут заполняться дисперсной фазой частицы которой имеют малые размеры, в случае больших частиц возможна закупорка капилляров. При движении полимерного связующего происходит вытеснение из них воздуха. Однако, некоторая его часть остается («защемленный воздух»), что препятствует полному заполнению капиллярной структуры текстильного материала полимерным связующим. Чем лучше смачивается текстильный материал полимерным связующим, тем больше воздуха остается в капиллярах.

Частицы дисперсной фазы проникают в поры между волокнами и нитями. При использовании текстильных материалов из натуральных волокон возможно проникновение дисперсных частиц в пористую структуру волокна, при использовании синтетических волокон проникновение затруднено из-за плотной упаковки макромолекул волокнообразующего полимера. Так как, в технологическом процессе операция погружения тканого полотна или нанесение на него полимерного связующего протекает за короткое время, проникновением полимерного связующего в поры волокнообразующего полимера можно пренебречь.

Одновременно с продвижением полимерного связующего в капиллярах текстильного материала происходит его сорбция. Сорбция зависит от концентрации водной дисперсии полимерного связующего, присутствия текстильно-вспомогательных веществ (электролитов, катионоактивных поверхностно-активных веществ, стабилизаторов), природы волокна, температуры, pH [159].

При последующей термообработке происходит отложение сорбированной дисперсной фазы на волокнах и нитях в виде отдельных включений, не образующих сплошную пленку на поверхности полотна. Как показывают результаты исследований [46], отложение дисперсной фазы происходит дискретно. Наружные слои текстильного материала содержат больше дисперсной фазы, чем глубинные. Это можно объяснить двумя причинами. Во-первых, по мере

продвижения дисперсии полимерного связующего происходит его обеднение за счет отложения дисперсной фазы, во-вторых, при термообработке текстильного материала наблюдается миграция дисперсной фазы к поверхностным слоям.

Во втором случае при формировании слоистых текстильных материалов клеевым происходит неполная пропитка ткани под действием давления прижимных валиков. При наличии внешнего давления в области пропитки процесс протекает по закону Дарси [160]. Полимерное связующее должно оставаться в зоне адгезионного контакта, а также частично диффундировать в структуру волокнистого материала, что обеспечивает высокую прочность адгезионного соединения. Автор работы [10] считает, что не менее 1/3 толщины полимерного связующего должно располагаться между текстильным материалом и нетканым полотном, а не более 2/3 проникать в структуру соединяемых материалов.

Образование прочного адгезионного соединения происходит в процессе сушки. При этом формируются важные свойства готового слоистого композиционного текстильного материала заданная жесткость, прочность, специальные свойства в зависимости от назначения. Полимерное связующее должно обладать необходимой адгезией к волокну.

Адгезия – сцепление поверхностей разнородных твердых и/или жидких тел [158, 161]. Связь между молекулами (атомами, ионами) внутри тела в пределах одной фазы называется *когезией*. Адгезия представляет собой сложное явление, которое описывается множеством теорий, однако в настоящее время нет единой теории склеивания.

Механическая теория объясняет процесс склеивания проникновением полимерного связующего в поры и капилляры материала. Согласно механической теории на прочность адгезионного соединения влияет площадь поверхностей, их форма, структура (например, шероховатость, ворсистость, наличие, пористость и др.). Управляя этими свойствами возможно регулировать прочность адгезионного соединения. Эта теория хорошо согласуется с результатами экспериментальных исследований склеивания текстильных материалов [10, 162].

Образование адгезионного соединения согласно адсорбционной теории происходит в две стадии: миграция макромолекул полимерного связующего к соединяемым поверхностям; сорбция полимерного связующего, которая проявляется при сближении его молекул с молекулам вещества склеиваемых поверхностей на расстояние действия молекулярных сил – водородные, диполь-дипольные, дисперсионные, индуцированные дипольные. Однако, согласно данным, приведенным в исследованиях Кузьмичева В.Е. адсорбционная теория не объясняет того факта, что значения фактической работы расслаивания оказываются больше теоретически рассчитанной энергии всех межмолекулярных сил.

Б.В. Дерягиным была предложена электронная теория адгезии на основании представлений о двойном электрическом слое. Адгезия объясняется действием сил электростатического притяжения, является результатом молекулярного взаимодействия двух поверхностей различной природы.

Диффузионная теория, предложенная Воюцким С.С. рассматривает адгезию как результат односторонней или взаимной диффузии молекул полимерного связующего и волокнистого материала в результате его набухания. Основные положения теории связаны со строением молекул полимерного связующего, образованием единого объема, исчезновением границы раздела фаз. Диффузионная теория не позволяет объяснить образование адгезионного соединения между поверхностями не способными взаимно диффундировать, а следовательно не может быть использована для объяснения механизма текстильных материалов.

Реологическая теория, разработанная Гулем В.Е. состоит в том, что формирование площади контакта зависит от реологических процессов проникновения полимерного связующего в микропоры текстильного материала.

Теория химических связей объясняет адгезию образованием химических связей, энергия которых значительно больше физических, например ван-дер-ваальсовских. Образование химических связей возможно и зависит от реакционной способности молекул полимерного связующего и текстильного материала. Однако, с учетом того факта, что при формировании слоистых текстильных материалов используются малоактивные полимерные связующие, а также между функциональными группами волокна и полимерного связующего образуются слабые межмолекулярные связи применение одной лишь химической теории не объясняет образование прочных адгезионных соединений текстильных материалов.

Таким образом, ни одна из существующих теорий не объясняет полностью процесс образования прочного адгезионного соединения между полимерным связующим и текстильным материалом, не дает точного представления о явлении адгезии в текстильных материалах, теоретические ее оценки не согласуются с экспериментальными данными, полученными при разрушении адгезионного соединения «тканый материал – полимерное связующее – нетканый материал»

Заключительный этап технологии формирования комбинированных текстильных материалов - фиксация полимерного связующего, осуществляется при его термообработке, рассмотрение которой представлено в главе 6.

Таким образом, теоретическое обоснование технологии формирования комбинированных текстильных материалов необходимо начать с исследования кинетики пропитки текстильных материалов водными дисперсиями или растворами полимерных связующих различного состава.

3.3.1. Исследование процесса самопроизвольной пропитки при формировании комбинированных текстильных материалов

Вопросы пропитки текстильных материалов широко освещены в работах Воюцкого С.С., Браславского В.А., Трещалина Ю.М. [6, 46, 47, 137].

От скорости, полноты и равномерности пропитки зависит качество готового материала. На полноту и кинетику пропитки влияют свойства волокнистого материала, полимерного связующего и условия проведения процесса. При исследовании процесса пропитки тканых полотен, следует различать скорость пропитки и полноту. *Скорость пропитки* – скорость продвижения полимерного связующего в текстильный материал, может быть охарактеризована временем, необходимым для поглощения фиксированного объема полимерного связующего. Полимерное связующее проникает в поры волокнистого материала с неодинаковой скоростью в связи со сложным пространственным расположением капилляров и различным их диаметром. Кроме того, при пропитке дисперсиями полимеров, когда размеры частиц достаточно велики, может происходить частичное или полное их отфильтровывание. В этом случае, скорость пропитки не может являться единственным параметром, характеризующим эффективность процесса пропитки, достаточным для оптимизации технологических параметров формирования комбинированного материала. В работе использованы водные дисперсии полимеров размер частиц которых составляет доли микрона, что меньше диаметра капилляров исследуемых текстильных материалов, поэтому отфильтровыванием дисперсной фазы можно пренебречь.

Полнота пропитки текстильного материала – степень заполнения объема пор полимерным связующим, может быть охарактеризована количеством отложившейся дисперсной фазы в текстильном материале.

Равномерность пропитки – распределения частиц дисперсной фазы по толщине текстильного материала. На практике даже при пропитке индивидуальными жидкостями не происходит равномерного распределения – наружные слои содержат больше жидкости, чем внутренние. В случае дисперсий полимеров неравномерность распределения дисперсной фазы очевидна [46].

При проведении теоретических и экспериментальных исследований процесса пропитки тканых полотен из химических нитей поставлены следующие задачи:

- численно оценить величину высоты, скорости и продолжительности пропитки тканых полотен из химических нитей;
- провести анализ влияния на кинетику пропитки пористости, геометрических характеристик пряжи, нити и тканей, физико-химических свойств полимерного связующего, а также технологических режимов пропитки.

Процесс пропитки волокнистого материала можно условно разделить на два периода и общая продолжительность равна:

$$\tau_{\text{общ}} = \tau_1 + \tau_2, \quad (3.33)$$

где τ_1 - продолжительность первого периода пропитки, в течение которого заполняются поры и капилляры материала, не содержащие «защемленного» воздуха;

τ_2 - продолжительность второго периода, в котором заполняются жидкостью поры, содержащие «защемленный» воздух.

Для текстильных материалов, прошедших предварительную щелочную отварку и обладающих хорошей смачиваемостью поверхности, доля пор и капилляров, содержащих «защемленный» воздух не превышает 3,5 % [154, 163]. Общая продолжительность пропитки определяется продолжительностью первого периода пропитки. При отсутствии внешнего давления связующее проникает в поры материала за счет капиллярных сил, создаваемых смачиванием. В этом случае скорость пропитки связана обратной зависимостью с радиусом капилляра и отношением вязкости к поверхностному натяжению полимерного связующего. Поэтому пористость текстильного материала является важнейшим фактором, влияющим на скорость и полноту пропитки, так как проникновение полимерного связующего управляется в основном факторами капиллярности и вязкости.

Таким образом, для исследования процесса пропитки при формировании комбинированных текстильных материалов принимаем следующие допущения: отсутствие пор, содержащих защемленный воздух, не учитываем форму капилляров и пор, течение полимерного связующего в текстильном материале является ламинарным.

Для практических расчетов скорости самопроизвольного проникновения полимерного связующего в капиллярно-пористые системы воспользуемся классическими законами капиллярности, согласно которым скорость поднятия жидкости определяется уравнением Уошборна [6, 23, 46]:

$$\frac{dh}{d\tau} = \left(\frac{2 \cdot \sigma \cdot \cos\theta}{r} - \rho \cdot g \cdot h \right) \frac{r^2}{8 \cdot \eta \cdot h}, \quad (3.34)$$

где h – высота подъема полимерного связующего, м;

τ – продолжительность пропитки, с;

σ – поверхностное натяжение полимерного связующего, Н/м;

θ – краевой угол смачивания, град;

ρ – плотность полимерного связующего, кг/м³;

$g = 9,81$ – ускорение силы тяжести, м/с²;

r – радиус капилляра, м;

η – динамическая вязкость полимерного связующего, Па·с.

Пренебрегая силой тяжести, ввиду её малости по сравнению с капиллярной силой, уравнение (3.34) примет вид:

$$\frac{dh}{d\tau} = \left(\frac{2 \cdot \sigma \cdot r \cdot \cos\theta}{8 \cdot \eta \cdot h} \right). \quad (3.35)$$

Для капиллярно-пористых тел, к которым относится текстильный материал наибольшее распространение получило уравнение Волковой – Госкинса – Уошборна [46, 164]:

$$\frac{dh}{d\tau} = \left(\frac{\sigma \cdot r \cdot \cos\theta}{4 \cdot \eta \cdot h} \right), \quad (3.36)$$

интегрируя которое, получим

$$\frac{h^2}{\tau} = \frac{\sigma \cdot \cos\theta}{2 \cdot \eta} \cdot r, \quad (3.37)$$

где r – радиус капилляра, м.

Согласно данным экспериментальных исследований, представленных в работе [11-А, 13-А, 46] при пропитке ткани в первую очередь происходит заполнение пор и капилляров с диаметром более 10 – 15 мкм, поэтому для тканых полотен с разреженной структурой быстрее всего полимерное связующее проникает в поры между нитями основы и утка (сквозная пористость), медленнее в межволоконное пространство. Нити основы и утка вследствие механических воздействий расплющиваются, изменяются геометрическая форма и размер пор – принимают форму щели [47].

Тогда, согласно теории гидродинамики жидкостей [165] для определения скорости заполнения пор, образуемых между нитями основы и утка используем следующее уравнение:

$$\frac{h^2}{\tau} = \left(\frac{\sigma \cdot \cos\theta}{2 \cdot \eta} \cdot \frac{2S}{P} \right) = \frac{\sigma \cdot \cos\theta}{\eta} \cdot \frac{S}{P}, \quad (3.38)$$

где P – периметр капилляра (поры), м (3.26);

S – площадь капилляра (поры), м² (3.27).

Откуда получим для тканых полотен с разреженной структурой:

$$h^2 = \frac{\sigma \cdot \cos\theta}{\eta} \cdot \frac{S}{P} \cdot \tau. \quad (3.39)$$

При постоянных значениях σ , θ , η , а также значений площади и периметра капилляра получим известный закон капиллярной пропитки [46, 166, 167]:

$$h^2 = K \cdot \tau, \quad (3.40)$$

где $K = \sqrt{\frac{\sigma \cdot \cos\theta}{\eta} \cdot \frac{S}{P}}$ – константа пропитки.

Тогда высота капиллярного подъема

$$h = K \cdot \sqrt{\tau}. \quad (3.41)$$

Константа пропитки является величиной постоянной для конкретного полимерного связующего при постоянной температуре и концентрации раствора.

При пропитке тканых полотен с нормальной структурой происходит заполнение пор и капилляров между элементарными нитями, поэтому целесообразно использовать кинетическое уравнение движения полимерного связующего, предложенное Б.В. Дерягиным [6, 46]:

$$h^2 = 2 \cdot k_f \cdot \tau \cdot \frac{S_0}{P_R^2} \cdot \sigma \cdot \cos\theta, \quad (3.42)$$

где k_f – коэффициент фильтрации;

S_0 – удельная поверхность волокон или элементарных нитей;

P_R – общая пористость тканого полотна.

Коэффициент фильтрации равен:

$$k_f = \frac{k}{\eta} = \frac{P_R \cdot d^2}{\eta}, \quad (3.43)$$

где k – коэффициент проницаемости, равный площади поперечного сечения капилляра, м^2

$d = 20 - 30$ мкм – средний диаметр капилляров и пор между волокнами или элементарными нитями, м. [2-А, 10-А, 12-А].

Удельная поверхность волокна или элементарной нити равна: $\pi \cdot d_g \cdot l$, тогда удельная поверхность всех волокон или нитей в объеме материала:

$$S_o = \pi \cdot d_g \cdot L; \quad (3.44)$$

где L – длина нитей в объеме тканого полотна, м.

Так как масса ткани равна массе нитей в определенном объеме

$$\delta_m \cdot V_0 = \frac{\pi \cdot d_B^2}{4} \cdot \delta \cdot L; \quad (3.45)$$

длина нитей в объеме тканого полотна равна:

$$L = 4 \cdot \frac{\delta_m}{\delta \cdot \pi \cdot d_B^2}; \quad (3.46)$$

Пористость тканого полотна может быть выражена как отношение его объемной плотности к объемной плотности нити, тогда с учетом (3.42 – 3.46) кинетическое уравнение пропитки пряжи или нитей:

$$\frac{h^2}{\tau} = 2 \cdot \frac{d^2}{\eta} \cdot \frac{4 \cdot (1 - P_u) \cdot \frac{1}{d_g}}{P_u} \cdot \sigma \cdot \cos\theta. \quad (3.47)$$

Анализ кинетики самопроизвольной пропитки текстильных материалов позволил установить зависимость высоты, скорости поднятия полимерного связующего от пористости и геометрических свойств текстильного материала. Однако не учитывается влияние изменения физико-химических свойств полимерных связующих, используемых при формировании комбинированного материала, в зависимости от условий пропитки. Поэтому целью дальнейших исследований является получение комплексной математической модели зависимости параметров процесса пропитки от структурных свойств текстильного материала, физико-химических свойств полимерного связующего и условий формирования комбинированного текстильного материала.

3.3.1.1. Исследование зависимости физико-химических свойств полимерных связующих от концентрации и температуры

С точки зрения экологической безопасности и простоты применения при формировании слоистых текстильных материалов использовались полимерные связующие (клеи) на основе поливинилового спирта и поливинилацетатной дисперсии свойства которых представлены в таблице 3.6.

Таблица 3.6 – Свойства полимерных связующих для слоистых текстильных материалов

Показатель	Значение показателя
<i>Полимерное связующее на основе поливинилового спирта</i>	
Назначение	Применяется в чистом виде и в смеси для бумаги, кожи, ткани и нетканых материалов
Концентрация, %	4-9
Динамическая вязкость 4%-ного раствора Па·с·10 ³	5 - 7
Концентрация водородных ионов (рН) 4%-ного раствора	6 - 7
Плотность вещества, г/см ³	1,29
Растворимость в воде после высыхания	да
Температура стеклования, °С	69 - 85
Температура плавления, °С	130 - 360
<i>Полимерное связующее на основе поливинилацетатной дисперсии</i>	
Назначение	Применяется для бумаги, тканей нетканых материалов
Плотность, г/см ³	1,05 – 1,2
Динамическая вязкость 55% - ного водного раствора, Па·с	0,2 – 1,6
Концентрация водородных ионов (рН)	5 – 6,5
Массовая доля сухого остатка, % не менее	51 - 53
Растворимость в воде после высыхания	да
Средний размер частиц, нм	80 - 150
Температура стеклования, °С	110-120
Температура разложения, °С	170 - 180

Клеи на основе *поливинилового спирта* (ПВС) представляют собой растворы полимера в воде или в органических растворителях. Для приготовления клеев используют поливиниловый спирт (порошок), образующийся при гидролизе поливинилацетата. Растворимость получаемого поливинилового спирта в воде зависит от степени гидролиза поливинилацетата. ПВС растворяется путем диспергирования в холодной воде с последующим нагреванием при 80–90 °С. Технические требования к ПВС указаны в ГОСТ 10779-97 Спирт поливиниловый. Технические условия.

Поливинилацетатные клеи (ПВА) относятся к термопластичным полимерным связующим. Для соединения текстильных и нетканых полотен интерес представляет дисперсия ПВА. Дисперсия представляет собой взвесь

твердых частиц (глобул) в воде, которая является дисперсионной средой. Глобулы окружены оболочкой специального вещества – эмульгатора, который препятствует слипанию (коалесценции) частиц. Преимущество дисперсии перед раствором заключается в более быстром удалении воды, что способствует ускорению процесса склеивания. Эмульгатором в ПВА-дисперсиях является поливиниловый спирт.

Преимущества ПВА-клеев заключаются в том, что они не требуют отвердителя и поэтому имеют почти неограниченную жизнеспособность, быстро отверждаются при комнатной и повышенной температуре, экологичность. Отверждение происходит за счет удаления влаги и роста цепей макромолекул. ПВА может быть использован до температуры 100 °С; при 120 °С наблюдается пластическое течение, а выше 130 °С – разложение с выделением уксусной кислоты. Недостатки ПВА низкая теплостойкость (до 40-60°С), текучесть под нагрузкой, низкая водостойкость. Технические требования к ПВА-дисперсиям указаны в ГОСТ 18992-80 Дисперсия поливинилацетатная гомополимерная грубодисперсная. Технические условия.

Для формирования комбинированных каркасных текстильных материалов способом пропитки использованы экологически чистые стирол-акрилатные дисперсии в диапазоне концентраций 100 – 500 г/л., которые применяются в операциях заключительной отделки (аппретировании) текстильных материалов из натуральных и химических волокон и нитей.

«Appretan № 9616» (ф. «Clariant») – самосшивающаяся дисперсия стирол-акрилата, совместим с другими препаратами (с неионогенными, анионоактивными фторорганическими дисперсиями, сшивающими агентами, смолами, загустителями, смягчителями, катализаторами и другими текстильно-вспомогательными веществами). Образующийся жесткий гриф устойчив к чистке водой и химчистке, что является важным для обеспечения эксплуатационных свойств готового комбинированного материала. Свойства препарата представлены в таблице 3.7.

Таблица 3.7 – Свойства препарата «Appretan № 9616» для формирования каркасного текстильного материала

Наименование показателя	Значение показателя
Состав	дисперсия стирол-акрилата, самосшивающая
Внешний вид	низковязкая дисперсия белого цвета
Ионогенность	анионоактивная
рН	около 4-6
Растворимость	смешивается с холодной и теплой (до 500С) водой в любом соотношении

Содержание сухого вещества, %	50±1
Динамическая вязкость, мПа с	4÷8
Средний размер частиц, нм	100÷140
Гриф	жесткий
Морозоустойчивость	неморозостойкий
Устойчивость к стирке и химической чистке	устойчив к стирке и химчистке

Скорость пропитки зависит от следующих физико-химических свойств полимерного связующего:

- *смачивания поверхностей*, которое характеризуется равновесным краевым углом смачивания θ . $\theta = 0$ – полное смачивание; $\theta > 90^\circ$ – поверхность не смачивается; $0 \leq \theta < 90^\circ$ – переходное состояние неполного смачивания [168].

Для исследования смачивания поверхности ткани использовалась методика определения краевого угла через максимальную высоту капиллярного подъема h_{max} для эталонного капилляра известного радиуса R_3 , выражаемого из уравнения Жюрена:

$$h_{max} = \frac{2\sigma \cdot \cos\theta}{R_3 \cdot g \cdot \rho}; \quad (3.48)$$

$$\cos\theta = \frac{h_{max} \cdot R \cdot g \cdot \rho}{2\sigma}. \quad (3.49)$$

- *плотности ρ* .

В результате экспериментальных исследований установлено незначительное изменения плотности используемых полимерных связующих в диапазоне температуры от 20 до 60⁰С.

- *поверхностного натяжения σ* , которое уменьшается при повышении температуры, вследствие ослабления межмолекулярных сил [161, 169].

Для определения поверхностного натяжения использован сталагмометрический метод, который основан на определении веса капли, отрывающейся под действием силы тяжести от плоской поверхности торцевого среза капилляра [161, 169].

- *вязкости η* .

Диапазон значений для полимерных связующих, используемых при формировании различных текстильных композитов широк. Так, для низковязких жидкостей $\eta \sim 10^{-3}$ Па с, а высоковязкие ньютоновские жидкости могут иметь в тысячи и миллионы раз более высокие значения η [170]. Вязкость оказывает существенное влияние на скорость пропитки текстильного материала.

Влияние частиц дисперсной фазы на вязкость полимерного связующего заключается в том, что те слои жидкости, которые прилегают непосредственно к частицам, могут перемещаться только с той же скоростью, что и частицы. Эйнштейн получил формулу вязкости дисперсной системы, принимая, что на достаточном удалении от поверхности частицы поток имеет постоянную скорость, а сама частица перемещается вместе с потоком [170]:

$$\eta = \eta_0(1 + a\omega), \quad (4.50)$$

где η_0 – вязкость дисперсионной среды;

a – коэффициент формы частиц;

ω – объемная доля частиц дисперсной фазы.

Определение вязкости полимерных связующих проводилось в соответствии с ГОСТ 18249–72.

Для растворов и водных дисперсий полимерных связующих, используемых в данной работе проведены экспериментальные исследования зависимости краевого угла смачивания, поверхностного натяжения и вязкости от их концентрации и температуры. Планы и результаты исследований представлены в таблицах Г.1 – Г.7 и на рисунках Г.1 – Г.3 (Приложение Г). Обработка результатов экспериментальных исследований проводилась с использованием программы Statistica for Windows.

Получены математические модели зависимости поверхностного натяжения и краевого угла смачивания от концентрации и температуры для полимерных связующих, используемых при формировании комбинированных текстильных материалов (таблица 3.8).

Таблица 3.8 – Математические модели зависимости поверхностного натяжения, вязкости и краевого угла смачивания от концентрации и температуры

Состав полимерного связующего	Вид математической модели		
	Для поверхностного натяжения	Для краевого угла смачивания	Для вязкости
Дисперсия стирол-акрилата	$\sigma=58,07 + 0,054c - 0,5t$	$\theta=21,0+0,03c - 0,2t$	$\eta=1,55-0,004c-0,024t$
Поливинилацетатная дисперсия	$\sigma=55,87+2,0c - 3,07t$	$\theta=27,05+3,0c-2,12t$	$\eta=2,28+0,383c-0,417t$
Поливиниловый спирт	$\sigma=60,93+4,53c-3,93t+1,93c^2$	$\theta=33,76+4,95c-5,4t+0,95ct - 1,85c^2$	$\eta=107,73+114,65c - 47,2t - 44,0ct+23,6c^2$

Анализируя полученные математические модели можно сделать вывод о том, что характер изменения показателей вышеуказанных свойств для всех используемых полимерных связующих одинаковый – уменьшаются с повышением температуры и увеличиваются с возрастанием концентрации. Однако, стоит отметить, что в исследуемых диапазонах в большей степени свойства низковязких водных растворов и дисперсий зависят от концентрации, температура не оказывает значительного влияния. Установленные закономерности хорошо согласуются с классическими законами изменения свойств для ньютоновских жидкостей [168,170].

Полученные математические модели зависимости физико-химических свойств полимерных связующих от их концентрации и температуры пропитки позволяют перейти к анализу кинетики пропитки тканых полотен, пряжи и нитей при формировании комбинированных текстильных материалов.

3.3.1.2. Анализ кинетики самопроизвольной пропитки тканых полотен и нитей стирол-акрилатной водной дисперсией

В качестве объектов исследования процесса пропитки использованы тканые полотна из вискозных и из полиамидных нитей двух переплетений: просвечивающее комбинированное (разреженная структура) и креповое (структура средней плотности), характеристики которых представлены в таблице 3.9.

Таблица 3.9 – Характеристики тканей

Наименование параметра	Комбинированное переплетение на базе репса 4/4	Креповое переплетение
Линейная плотность нитей, текс: – основы – утка	вискоза 195,0 / полиамид 195,0 вискоза 390,0 / полиамид 380,0	
Ширина суровой тканой основы, см	282,4	
Плотность, нит/ 10 см: – по основе – по утку	80,0 62,0	85,0 62,0
Поверхностная плотность, г/м ²	410,0	417,0

Анализ самопроизвольной пропитки тканого полотна просвечивающего переплетения проведем используя уравнение (3.38). Подставляя математические модели физико-химических свойств водной дисперсии стирол-акрилата, представленные в таблице 3.8, в уравнение (3.38) получим зависимость высоты и скорости капиллярного поднятия от концентрации полимерного связующего и температуры пропиточной ванны [75-А]:

$$h = \sqrt{\frac{(58,1 + 0,054c - 0,5t) \cdot \cos(21,0 + 0,03c - 0,2t) \cdot S \cdot \tau}{(1,54 - 0,004c - 0,024t) \cdot P}}; \quad (3.51)$$

$$\frac{dh}{d\tau} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{(58,1 + 0,054c - 0,5t) \cdot \cos(21,0 + 0,03c - 0,2t) \cdot S}{(1,54 - 0,004c - 0,024t) \cdot P}} \cdot \tau^{-\frac{1}{2}}. \quad (3.52)$$

Графические зависимости скорости пропитки при $\tau = 300$ с и высоты капиллярного подъема от концентрации и температуры пропиточной ванны представлены на рисунках 3.11, 3.12.

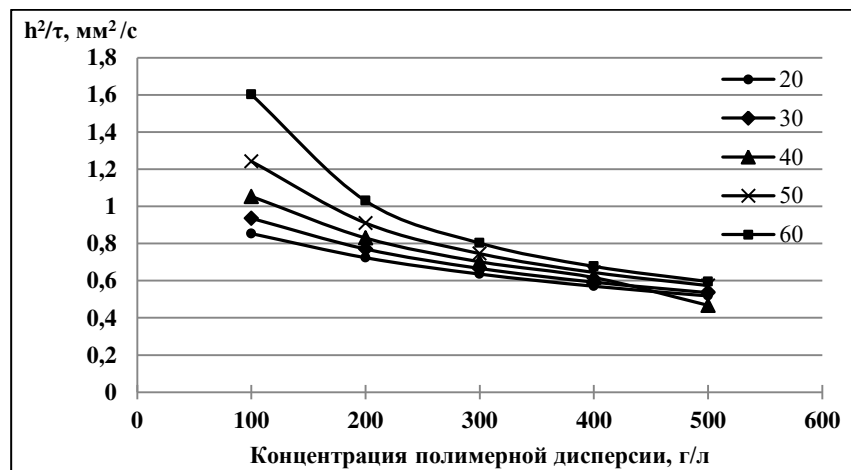


Рисунок 3.11 – Кинетика пропитки тканого полотна просвечивающего переплетения дисперсией полимерного связующего

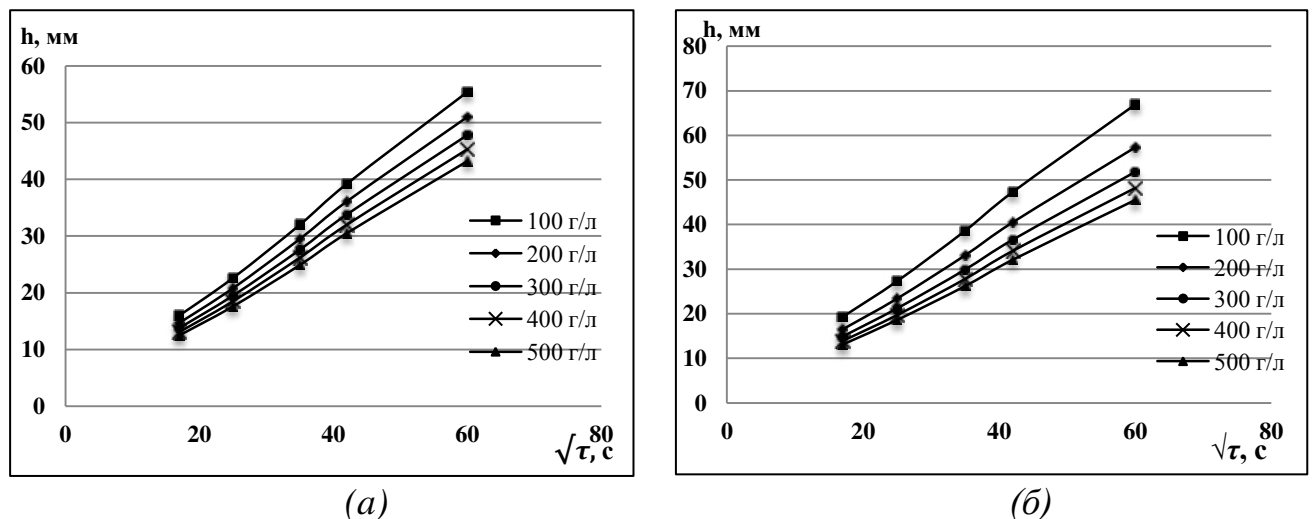


Рисунок 3.12 – Зависимость h от $\sqrt{\tau}$ для пропитки тканого полотна просвечивающего переплетения дисперсией полимерного связующего при температуре 20°C (а) и 60°C (б)

В результате анализа полученных математических моделей (3.51) и (3.53) графических зависимостей, можно сделать следующие выводы:

- с увеличением концентрации полимерного связующего высота и скорость капиллярного подъема уменьшается;
- при увеличении концентрации максимальное значение высоты подъема полимерного связующего уменьшается;
- скорость пропитки при концентрации полимерной дисперсии 100 – 200 г/л возрастает в 1,5 – 2 раза при повышении температуры пропиточной ванны до 60⁰С, в то время как при концентрации 300 – 500 г/л скорость пропитки практически не зависит от температуры;
- максимальная высота капиллярного поднятия водной дисперсии связующего 400 – 500 г/л практически не зависит от температуры пропиточной ванны;
- чем более щелевидное сечение сквозной поры (больше периметр поры), тем меньше скорость капиллярного подъема полимерного связующего.

Незначительное влияние температуры на высоту и скорость капиллярного подъема объясняется незначительным изменением пропитывающих свойств (вязкости, поверхностного натяжения, смачивания) для низковязкой водной дисперсии полимера в зависимости от температуры. Кроме того, можно предположить, что при высоких концентрациях полимерной дисперсии частицы дисперсной фазы сорбируются на волокне, что препятствует продвижению по порам и капиллярам.

При пропитке тканых полотен крепового переплетения происходит заполнение капилляров и пор комплексных нитей, поэтому используем кинетическое уравнение (3.47), учитывающее пористость нити и диаметр составляющих ее филаментов. Тогда, подставляя математические модели зависимости физико-химических свойств водной дисперсии стирол-акрилата, получим:

$$h = \sqrt{8d^2 \frac{(1 - P_u)}{P_u} \cdot \frac{1}{d_e} \cdot \frac{(58,1 + 0,054c - 0,5t) \cdot \cos(21,0 + 0,03c - 0,2t)}{(1,54 - 0,004c - 0,024t)} \cdot \tau} \quad (3.53)$$

$$\frac{dh}{d\tau} = \frac{1}{2} \sqrt{8d^2 \frac{(1 - P_u)}{P_u} \cdot \frac{1}{d_e} \cdot \frac{(58,1 + 0,054c - 0,5t) \cdot \cos(21,0 + 0,03c - 0,2t)}{(1,54 - 0,004c - 0,024t)} \cdot \tau^{-\frac{1}{2}}} \quad (3.54)$$

Для расчета значений высоты и скорости подъема полимерного связующего использованы следующие характеристики химических комплексных нитей:

- среднее значение пористости $P_u=0,6$;
- среднее значение диаметра капилляров $d = 20 - 30$ мкм [10-А, 12-А];
- диаметр филаментов $d_e = 15 - 20$ мкм.

Анализируя полученные математические модели (3.53) и (3.54), а также графические зависимости, представленные на рисунках 3.13 и 3.14, можно сделать следующие выводы [9-А, 75-А]:

- характер зависимостей $h(\tau)$ и $\frac{dh}{d\tau}(\tau)$ одинаковый для тканых полотен крепового и просвечивающего переплетения с разреженной структурой;
- при заполнении капилляров и пор меньшего размера между филаментами комплексной нити в ткани крепового переплетения скорость пропитки ниже, чем при заполнении сквозных пор большего размера в ткани просвечивающего переплетения;
- максимальная высота подъема полимерного связующего и требуемое для этого время в случае капилляров большего размера меньше, чем в случае капилляров с меньшей площадью;
- с увеличением общей пористости тканого полотна скорость пропитки уменьшается.

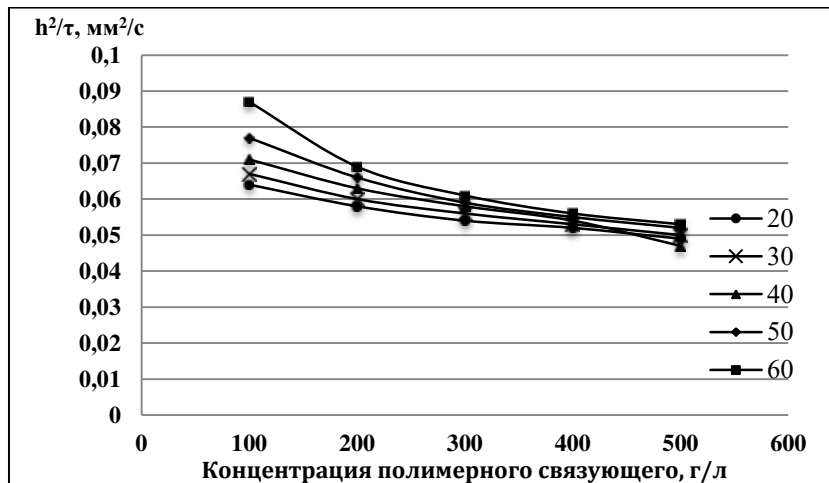


Рисунок 3.13 – Кинетика пропитывания тканого полотна крепового переплетения

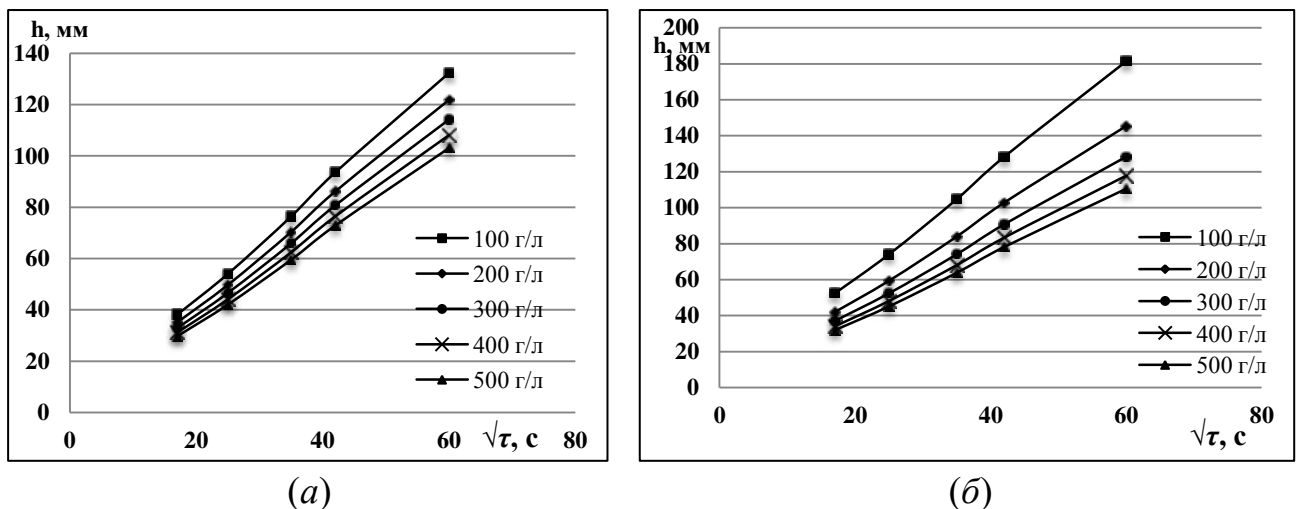


Рисунок 3.14 – Зависимость h от $\sqrt{\tau}$ для пропитки тканого полотна крепового переплетения при температуре 20°C (а) и 60°C (б)

С целью проверки адекватности полученных комплексных математических моделей (3.51) – (3.54) произведено сравнение расчетных и экспериментальных значений высоты подъема полимерного связующего в тканых полотнах с различными показателями пористости (таблица 3.10). При проведении исследований в качестве объектов выбраны тканые полотна, используемые при формировании комбинированных текстильных материалов способом пропитки. Условия проведения эксперимента: температура $t=20$ °С, концентрация водной дисперсии стирол-акрилата $c=100$ г/л; 500 г/л. Высота капиллярного подъема определялась согласно ГОСТ 29104.11–91 [171].

Таблица 3.10 – Экспериментальные и расчетные значения максимальной высоты подъема полимерного связующего в тканых полотнах

Сырьевой состав тканого полотна	Пористость, %		Размер пор $S, \text{ м}^2$ $P, \text{ м}$	Высота подъема связующего за 30 мин (эксперимент), h, м		Высота подъема связующего за 30 мин (расчет по формулам (3.51) – (3.53)), h, м		Относительная погрешность, %
	нити	сквозная ткань		100 г/л	500 г/л	100 г/л	500 г/л	
<i>Просвечивающее комбинированное переплетение</i>								
- вискозное	60	11,7	$\frac{2,35 \cdot 10^{-7}}{1,94 \cdot 10^{-3}}$	0,062	0,043	0,05813	0,04529	6,2/
- полиамидное	57	3,9	$\frac{0,75 \cdot 10^{-7}}{1,1 \cdot 10^{-3}}$	0,040	0,035	0,04293	0,03345	5,3/
								7,3/
								4,4
<i>Креповое переплетение на базе полотняного</i>								
- вискозное	60	10	$\frac{1,85 \cdot 10^{-7}}{1,74 \cdot 10^{-3}}$	0,052	0,040	0,05543	0,04318	6,6/
- полиамидное	57	2,6	$\frac{0,486 \cdot 10^{-7}}{0,9 \cdot 10^{-3}}$	0,044	0,033	0,04073	31,73	7,9/
								3,8/
								7,4
<i>Креповое переплетение</i>								
- вискозное	60	10,4	$\frac{0,195 \cdot 10^{-7}}{1,78 \cdot 10^{-3}}$	0,097	0,072	0,09357	0,07787	3,5/
- полиамидное	57	2,8	$\frac{0,567 \cdot 10^{-7}}{0,96 \cdot 10^{-3}}$	0,090	0,074	0,08619	0,06714	8,1/
								4,2/
								9,2

Сравнение расчетных и экспериментальных значений высоты капиллярного подъема связующего подтверждает возможность использования полученных комплексных математических моделей (3.51) – (3.54) для анализа процесса самопроизвольной пропитки тканых полотен простых переплетений с достаточной для технологических расчетов точностью.

3.3.1.3. Анализ полноты пропитки тканых полотен стирол-акрилатной водной дисперсией

В отличие от скорости полнота пропитки характеризуется относительным содержанием дисперсной фазы полимерного связующего, а не дисперсионной среды в волокнистом материале. С технологической точки зрения наиболее важным показателем эффективной пропитки текстильного материала дисперсиями полимерного связующего является полнота пропитки - количество сухого остатка пропитывающей дисперсии, отложившейся в материале после прохождения пропиточной ванны. Поэтому целью дальнейших исследований является определение зависимости относительного содержания полимерного связующего в тканом полотне от свойств полимерной композиции и текстильного материала.

Известно, что при условии заполнения всех пор тканого полотна полимерным связующим, масса связующего m_1 , поглощенная порами ткани на 1 м^2 равна:

$$m_1 = P_\omega \cdot \rho \cdot b, \quad (3.55)$$

где P_ω – относительная объемная пористость тканого полотна;

b – толщина тканого полотна, м.

Толщина тканого полотна, м:

$$b = h_n + \eta_{ов}, \quad (3.56)$$

где $\eta_{ов}$ – коэффициент смятия нитей основы для сечения эллипс по вертикальной оси;

h_n – высота волны изгиба нитей основы, м.

Если часть объема пор не будет заполнена связующим - поры с заземленным воздухом, то масса связующего:

$$m_1 = k_0 \cdot P_\omega \cdot \rho \cdot b; \quad (3.57)$$

Коэффициент пропитывания определяется:

$$k_0 = \frac{\omega}{P_R}. \quad (3.58)$$

где ω – массовая доля полимерного связующего после пропитки, %;

Массовая доля полимерного связующего в порах материала после его пропитки, %:

$$\omega = \frac{P_2 - P_1}{V_{om} \cdot \rho} \cdot 100, \quad (3.59)$$

где P_2 – масса образца тканого полотна после пропитки, кг;

P_1 – масса сухого образца тканого полотна, кг;

V_{om} – объем образца тканого полотна, м^3 .

Общая пористость материала, %:

$$P_R = \frac{V_p}{V_{om}} \cdot 100, \quad (3.60)$$

где V_p – объем пор, м^3 :

$$V_p = V_{om} - \frac{P_1}{\gamma}. \quad (3.61)$$

В свою очередь относительная объемная пористость тканого полотна может быть выражена уравнением:

$$P_\omega = \frac{\gamma \cdot b - m_o}{\gamma \cdot b}, \quad (3.62)$$

где m_o – масса 1 м^2 тканого полотна, кг;

Подставляя значение P_ω в уравнение (3.57), получим выражение для m_1 , кг:

$$m_1 = \frac{k_0 \cdot \rho \cdot (\gamma \cdot b - m_o)}{\gamma}. \quad (3.63)$$

При выходе тканого полотна из пропиточной ванны вследствие смачивания на обеих поверхностях будут образовываться тонкие слои полимерного связующего с толщинами h_1 .

Из уравнения, связывающего динамическую вязкость полимерного связующего η со скоростью движения тканого полотна V при выходе из пропиточной ванны, получим h_1 , м:

$$h_1 = \sqrt{\frac{V \cdot \eta}{\rho \cdot g}}. \quad (3.64)$$

Тогда количество связующего, наносимое на 1 м^2 тканого полотна m_2 , кг:

$$m_2 = 2 \cdot h_1 \cdot \rho, \quad (3.65)$$

Или с учетом уравнения (3.64) с некоторым округлением количество связующего, кг:

$$m_2 = 0,64 \cdot \sqrt{\rho \cdot \eta \cdot V}. \quad (3.66)$$

Тогда содержание адсорбированной дисперсии полимерного связующего в объеме тканого полотна, % [2-А, 15-А]:

$$N_{adc} = \frac{c \cdot [k_0 \cdot \rho \cdot (\gamma \cdot b - m_0) + 640 \cdot \gamma \sqrt{\rho \cdot \eta \cdot V}]}{c \cdot [k_0 \cdot \rho \cdot (\gamma \cdot b - m_0) + 640 \cdot \gamma \sqrt{\rho \cdot \eta \cdot V}] + \gamma \cdot m_0} \cdot 100, \quad (3.67)$$

где c – концентрация полимерного связующего, г/л;

k_0 – коэффициент пропитывания;

ρ – плотность полимерной композиции, кг/м³;

γ – плотность волокна, кг/м³;

b – толщина тканого полотна, м;

m_0 – масса 1 м^2 тканого полотна, кг;

V – скорость движения тканого полотна на поточной линии, м/с;

η – динамическая вязкость, Па·с.

Анализируя полученную формулу (3.67) можно сделать следующие выводы [66-А, 68-А, 100-А]:

- с увеличением плотности пропитывающего полимерного связующего увеличивается относительное содержание дисперсной фазы в пропитанном тканом полотне, приближаясь постепенно к постоянной величине (так как с увеличением плотности вязкость раствора увеличивается быстрее);
- с увеличением плотности волокон относительное количество дисперсной фазы в пропитанном тканом полотне незначительно уменьшается, так же как и с увеличением толщины ткани.

Полученные расчетные и экспериментальные данные представлены в таблице 3.11. Установлено, что отклонение теоретических значений от экспериментальных составляет 1,58 %, что подтверждает возможность

использования математической модели (3.67) для определения содержания адсорбированной дисперсии в объеме тканого полотна при формировании комбинированных каркасных текстильных материалов способом пропитки.

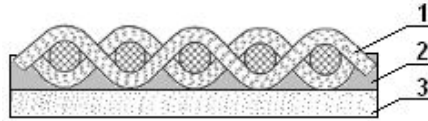
Таблица 3.11 – Расчетные и экспериментальные данные [2-А, 15-А]

Показатель	Обозначение	Расчетные значения		Экспериментальные значения	
		c = 100 г/л	c = 500 г/л	c = 100 г/л	c = 500 г/л
Масса образца, кг	P_1	–		0,0049	
Масса образца после пропитки, кг	P_2	–		0,0055	0,0060
Плотность волокна, г/см ³	γ	1,5		–	
Длина образца, м	l	0,1		–	
Ширина образца, м	e	0,1		–	
Толщина образца, м	b	0,0012		–	
Объем образца, м ³	V_{om}	12,0 10 ⁻⁶		–	
Объем пор, м ³	V_p	8,8 10 ⁻⁶		–	
Общая пористость материала, %.	P_R	73,3		–	
Массовая доля полимерного связующего после пропитывания, %	ω	5,0	9,2	–	
Коэффициент пропитывания	k_0	0,1	0,1	–	
Относительная объемная пористость	P_ω	0,7		–	
Масса связующего, поглощенная порами тканого полотна на 1 м ² , кг	$m_{св}$	0,1	0,1	–	
Толщина слоя, м	h_1	0,0002900	0,0000957	–	
Количество связующего, наносимое на 1 м ² тканого полотна, кг	m_2	0,608	0,201	–	
Процентное содержание адсорбированной дисперсии, %	N_{adc}	4,23	14,50	4,30	14,60

3.3.2. Исследование процесса пропитки под действием внешнего давления при формировании слоистых текстильных материалов клеевым способом

Формирование слоистых материалов клеевым способом происходит в результате соединения текстильного материала (волокно, нити, пряжа, ткань) с

нетканым полотном (бумага, флизелин) под давлением прижимных валов (рисунок 3.20). Важнейшим физико-химическим явлением, сопровождающим процесс, является адгезия, а показателем, характеризующим качество готового слоистого материала – прочность адгезионного соединения.



1 – тканое полотно; 2 – полимерное связующее; 3 – полотно основы (нетканый материал)

Рисунок 3.15 – Комбинированный слоистый текстильный материал

Структура и состав текстильного материала неоднородны, начиная от волокна и заканчивая тканью. В частности, пряжа и нити, используемые при формировании тканого полотна могут иметь смешанный состав – натуральные и химические волокна, которые по-разному взаимодействуют с полимерным связующим; либо в тканом полотне нити основы и утка разной природы. Кроме того, на текстильные материалы в процессе их получения наносятся различные текстильно-вспомогательные вещества – замасливатели, красители, аппреты и другие, что блокирует активные центры волокообразующих полимеров. Полимерные связующие, используемые для формирования слоистых текстильных материалов (поливиниловый спирт, поливинилацетатная дисперсия, акриловые дисперсии) не отличаются высокой адгезионной активностью. Все вышеуказанное позволяет пренебречь химической составляющей при образовании адгезионного соединения.

Профессором В.Е. Кузьмичевым предложен механизм склеивания текстильных материалов в основу которого положена механическая теория адгезии и в качестве основной адгезионной характеристики текстильных материалов взята ворсистость [10]. Механическая адгезия определяется когезионной прочностью полимерного связующего и текстильного материала в зоне контакта и зависит от структуры поверхностного слоя текстильного материала и глубины проникновения полимерного связующего. Когезионная прочность полимерного связующего, при прочих равных условиях, – функция степени его отверждения.

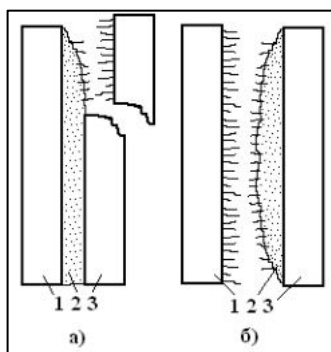
Для адгезионных соединений слоистых текстильных материалов выделены следующие типы разрушений [10, 162]:

- когезионный (разрушение по массе полимерного связующего);
- адгезионный (отделение полимерного связующего от тканого полотна);
- смешанный.

С целью выяснения характера разрушения адгезионного соединения слоистых текстильных материалов декоративно-отделочного назначения

проведены исследования прочности склеивания тканого полотна разреженной структуры из льняной пряжи линейной плотности 317 текс с материалом основы - бумажным полотном (100 г/м^2). Прочность адгезионного соединения при раздирании определялась по ГОСТ 17317 – 88.

Результаты исследований доказывают, что происходит разрушение бумажного полотна (рисунок 3.16 а) и разрыв волокон, внедренных в структуру связующего 2 (рисунок 3.16 б).



*а – с разрушением бумажного полотна; б – с разрывом волокон тканого полотна
1 – полотно ткани; 2 – полимерное связующее; 3 – бумажное полотно*

Рисунок 3.16 – Разрушение адгезионного соединения слоистых текстильных материалов при испытании на расслаивание

Как видно (рисунок 3.17), разрушение адгезионного соединения происходит в из-за разрыва волокон, даже при малых усилиях при раздирании 1,8–2,0 Н/см приходится 75–80% разрушений. Таким образом, прочность адгезионного соединения слоистых текстильных материалов определяется прочностью волокон тканого полотна.

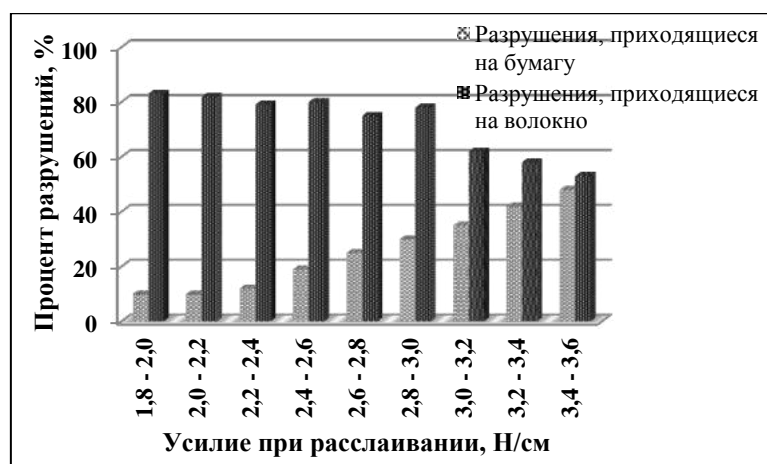


Рисунок 3.17 – Определение процента разрушений, приходящихся на бумажное полотно и волокна тканого полотна

Известная формула профессора В.Е. Кузьмичева для расчета теоретической прочности адгезионного соединения швейных материалов термоклеевого способа с точечным нанесением твердых частиц полимера [10] не учитывает особенностей формирования адгезионного соединения слоистых материалов с использованием растворов полимерного связующего. Раствор полимерного связующего растекаясь образует сплошную пленку на поверхности полотна основы в которую погружается тканое полотно.

Поэтому поставлена задача разработать математическую модель и методику прогнозирования прочности адгезионного соединения слоистых текстильных материалов клеевого способа соединения со сплошным нанесением пленки полимерного связующего.

3.3.2.1. Прогнозирование прочности адгезионного взаимодействия «текстильный материал - полимерное связующее» при формировании слоистых текстильных материалов

Рассмотрим разрез слоистых текстильных материалов вдоль нитей утка тканого полотна (рисунок 3.18). На нетканый материал 1 наносится полимерное связующее, образующее сплошную пленку по ширине полотна. Разреженное тканое полотно, состоящее из нитей основы 2 и нитей утка 3, проходя через секцию прижимных валиков, погружается в полимерную пленку на глубину h .

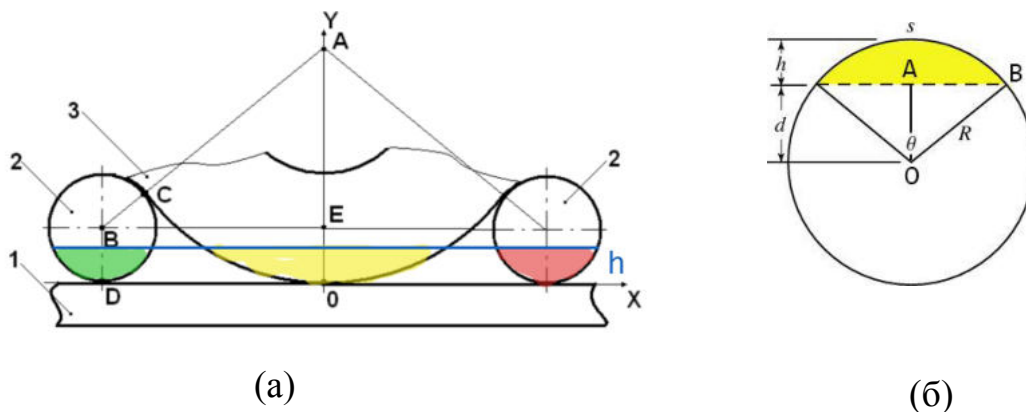


Рисунок 3.18 – Схема разреза слоистых текстильных материалов вдоль нитей утка тканого полотна

Прочность адгезионного соединения (P , Н/см) равна:

$$P_c = \frac{F_0}{L}, \quad (3.68)$$

где F_0 – сила отрыва тканого полотна от полимерного связующего, Н;

L – ширина отрыва, см.

Сила отрыва тканого полотна от полимерного связующего F_0 (Н):

$$F_0 = B \cdot R_g \cdot S_k, \quad (3.69)$$

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

R_g – разрывная нагрузка волокна, Н;

S_k – площадь контакта ткани с полимерным связующим, см^2 .

Тогда прочность адгезионного соединения разреженных тканых полотен с нетканой основой:

$$P_c = \frac{B \cdot R_g \cdot S_k}{L}. \quad (3.70)$$

Рассмотрим круговой сегмент, образованный нитями утка, погруженными в полимерное связующее (рисунок 3.18 б). Его площадь равна:

$$S_{\text{segm}} = S_{\text{sect}} - S_{\Delta}, \quad (3.71)$$

где S_{sect} – площадь кругового сектора (ограниченного углом θ);

S_{Δ} – площадь треугольника $2OAB$.

Площадь кругового сегмента пропорциональна площади круга с коэффициентом пропорциональности $\theta/2\pi$ и равна:

$$\pi R^2 \frac{\theta}{2\pi} = \frac{R^2 \theta}{2}; \quad (3.72)$$

Из прямоугольного треугольника OAB находим угол $\theta/2$:

$$\frac{\theta}{2} = \arccos \frac{OA}{OB} = \arccos \left(\frac{R-h}{R} \right); \quad (3.73)$$

Площадь треугольника S_{Δ} :

$$S_{\Delta} = 2S_{OAB} = OA \cdot AB = (R-h) \cdot \frac{R \sin \theta}{2}; \quad (3.74)$$

Если учесть, что

$$\sin(\theta/2) = \sqrt{1 - \cos^2(\theta/2)} = \sqrt{1 - \left(\frac{R-h}{R}\right)^2} = \sqrt{2Rh - h^2}; \quad (3.75)$$

получим формулу для расчета площади сегмента:

$$S_{\text{segm}} = R^2 \arccos\left(\frac{R-h}{R}\right) - (R-h)\sqrt{2Rh - h^2}. \quad (3.76)$$

Определим суммарную площадь контакта разреженного тканого полотна с полимерным связующим S_k (рисунок 3.18 а).

Известно расстояние между нитями основы l (2), диаметры нитей $d/2 = r$ и глубина проникновения полимерного связующего h . Обозначим через R радиус АС. Рассмотрим прямоугольный треугольник АЕВ. Для него $AE=R-r$; $AB=R+r$; $BE=l/2$. Согласно теореме Пифагора

$$(R+r)^2 = (R-r)^2 + (l/2)^2, \quad (3.77)$$

получим

$$R = \frac{l^2}{16r}. \quad (3.78)$$

Тогда искомая площадь контакта разреженного тканого полотна с полимерным связующим S_k :

$$S_k = 2r^2 \arccos\left(\frac{r-h}{r}\right) - 2(r-h)\sqrt{2rh - h^2} + R^2 \arccos\left(\frac{R-h}{R}\right) - (R-h)\sqrt{2Rh - h^2}, \text{ где } R = \frac{l^2}{16r}. \quad (3.79)$$

Подставляя (3.79) в (3.70) получим формулу для прогнозирования прочности адгезионного соединения слоистых текстильных материалов [24-А, 40-А]:

$$P_c = \frac{B \cdot R_g}{L} \cdot \left[2r^2 \arccos\left(\frac{r-h}{r}\right) - 2(r-h)\sqrt{2rh - h^2} + R^2 \arccos\left(\frac{R-h}{R}\right) - (R-h)\sqrt{2Rh - h^2} \right], \text{ где } R = \frac{l^2}{16r}, \quad (3.80)$$

где B – количество выступающих волокон, $1/\text{см}^2$;

R_g – разрывная нагрузка волокна, Н;

L – ширина слоистого текстильного материала, см;

r – радиус текстильной нити, см;

h – глубина проникновения полимерного связующего, см;

l – расстояние между нитями основы, см.

Таким образом, определяющими факторами при формировании слоистых материалов с использованием тканых полотен, являются глубина проникновения полимерного связующего и свойства пряжи, такие как диаметр и разрывная нагрузка волокон.

Зависимость прочности адгезионного соединения от ворсистости тканого полотна, при прочих одинаковых характеристиках, подтверждается теоретическими расчетами, а также экспериментальными исследованиями (рисунок 3.19).

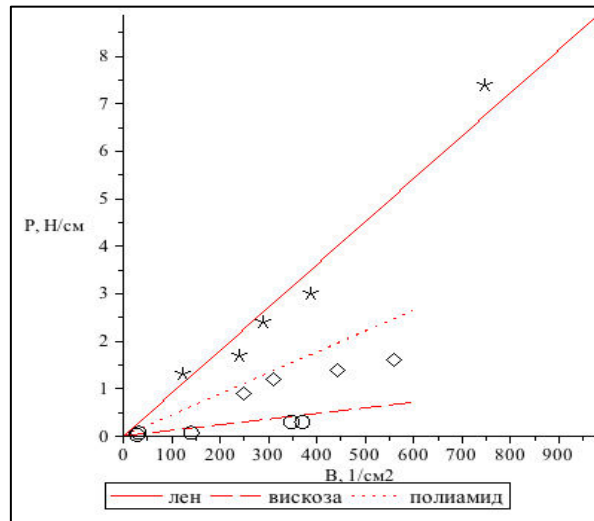


Рисунок 3.19 – Зависимость прочности адгезионного соединения от ворсистости тканого полотна

Исследованы образцы льняных, вискозных и полиамидных тканей, которые имеют следующие характеристики:

- ворсистость $B = 0 \div 1900$ ворсинок на см²;
- диаметр пряжи (нити) $d_p = (2 \div 15) 10^{-2}$ см;
- разрывная нагрузка волокон $R_g = 4,8 \div 25,6$ сН;
- расстояние между нитями основы $l = 0,05 \div 0,5$ см.

Определение ворсистости проводилось оптическим (проекционным) методом, заключающимся в проекции тканого полотна посредством оптической системы на монитор компьютера и подсчете числа ворсинок на отрезке изображения, соответствующем 1 см² ткани. Расчет прочности адгезионного соединения для разных значений показателя ворсистости произведен по формуле (3.80) с использованием системы компьютерной алгебры Maple (Приложение Д).

Сопоставляя теоретические и экспериментальные зависимости прочности адгезионного соединения от ворсистости, видно, что относительная ошибка составляет не более 10%. Ошибка обусловлена тем, что при прогнозировании не учитывалось влияние содержания красителей и аппретирующих веществ на тканом полотне.

Как видно из формулы (3.80), с увеличением глубины проникновения полимерного связующего в тканое полотно прочность адгезионного соединения возрастает. Однако, возрастание этого параметра ограничено следующими факторами:

- для исключения возможности проникновения полимерного связующего на лицевую сторону декоративного тканого полотна глубина должна быть меньше толщины тканого полотна ($h < \delta$);
- для достижения максимального значения адгезионной прочности необходимо обеспечить проникновение полимерного связующего на глубину не более $2/3$ от толщины наносимой пленки h_0 , остаточная толщина на поверхности материала должна составлять $1/3 h_0$ [10, 162 172].

Поэтому необходимо провести исследование кинетики пропитки текстильного материала под действием внешнего давления с целью получения математической зависимости глубины проникновения полимерного связующего от технологических параметров формирования (давление прижимных валов, продолжительность воздействия), а также структуры и свойств текстильного материала и полимерного связующего.

3.3.2.2. Исследование кинетики пропитки текстильного материала под действием внешнего давления

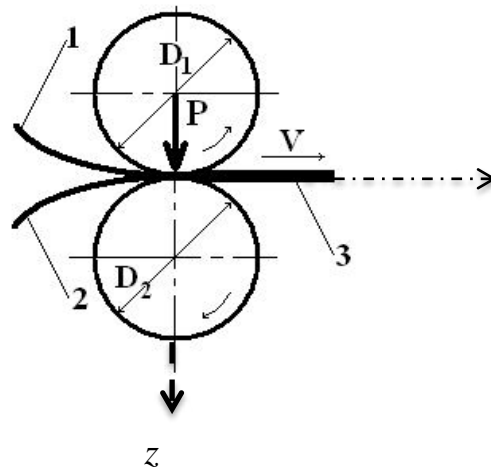
После равномерного нанесения полимерного связующего на нетканый материал происходит его соединение с тканым полотном под давлением прижимных валов. Так, как полимерное связующее (водный раствор или дисперсия) практически несжимаемо, поэтому проникает в пористую структуру соединяемых слоев. Поскольку пористость нетканого материала значительно меньше пористости тканого полотна и скорость проникновения в тканое полотно выше, то глубина проникновения полимерного связующего h в тканое полотно много больше глубины проникновения в нетканый материал [69-А].

Для прогнозирования прочности образующегося адгезионного соединения и возможности регулирования глубины проникновения полимерного связующего в текстильный материал необходимо проанализировать кинетику пропитки тканого полотна под действием внешнего давления.

При пропитке текстильного материала под действием внешнего давления капиллярный эффект не оказывает существенного влияния на процесс и пропитка

происходит по другим законам. Движения полимерного связующего в капиллярно-пористом материале с учетом действия внешнего давления возможно исследовать с использованием классической теории фильтрации [160]. Несмотря на то, что закон Дарси был открыт для случайных малосжимающих пористых сред, многочисленными экспериментами подтверждена его применимость для волокнисто-пористых структур, к которым относятся тканые полотна из натуральных и химических волокон.

Тканое полотно, при соединении с нетканой основой деформируется под действием усилия прижимных валов (рисунок 3.20).



*1 – текстильное полотно; 2 – нетканый материал с полимерным связующим;
3 – слоистый текстильный материал*

Рисунок 3.20 – Схема соединения слоев

При деформации изменяется его пористость. Полимерное связующее проникает в структуру восходящим потоком. Поэтому, в случае совместного действия на тканое полотно деформационных и фильтрационных нагрузок воспользуемся теорией фильтрационной консолидации (уплотнения), изложенной в работах В.А. Флорина [173, 174]. Сущность теории консолидации применительно к двухфазной системе текстильный материал – полимерное связующее заключается в распределении действующей на текстильный материал нагрузки, создаваемой прижимными валами между твердой и жидкой фазами.

В процессе уплотнения текстильного материала под действием внешней нагрузки в порах с полимерным связующим возникает поровое давление. Поровое давление получается наибольшим в случае полного насыщения пор связующим, при наличии в порах защемленного воздуха поровое давление оказывается ослабленным.

Согласно теории фильтрационной консолидации запишем следующие основные соотношения:

- уравнение равновесия

$$\frac{\partial}{\partial z} (\sigma - P_R \cdot P_{св}) = 0; \quad (3.81)$$

- уравнение неразрывности

$$\frac{\partial}{\partial z} \left\{ P_R V_p + (1 - P_R) \frac{\partial u}{\partial \tau} \right\} = 0; \quad (3.82)$$

- закон Гука - Био

$$\sigma = f \frac{\partial u}{\partial \tau} - (1 - P_R) \cdot P_{св}; \quad (3.83)$$

- закон Дарси - Герсеванова

$$V_p - \frac{\partial u}{\partial \tau} = - \frac{k_f}{P_R} \frac{\partial P_{св}}{\partial z}, \quad (3.84)$$

где z – пространственная координата, перпендикулярная соединяемым слоям (текстильный материал – нетканое полотно);

$P_{св}$ – поровое давление в полимерном связующем;

P_R – пористость текстильного материала;

V_p – средняя скорость связующего в порах в направлении z ;

$P_R V_p$ – скорость фильтрации (расход полимерного связующего через единицу площади в единицу времени);

u – перемещение текстильного материала в направлении сжатия z ;

σ – нормальные напряжения в текстильном материале;

k_f – коэффициент фильтрации полимерного связующего в текстильном материале, определяемый по формуле (3.43).

Преобразуя уравнения (3.81) – (3.84) в соответствии с [174], получим нелинейное уравнение пропитки текстильного материала с учетом внешнего давления прижимных валов:

$$\frac{\partial P_{св}}{\partial \tau} = \frac{1}{h[P_{св} - P(\tau)]} \frac{\partial}{\partial z} k_f \frac{\partial P_{св}}{\partial z} + P(\tau), \quad (3.85)$$

где $P(\tau) = P_{св}(0, \tau)$ – давление прижимных валов в момент времени τ ;

$h(P_{св})$ – функция, обратная $\sigma(\tau)$.

Пространственная координата пропитки z принимает значения от 0 до δ (толщина пропитанного текстильного материала). Толщина пропитанного

текстильного материала является функцией продолжительности процесса пропитки $\delta = \delta(\tau)$ и по мере проникновения полимерного связующего в материал увеличивается во времени. Определим скорость изменения границы пропитки, изменяющейся во времени – краевая задача Стефана [175]. Решение задачи состоит в вычислении концентрационного профиля и определении положения межфазных границ в различные моменты времени.

- при $z = 0$ поровое давление в полимерном связующем равно давлению прижимных валов:

$$P_{cв}(0, \tau) = P(\tau) \quad (3.86)$$

- при $z = \delta$ движение границы можно описать следующими равенствами:

$$V(\delta, \tau) = k \frac{\partial \delta}{\partial \tau};$$

$$P_{cв}(\delta, \tau) = \sigma_{cв}(\delta), \quad (3.87)$$

где k – коэффициент поглощения полимерного связующего текстильным материалом;

$\sigma_{cв}(\delta)$ – функция, учитывающая смачивающую способность связующего.

Считается, что поровое давление на минимальном участке длины распределено по линейному закону [174, 176]:

$$P_{cв}(z, 0) = P(0) - \frac{z}{\delta} [P_{cв}(0) + \sigma_{cв}(\delta)], \quad z = 0, \delta(0). \quad (3.88)$$

При соединении нетканого полотна с текстильным материалом происходит диффузия полимерного связующего в текстильный материал, возникает градиент концентрации. В случае водных дисперсий и растворов полимеров вода проникает в текстильный материал с большей скоростью, чем вещество связующего. Т.е. наблюдается диффузия молекул воды через вещество полимерного связующего. Согласно закону Фика, скорость диффузии v_d пропорциональна количеству вещества (градиенту концентраций), диффундирующего через сечение перпендикулярное потоку диффузии за единицу времени:

$$v_d = -D \frac{\partial c}{\partial z}, \quad (3.89)$$

где D – коэффициент диффузии, $\text{м}^2 \text{с}^{-1}$.

Дифференцируя (3.89) по z , получим:

$$\frac{\partial v_d}{\partial z} = -\frac{\partial}{\partial z} D \frac{\partial c}{\partial z} \quad (3.90)$$

Из уравнения неразрывности полимерного связующего с учетом (3.90):

$$\frac{\partial c}{\partial \tau} + \frac{\partial v_d}{\partial z} = 0$$

Получим

$$\frac{\partial c}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial z} D \frac{\partial c}{\partial z}. \quad (3.91)$$

При движении связующего в капиллярах и порах текстильного материала со средней скоростью \vec{v} , вместо частной производной $\frac{\partial c}{\partial \tau}$ используем субстанциональную производную, которая определяется соотношением:

$$\frac{D(c)}{D(\tau)} = \frac{\partial c}{\partial \tau} + \vec{v} \frac{\partial c}{\partial z}, \quad (3.92)$$

Тогда, подставляя (3.92) в уравнение (3.91) получим:

$$\frac{\partial c}{\partial \tau} + \vec{v} \frac{\partial c}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z} D \frac{\partial c}{\partial z}. \quad (3.93)$$

Для решения дифференциального уравнения (3.93) краевые условия запишутся:

- начальное условие

$$c(z, 0) = c_0 - \frac{c_0 z}{\delta}, \quad (3.94)$$

где c_0 – концентрация полимерного связующего в начальный момент времени, равная его расходу.

- на границе, разделяющей пропитанный связующим и сухой текстильный материал $z = \delta(\tau)$

$$c[\delta(\tau), \tau] = 0. \quad (3.95)$$

- учитывая баланс расходов вещества полимерного связующего и воды в текстильном материале за время τ при условии, что концентрация воды ($c(0, \tau)$) в слое связующего толщиной $h(\tau)$ на поверхности текстильного материала распределена равномерно, уравнение, связывающее толщину связующего, зависящую от расхода $h_0=h(0)$, и концентрацию на поверхности текстильного материала $c_0=c(0,0)$ с градиентом концентрации и давления:

$$\begin{aligned} & \left[h_0 + \int_0^\tau \frac{k}{\eta} \frac{\partial}{\partial z} P(0, \tau) d\tau \right] \cdot c(0, \tau) = \\ & = h_0 c_0 + \int_0^\tau \left[\frac{k}{\eta} \frac{\partial}{\partial z} P(0, \tau) + P_{св} \frac{\partial}{\partial z} c(0, \tau) \right] d\tau . \end{aligned} \quad (3.96)$$

Толщина слоя полимерного связующего на поверхности текстильного материала в момент времени τ :

$$h(\tau) = h_0 + \int_0^\tau \frac{k}{\eta} \frac{\partial}{\partial z} P(0, \tau) d\tau , \quad (3.97)$$

где h_0 – толщина наносимого полимерного связующего, м;
 k – коэффициент проницаемости, м²;

$$k = P_R \cdot d^2 . \quad (3.98)$$

Коэффициент проницаемости характеризует суммарную площадь сечения пор и капилляров, по которым идет процесс пропитки под действием внешнего давления, на единичной площади пропитки и зависит от пористости текстильного материала и диаметра пор. Зависимость коэффициента проницаемости от пористости, полученная для тканых полотен, используемых при формировании слоистых текстильных материалов при постоянном значении плотности полимерного связующего представлена на рисунке 3.21.

Для определения распределение порового давления по толщине текстильного материала при неустановившемся движении полимерного связующего $\frac{\partial}{\partial z} P(0, \tau)$ используем решение классической задачи движения несжимаемой жидкости в упруго-деформируемом материале [167, 177]:

$$P(z, \tau) = P(0) \cdot \operatorname{erfc} \left[\frac{z}{2\sqrt{\chi \cdot \tau}} \right] , \quad (3.99)$$

где χ – коэффициент пьезопроводности, характеризующий скорость перераспределения давления по толщине текстильного материала, $\text{м}^2/\text{с}$.

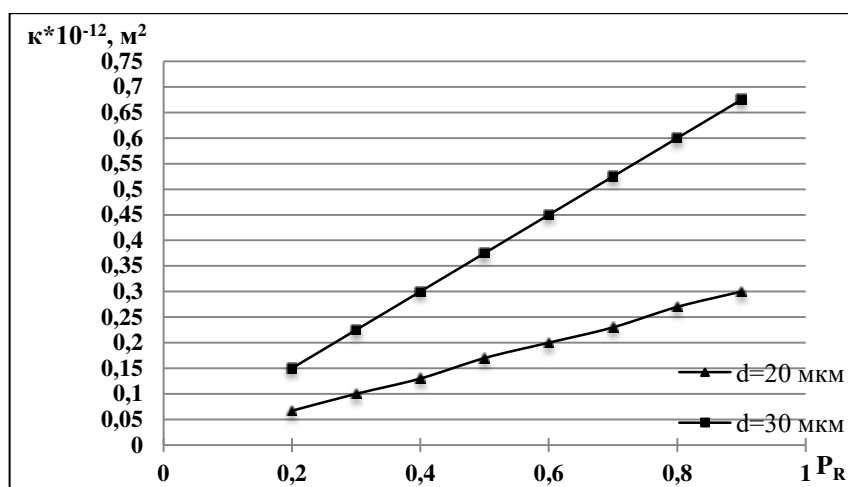


Рисунок 3.21 – Зависимость коэффициента проницаемости от пористости тканого полотна

Коэффициент пьезопроводности определяется по формуле, предложенной В.Н. Щелкачевым:

$$\chi = \frac{k}{\eta(P_R \cdot \beta_{св} + \beta_с)} , \quad (3.100)$$

где $\beta_{св}$, $\beta_с$ – соответственно, коэффициенты объемного сжатия полимерного связующего и волокнистого материала. $\beta_{св} = 35,8 \div 49,51 \cdot 10^{-11} \text{ 1/Па}$, $\beta_с = 0,6 \div 1,7 \cdot 10^{-6} \text{ 1/Па}$.

Численное решение уравнения 3.99 с использованием системы компьютерной алгебры Maple позволяет установить распределение порового давления полимерного связующего по толщине текстильного материала, а также изменение его толщины на поверхности текстильного полотна за время τ [40-А].

Результаты теоретических исследований кинетики пропитки под действием внешнего давления позволяют предложить алгоритм расчета прочности адгезионного соединения при формировании слоистого текстильного материала [101-А].

3.3.2.3. Алгоритм прогнозирования прочности адгезионного соединения при формировании слоистого текстильного материала под действием внешнего давления

1. Задаются свойства исходных материалов:

ворсистость B , $1/\text{см}^2$;

диаметр пряжи (нити) d_p , см;

разрывная нагрузка волокон R_b , сН;

расстояние между нитями основы l , см;

общая пористость тканого полотна P_R , %;

диаметр пор d , м;

ширина слоистого текстильного материала L , см;

толщина тканого полотна $\delta=z$, м;

вязкость полимерного связующего η , Па с;

плотность полимерного связующего ρ , $\text{кг}/\text{м}^3$;

толщина пленки полимерного связующего h_0 , м;

коэффициенты объемного сжатия полимерного связующего $\beta_{св}$ и волокнистого материала β_b , $1/\text{Па}$;

начальное давление склеивания $P(0)$, Па.

2. Расчет коэффициента проницаемости

$$k = P_R \cdot d^2.$$

3. Расчет коэффициента пьезопроводности

$$\chi = \frac{k}{\eta(P_R \cdot \beta_{св} + \beta_b)}.$$

4. Определение распределения порового давления по толщине текстильного материала при заданном внешнем давлении $P(0)$ (Па)

$$P(z, \tau) = P(0) \cdot \operatorname{erfc} \left[\frac{z}{2\sqrt{\chi \cdot \tau}} \right].$$

5. Расчет толщины пленки полимерного связующего на поверхности текстильного материала в момент времени τ при условии $h(\tau) = h_0/3$

$$h(\tau) = h_0 + \int_0^\tau \frac{k}{\eta} \frac{\partial}{\partial z} P(0, \tau) d\tau.$$

6. Расчет прочности адгезионного соединения

$$P_c = \frac{B \cdot R_b}{L} \cdot 2r^2 \arccos \left(\frac{r-h}{r} \right) - 2(r-h)\sqrt{2rh-h^2} + R^2 \arccos \left(\frac{R-h}{R} \right) - (R-h)\sqrt{2Rh-h^2}, \quad \text{где } R = \frac{l^2}{16r}.$$

Пример расчета прочности адгезионного соединения [24-А, 40-А]

Исходные данные

- начальное давление склеивания 20 кПа;
- материал основы: бумажное полотно поверхностной плотности 110 г/м²;
- декоративное полотно: ткань полотняного переплетения поверхностной плотности 270 г/м² из льняной пряжи 317 текс (таблица 3.12);
- полимерное связующее: раствор поливинилового спирта (6%- ный): вязкость $\eta=2,2 \cdot 10^{-3}$ Па с; плотность – 1200 кг/м³; толщина пленки $h_0 = 0,5 \cdot 10^{-3}$ м.

Таблица 3.12 – Характеристики ткани

Показатель	Ткань из льняной пряжи 317 текс
Ворсистость, 1/см ²	560
Диаметр пряжи (нити), см	0,12
Разрывная нагрузка волокон, сН	21,6
Расстояние между нитями, см	
основы	0,05
утка	0,05
Общая пористость тканого полотна	0,83
Толщина тканого полотна, м	0,002

Расчет коэффициента проницаемости

Определяется по номограмме (рисунок 3.21). Для тканого полотна из льняной пряжи $R_R=0,78$, тогда $k=0,25 \cdot 10^{-12}$ м².

Расчет коэффициента пьезопроводности $\chi = 0,676 \cdot 10^{-4}$ м²/с

Определение распределения порового давления по толщине текстильного материала при заданном внешнем давлении $P(0)$ (Па)

Численное решение уравнения (3.99) с использованием системы компьютерной алгебры Maple представлено на рисунке 3.22.

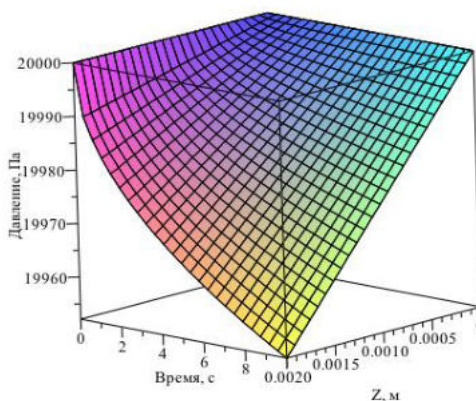


Рисунок 3.22 – Распределение порового давления полимерного связующего по толщине текстильного материала

Расчет толщины пленки полимерного связующего на поверхности текстильного материала в момент времени τ (рисунок 3.23).

При расчете оптимальной продолжительности пропитки тканого полотна полимерным связующим под действием внешнего давления должно соблюдаться условие $h(\tau) = h_0 / 3$ [10, 162 172].

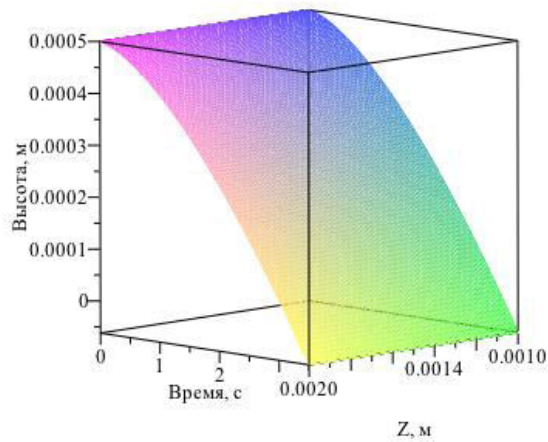


Рисунок 3.23 – Зависимость толщины полимерного связующего на поверхности текстильного полотна от продолжительности склеивания

Как видно, толщина полимерной пленки на поверхности тканого полотна достигает значения равного $h_0/3$ за 2 с при установленном давлении прижимных валов 20 кПа.

Расчет прочности адгезионного соединения

На рисунке 3.24 представлена зависимость прочности адгезионного соединения от глубины проникновения полимерного связующего в тканое полотно. При глубине пропитки равной $2h_0/3 = 0,033$ см прочность адгезионного соединения составляет 4,1 Н/см (рисунок 3.24).

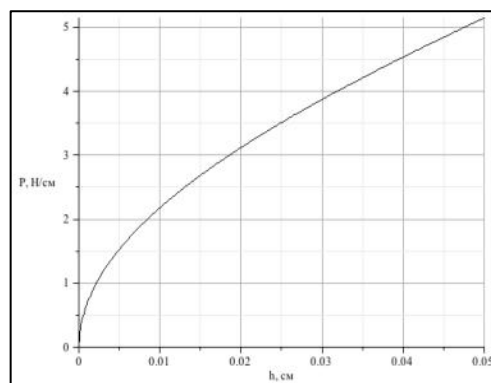


Рисунок 3.24 – Зависимость прочности адгезионного соединения от глубины проникновения полимерного связующего

Для подтверждения возможности использования математической модели (3.97) для расчета толщины полимерного связующего на поверхности тканого полотна и, соответственно, глубины проникновения полимерного связующего при воздействии внешнего давления проведены экспериментальные исследования прочности адгезионного соединения для слоистых текстильных материалов из льняных тканей с различной пористостью.

Испытаниям подвергались четыре образца, из каждого были подготовлены три пробы. Прочность связи между слоями определялась в соответствии с ГОСТ 17317 – 88. Экспериментальное значение прочности адгезионного соединения использованы для расчета толщины полимерной пленки $h_{эксн}(\tau)$ по формуле (3.80). Сопоставление экспериментального значения прочности адгезионного соединения $P_{эксн}$, с расчетным $P_{расч}$, полученным при подстановке $h_{эксн}(\tau)$ (таблица 3.12), доказывает правомерность применения теории консолидации применительно к системе текстильный материал – полимерное связующее для исследования кинетики пропитки под действием внешнего давления.

Таким образом, в результате теоретических и экспериментальных исследований процесса пропитки текстильного материала под действием внешнего давления при склеивании получена математическая модель и алгоритм прогнозирования прочности адгезионного соединения.

Таблица 3.12 – Теоретическое и экспериментальное значение прочности адгезионного соединения

Пористость, P_R	Экспериментальное значение $P_{эксн}$, Н/см	Толщина полимерной пленки $h_{эксн}(\tau)$ при $\tau=2$ с, м	Расчетное значение $P_{расч}$, Н/см	Отн. 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

Полученная математическая модель позволит регулировать технологические параметры формирования клеевого соединения (давление прижимных валов, продолжительность воздействия) в зависимости от структуры и свойств текстильного материала и полимерного связующего.

ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 3

1. Разработана имитационная модель капиллярно-пористой структуры волокнистого материала (пряжи и 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. Создан алгоритм моделирования структуры пряжи и нити, который реализован в компьютерной программе, позволяющей исследовать влияние состава и свойств волокнистого материала на изменение его пористости.
2. На основе модели пряжи и нити разработана упрощенная имитационная модель тканого материала, реализованная в компьютерной программе, позволяющей исследовать изменение общей пористости текстильного материала в зависимости от вида, свойств и числа нитей основы и утка. Экспериментально доказана возможность использования упрощенной модели капиллярно-пористой структуры текстильного материала для прогнозирования пористости и в технологических расчетах параметров формирования комбинированных текстильных материалов.
3. Проведен теоретический анализ процесса самопроизвольной пропитки тканых полотен при формировании комбинированных каркасных текстильных материалов. Получены регрессионные модели зависимости физико-химических свойств полимерного связующего от концентрации и температуры пропиточной композиции, а также комплексные математические модели кинетики пропитки водными дисперсиями тканей различного состава, устанавливающие связь с их геометрическими и структурными характеристиками, а также свойствами полимерного связующего.
4. На основании теории движения жидкости в пористых средах разработана математическая модель кинетики пропитки текстильных материалов под действием внешнего давления, учитывающая структурные свойства текстильного материала и физические свойства полимерного связующего, позволяющая определять рациональные технологические режимы соединения слоев. Разработана математическая модель и алгоритм прогнозирования прочности адгезионного соединения при формировании слоистых текстильных материалов под воздействием внешнего давления. Результаты расчета по полученным моделям и разработанному алгоритму подтверждаются данными экспериментальных исследований.

ГЛАВА 4. РАЗРАБОТКА СПОСОБОВ ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ КОМБИНИРОВАННЫХ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

В результате анализа литературных источников установлено, что производство комбинированных текстильных материалов является дорогостоящим и трудоемким, требующим специального оборудования. Поэтому, задачей данного научного исследования являлась разработка новых технологических процессов, ориентированных на использование вторичного и низкосортного сырья, существующего на текстильных предприятиях оборудования, на сокращение энергоемкости производства, расширение ассортимента материалов с новыми свойствами, обеспечивающими многофункциональность их применения [42-А, 44-А, 49-А, 84-А, 86-А, 104-А, 105-А].

Независимо от способа формирования технологический процесс состоит из следующих этапов:

- подготовка исходных материалов: основы, полимерного связующего, текстильного материала;
- формирование структуры комбинированного материала (пропитка, склеивание);
- сушка и термообработка комбинированного материала, формирование монолитной структуры.

Из известных способов придания комбинированному текстильному материалу повышенной декоративности выбраны ворсовые покрытия и тканые полотна различных структур, рельефа, цвета.

Учитывая перспективное использование в качестве текстильных настенных покрытий, обивочных, облицовочных, обувных и галантерейных материалов, для формирования структуры выбраны два способа в зависимости от целевого назначения:

- простой и универсальный клеевой способ соединения разнородных компонентов, отличающихся по своим физико-химическим и физико-механическим свойствам, полимерным связующим;
- способ пропитки, позволяющий придавать специальные свойства и многофункциональность готовым материалам.

4.1. Разработка технологии и устройства для формирования слоистых материалов с ворсовым покрытием аэродинамическим способом

Известен и широко используется для формирования ворсового покрытия способ электрофлокирования. Санкт-Петербургскими учеными Бершевым Е.Н., Семеновым В.А., Козловой М.В., Ивановым О.М., Павловой Е.А. разработаны

теоретические основы процесса нанесения коротких волокон (флока) в электростатическом поле и практические рекомендации для производства как рулонных материалов, так и штучных изделий [103, 104]. Необходимо отметить, что недостатками технологии электрофлокирования являются: необходимость специальной подготовки ворса; нестабильность ворса (флока); применение специфического энергоемкого оборудования.

В качестве альтернативного способа формирования ворсового покрытия совместно с проф. Коганом А.Г., проф. Ольшанским В.И. и доцентом Чукасовой-Ильюшкиной Е.В. была разработана и запатентована [29-А, 45-А, 47-А, 102-А, 103-А] технология нанесения коротких волокон (коротковолокнистых отходов) на материал основы или штучные изделия потоком сжатого воздуха (аэродинамическое формирование). Независимо от вида материала, штучное изделие или рулонный материал, технология аэродинамического нанесения состоит из основных операций, представленных на рисунке 4.1.



Рисунок 4.1 – Технология формирования слоистых материалов с ворсовым покрытием

4.1.1. Разработка непрерывной технологии формирования рулонных слоистых материалов с ворсовым покрытием

Технологическая схема формирования слоистых ворсовых материалов аэродинамическим способом, представлена на рисунке 4.2. Линия состоит из узла нанесения полимерного связующего, аэродинамического устройства и сушильной камеры.

Полотно материала основы 1, сматывается с рулона 2 поступает в узел нанесения полимерного связующего 3, который состоит из ванны и двух валков. После нанесения осуществляется разравнивание полимерной пленки гибкой раклей 6. Далее полотно материала основы проходит через аэродинамическое устройство, которое состоит из дозирующего бункера 4, снабжённого шнеком, и аэродинамической форсунки 5, имеющей форму распыляющего диффузора. Подготовленный ворс из дозирующего бункера через пневмоинжекционный патрубков, силой сжатого воздуха, подаваемого через штуцер, попадает в аэродинамическую форсунку, образуя воздушно-волокнистый поток. Форсунка, имеющая сложную конфигурацию распыляющего диффузора, распределяет короткие волокна по всей ширине движущегося полотна основы, образуя ворсовое покрытие 6.

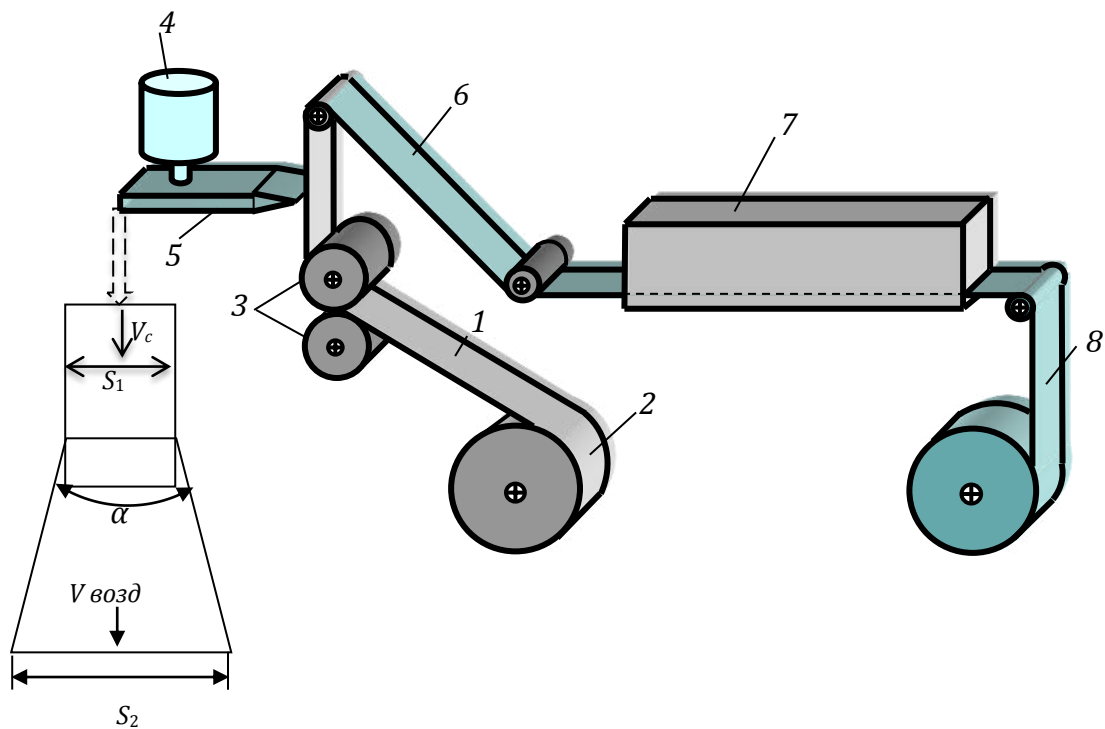


Рисунок 4.2 – Технологическая схема формирования рулонных слоистых ворсовых материалов с использованием аэродинамической форсунки

Процесс аэродинамического формирования волокнистого покрытия на непрерывно движущейся основе, характеризуются следующими параметрами [177]:

- Концентрация волокнистого потока в массе несущего газа [177, с. 205]:

$$C_g = \frac{Q_g}{Q_g + Q_{возд}}, \quad (4.1)$$

где Q_g – массовый расход волокнистых частиц, кг/с;
 $Q_{возд}$ – массовый расход воздуха, кг/с.

- Массовый расход воздуха $Q_{возд}$ определяется по формуле [178, с. 64]:

$$Q_{возд} = \rho_v V_{веп} S_{щ}, \quad (4.2)$$

где $S_{щ}$ – площадь щели диффузора, м;
 $V_{веп}$ – скорость воздушно-волокнистого потока, м/с;
 ρ_v – плотность воздуха, кг/м³.

- Массовый расход волокнистых частиц рассчитывается по формуле:

$$Q_g = M \Pi_{об}, \quad (4.3)$$

где M – массовый расход волокнистых частиц на 1 м², кг/м²;
 $\Pi_{об}$ – планируемая производительность оборудования, м²/с.

- Скорость транспортирования полотна основы

Зная требуемую плотность заполнения ворсом единицы площади можно определить скорость транспортирования полотна-основы, м/с:

$$V_{тр} = \frac{Q_g}{v_k \delta \rho_g} = \frac{M \Pi_{об}}{v_k \delta \rho_{гч}}, \quad (4.4)$$

где v_k – ширина полотна основы, м;
 δ – толщина волокнистого покрытия, м;
 $\rho_{гч}$ – плотность волокнистых частиц, кг/м³.

• *Скорость воздуха в камере смешения диффузора* определяется по формуле:

$$V_c = \frac{V_{ввн}}{\sqrt{\xi}}, \quad (4.5)$$

где ξ – коэффициент местного расширения сопротивления за счет расширения диффузора $\xi = K \left(\frac{S_2}{S_1} - 1 \right)^2$ [176, с. 77];

K – поправочный коэффициент [176, с. 78], зависящий от угла расширения диффузора α .

$$\alpha = \arccos \left[\frac{1}{2} \left(1 + \sqrt{1 - \frac{\lambda \cdot n + 1}{2n - 1}} \right) \right], \quad (4.6)$$

где n – отношение площадей сечений диффузора S_2 к S_1 ;

$\lambda = 0,06$ – гидравлический коэффициент [177, с.58].

• *Критическая скорость*, т.е. минимальная скорость, при которой не происходит оседание взвешенных в потоке воздуха волокнистых частиц, определяется по формуле [177, с.207]:

$$V_{кр} = 0,3 \sqrt{C_v \frac{\rho_{вч}}{\rho_p} g D_э}, \quad (4.7)$$

где ρ_p – плотность рабочего (сжатого) воздуха, кг/м³;

$D_э$ – эквивалентный диаметр поперечного сечения диффузора [177, с.68], м.

$$D_э = 4 \frac{a \cdot b}{2(a + b)}, \quad (4.8)$$

где a , b – ширина и длина щели диффузора соответственно, м.

• *Давление, необходимое для транспортирования волокнистых частиц в камере смешения:*

$$P_c = \frac{V_{ввн}^2 \rho_v}{2\xi}. \quad (4.9)$$

После аэродинамического формирования ворсового покрытия полотно подается в сушильную камеру 7, где происходит фиксация волокнистых частиц на основе. После выхода из сушильной камеры полотно подвергается очистке от незакрепленных волокнистых частиц и наматывается в рулон 8.

Расчет технологических параметров формирования рулонных слоистых ворсовых материалов аэродинамическим способом проведен в системе компьютерной алгебры Maple (Приложение Е).

В качестве материала основы при формировании слоистых материалов декоративно-отделочного назначения в соответствии с конкретной областью применения могут быть использованы нетканые полотна (бумага, флизелин и другие), а также ткани. Свойства используемых основ для формирования слоистых текстильных материалов с ворсовым покрытием представлены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Физико-механические свойства материалов, используемых в качестве основы при формировании слоистых текстильных материалов

Показатель	Значение показателя
<i>Бумага (гост 6749-2005. Бумага-основа для обоев. Технические условия)</i>	
Поверхностная плотность, г/м ²	80-110
Плотность, г/см ³	0,35-0,5
Разрушающее усилие в сухом состоянии, Н, не менее	50 - 75
Разрушающее усилие во влажном состоянии, Н, не менее	6,5-8
Относительное удлинение в машинном направлении, %, не менее	1,4
Толщина, мкм	100-180
Влажность, %	4-7
<i>Нетканое полотно (флизелин)</i>	
Поверхностная плотность, г/м ²	65-70
Разрушающее усилие в сухом состоянии, Н, не менее	70
Разрушающее усилие во влажном состоянии, Н, не менее	3
Толщина, мкм	100 - 200
Влажность, %	6-8

В зависимости от используемого материала основы и вида ворса выбирается полимерное связующее – клеевой состав, а также способ его нанесения. Правильно выбранный клеевой состав во многом определяет качество готового ворсового покрытия. В технологиях нанесения ворсового покрытия в электростатическом поле рекомендовано использовать клея-растворы [103, 104]. Для приклеивания ворса используют клеевые композиции на основе

поливинилового спирта (ПВС), поливинилацетатной дисперсии (ПВА), полиуретанов, каучуков, акриловые клея и др [107, 108, 179] .

Важно, чтобы выбранный клеевой состав обладал хорошими адгезионными свойствами, эластичностью и температура его термофиксации не превышала температуру при которой изменяются свойства волокнистого покрытия. В технологии нанесения ворсового покрытия аэродинамическим способом при формировании слоистых текстильных материалов декоративно-отделочного назначения выбраны: клей на основе поливинилового спирта (ПВС), клей на основе поливинилацетатной дисперсии (ПВА), свойства которых представлены в разделе 3.3.1.

При получении рулонных материалов непрерывным способом рекомендуются следующие способы нанесения клеевого состава на материал движущейся основы [103, 104]:

- ракельный способ – клеевой состав наносится на основу металлической раклей, установленной над валом под определенным углом;
- нанесение клеевого состава пульверизатором при транспортировании полотна основы в специальной камере;
- валковый способ при котором полотно основы проходит через систему валиков, состоящую из клеенаносного и прижимного валика.

Так как разрабатываемые технологии получения новых видов материалов реализованы на существующем оборудовании предприятий холдинга «Белорусские обои», использован валковый способ, который позволяет наносить тонкие пленки из низковязких связующих.

Вопросы подготовки материала основы для ворсового покрытия и клеевых композиций широко освещены в работах ученых научной школы Е.Н. Бершева. Поэтому при разработке технологии формирования слоистого ворсового материала аэродинамическим способом использованы рекомендации, представленные в работах [103, 104, 107, 108, 179]. Однако использование в качестве ворса коротковолокнистых отходов мехового производства, особенности разрабатываемой технологии аэродинамического напыления коротких волокон требуют изучения влияния состава и режимов нанесения пленки клеевого связующего на качественные показатели готового материала.

4.1.2. Исследование влияния состава полимерного связующего на качественные показатели ворсового покрытия

На основании установленных требований к полимерным связующим, используемым при формировании слоистых текстильных материалов клеевым способом в качестве основных компонентов выбраны растворы и дисперсии полимеров, в которых растворителем или дисперсионной средой является вода:

композиции на основе поливинилацетатной дисперсии (ПВА) и акриловой дисперсии с массовой долей сухого остатка 55–60%, поливинилового спирта (ПВС) концентрации 10,0–10,5 %.

В соответствии с установленным перечнем показателей качества для слоистых ворсовых материалов важными являются стойкость ворса к истиранию и жесткость готового полотна. Поэтому возникает необходимость определения состава клеевой композиции, обеспечивающей требуемые показатели качества.

Экспериментальные исследования нанесения ворсового покрытия на материал основы с предварительно нанесенной пленкой клеевого связующего проведено на опытно-экспериментальном стенде (рисунок 4.2) при фиксированных технологических параметрах: расход клеевого связующего 140 г/м²; расход волокнистого продукта (нитронового волокна) 100 г/м²; толщина пленки клеевого связующего $0,2 \cdot 10^{-3}$ м.

Результаты исследования стойкости ворса к истиранию и жесткости полотна слоистых ворсовых материалов представлены на рисунке 4.3. Испытания полученных образцов на стойкость ворса к истиранию проведено в соответствии с ГОСТ 6810–2002 [180], жесткость полотна определялась в соответствии с ГОСТ 10550-93 [181]. Согласно требованиям ГОСТ 6810–2002 стойкость к истиранию, измеряемая числом циклов, должна составлять не менее 40. Как видно из диаграмм, используемые композиции удовлетворяют техническим условиям.

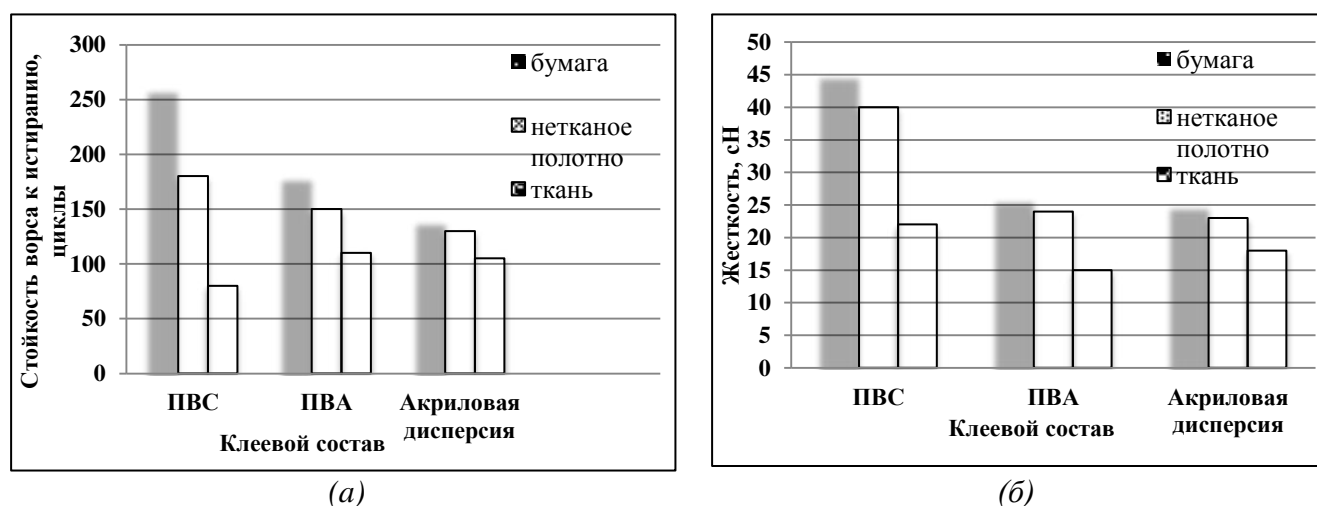


Рисунок 4.3 – Зависимость стойкости ворса к истиранию (а) и жесткости (б) слоистых ворсовых материалов от вида используемого клеевого состава

Показатель жесткости не всегда регламентируется, но влияет на технологические и потребительские свойства готовых материалов и изделий. В частности, для текстильных настенных покрытий согласно рекомендациям производителей (ОАО «Белорусские обои», г. Минск; «Гомельобои», г. Гомель) жесткость не должна превышать 25 – 27 сН. В случае декоративного ворсового

покрытия тканей показатель жесткости определяется согласно ГОСТ 24684-87 [182].

Большая устойчивость ворса наблюдается при использовании в качестве клеевого состава ПВС, однако при этом показатель жесткости превышает требуемое значение. Поэтому в качестве основного компонента клеевого состава принята ПВА и исследовано влияние содержания ПВС в полимерной композиции на стойкость ворса к истиранию и жесткость слоистого ворсового материала (рисунок 4.4).

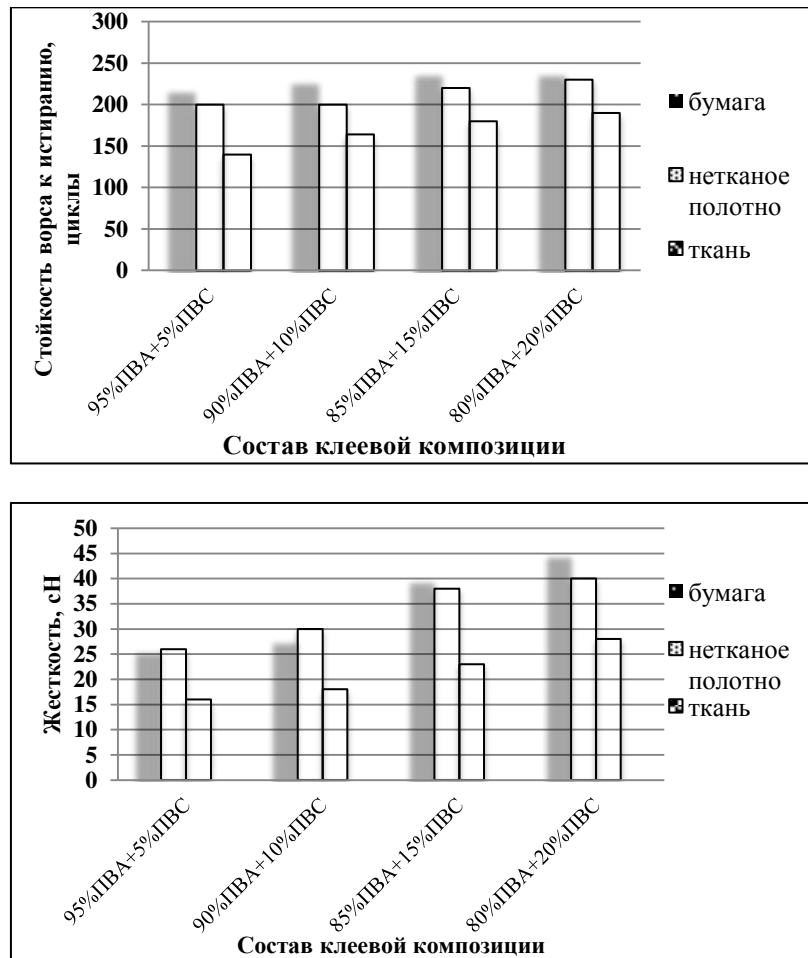


Рисунок 4.4 – Влияние содержания поливинилового спирта на качественные показатели слоистого материала с ворсовым покрытием

Анализ результатов показывает, что при увеличении содержания ПВС в клеевой композиции увеличивается стойкость ворсового покрытия к истиранию по сравнению с ПВА, но при этом возрастает жесткость слоистых ворсовых материалов, особенно при содержании $\geq 10\%$. Поэтому принята за основу клеевая композиция 90–95% ПВА и 5–10% ПВС. Поливиниловый спирт улучшает адгезионные свойства, используется в качестве эмульгатора и стабилизатора дисперсии [183]. Для повышения эластичности рекомендуется в состав клеевой композиции вводить пластификаторы.

К наиболее распространенным пластификаторам относятся эфиры ароматических и алифатических кислот, эфиры гликолей, продукты переработки нефти, жирные кислоты, растительные масла. Несмотря на то, что пластификаторы являются эффективными модификаторами полимерных связующих, существуют следующие недостатки: даже незначительная токсичность ограничивает область применения материалов; снижение стойкости ворса к истиранию; уменьшается устойчивость к воздействию различного рода микроорганизмов; дополнительные затраты на организацию производства. В результате анализа свойств широко используемых промышленных пластификаторов при формировании слоистых текстильных материалов декоративно-отделочного назначения выбраны экологически безопасные глицерин и касторовое масло свойства которых приведены в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Показатели свойств пластификаторов

Пластификатор	Плотность, г/см ³	Вязкость при температуре 20 ⁰ С, мПа*с	Температура, ⁰ С		
			кипения	вспышки	плавления
Касторовое масло	0,95-0,97	985	-	275	-
Глицерин	1,26	1480	290	174	17,8

Проведены экспериментальные исследования зависимости жесткости слоистого ворсового материала и стойкости ворса к истиранию от содержания пластификатора в клеевой композиции. Результаты исследования представлены на рисунке 4.5.

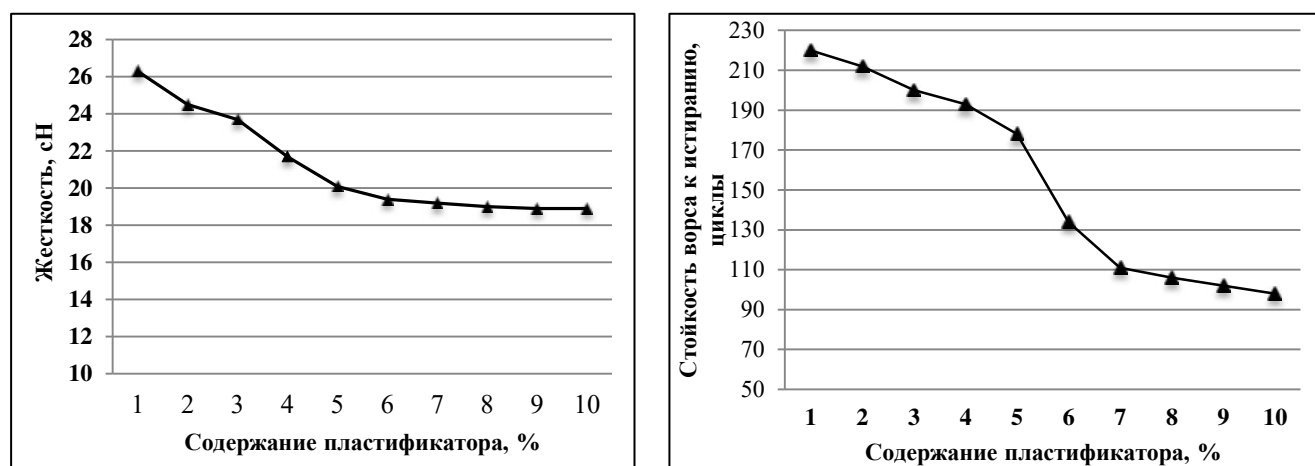


Рисунок 4.5 – Зависимость качественных показателей слоистого ворсового материала от содержания пластификатора в клеевой композиции

Анализируя полученные графические зависимости можно сделать вывод, что введение пластификатора в состав низковязкой клеевой композиции

повышает эластичность слоистого материала, однако при содержании выше 5% жесткость уменьшается незначительно, но происходит значительное уменьшение стойкости ворсового покрытия к истиранию, что свидетельствует об ухудшении адгезии и прочности фиксации волокон.

Таким образом, для придания дополнительной эластичности слоистым ворсовым материалам декоративно-отделочного назначения рекомендована клеевая композиция следующего состава %:

Рецепт 1

<i>Поливинилацетатная дисперсия</i>	90
<i>Поливиниловый спирт (10%-ный)</i>	5-10
<i>Пластификатор (глицерин или касторовое масло)</i>	2-5

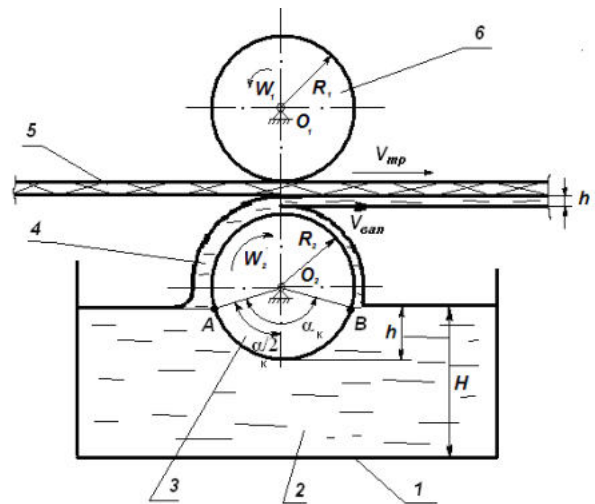
При нанесении ворсового покрытия на ткани, в частности для декоративной отделки швейных и галантерейных изделий, необходимо увеличивать стойкость ворса к истиранию в сухом и мокром состоянии. Поэтому рекомендуется в состав клеевой композиции вводить метазин и его производные [104]. С увеличением содержания метазиона стойкость ворса к истиранию в сухом состоянии практически не изменяется и значительно возрастает в мокром состоянии. Однако при этом увеличивается жесткость готового изделия, поэтому согласно исследованиям представленным в [104] для формирования слоистых текстильных материалов с ворсовым покрытием устойчивым к мокрым обработкам рекомендуется следующий состав клеевой композиции, %:

Рецепт 2

<i>Поливинилацетатная дисперсия</i>	90
<i>Поливиниловый спирт (10%-ный)</i>	5-10
<i>Пластификатор глицерин или касторовое масло)</i>	2-5
<i>Метазин</i>	5-10

4.1.3. Исследование процесса нанесения полимерного связующего на материал основы

Валковый способ заключается в том, что полотно основы проходит через два валика, один из которых погружен в клеевой состав ($\sim 1/3 D_B$), а другой – транспортирующий, контактируя с первым, переносит клеевое связующее на движущуюся в зазоре между валиками основу. Схема нанесения клеевого связующего на материал основы при формировании слоистого текстильного материала представлена на рисунке 4.6.



1 – ванна с полимерным связующим, 2 – полимерное связующее, 3 – наносной валик, 4 – пленка полимерного связующего, 5 – материал основы, 6 – прижимной валик

Рисунок 4.6 – Схема нанесения полимерного связующего

Прочность закрепления ворсового покрытия зависит от толщины наносимой пленки полимерного связующего и глубины погружения в нее волокна. Толщина полимерной пленки регулируется технологическими параметрами нанесения. Авторами работ [172, 184, 185, 186, 2-А] получена удобная для практического использования в инженерных расчетах формула:

$$h_0 = \sqrt[3]{\frac{1160\rho R^2 \nu^2 \alpha_k^2 b_k V}{N}} \quad (4.10)$$

где ρ – плотность полимерного связующего, кг/м³;
 R – радиус наносного валика, м;
 ν – кинематическая вязкость полимерного связующего, м²/с;
 α_k – угол контакта наносного валика со связующим, который варьируется в диапазоне $\pi/2 \leq \alpha_k \leq \pi$, (рад);
 N – мощность на наносном валике, Вт;
 V – скорость движения полотна основы, м/с;
 b_k – ширина полотна, м.

В производственных условиях толщина пленки полимерного связующего регулируется изменением его расхода, который с учетом (4.11) определяется:

$$Q = \sqrt[3]{\frac{1160\rho R^2 \nu^2 \alpha_k^2 b_k^3 V^3}{N}}, \text{ м}^3/\text{с} \quad (4.11)$$

Зависимость величины угла контакта наносного валика α_k с клеевым связующим от величины погружения представлена на рисунке 4.7.

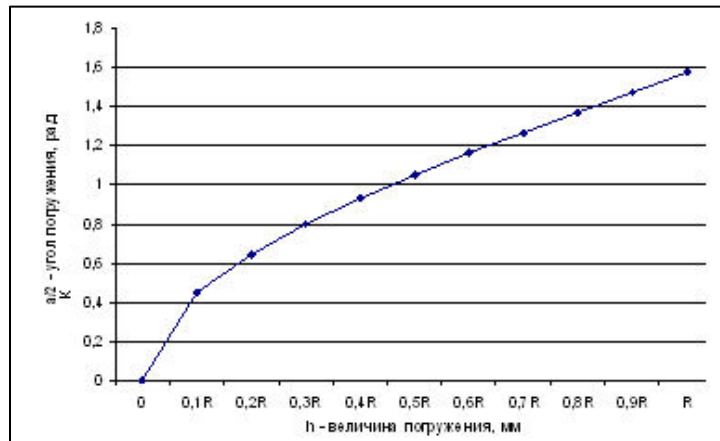


Рисунок 4.7 – Зависимость угла контакта от величины погружения

На рисунке 4.8 представлена номограмма, позволяющая определить толщину пленки полимерного связующего в зависимости от уровня погружения наносного валика для связующих различной вязкости. Для построения номограммы использованы данные технологического процесса формирования слоистых текстильных материалов с ворсовым покрытием на технологической линии «Fisher & Krekker» (ОАО «Гомельобой») (таблица 4.3).

Таблица 4.3 – Данные для построения номограммы

Показатель	Значение
Мощность на наносном валике, Вт;	15000
Скорость движения полотна основы, м/с;	0,4-0,6
Ширина полотна, м.	0,55
Диаметр наносного валика, м;	0,15 – 0,20
Плотность полимерного связующего, кг/м ³	1000-1200
Кинематическая вязкость полимерного связующего, м ² /с	$1 \cdot 10^{-6} \leq \nu \leq 1 \cdot 10^{-5}$
Угол контакта наносного валика со связующим, рад	$\pi/2 \leq \alpha_k \leq \pi$

При формировании ворсовых материалов глубина погружения волокнистой частицы в связующее δ_v должна быть меньше ее длины: $\delta_v \leq 0,3L_v$, поэтому рекомендуемая толщина пленки клеевого связующего составляет 0,3-0,5мм [184, 2-А]. Глубина проникновения ворса зависит от скорости воздушного потока при нанесении волокнистых частиц аэродинамическим способом.

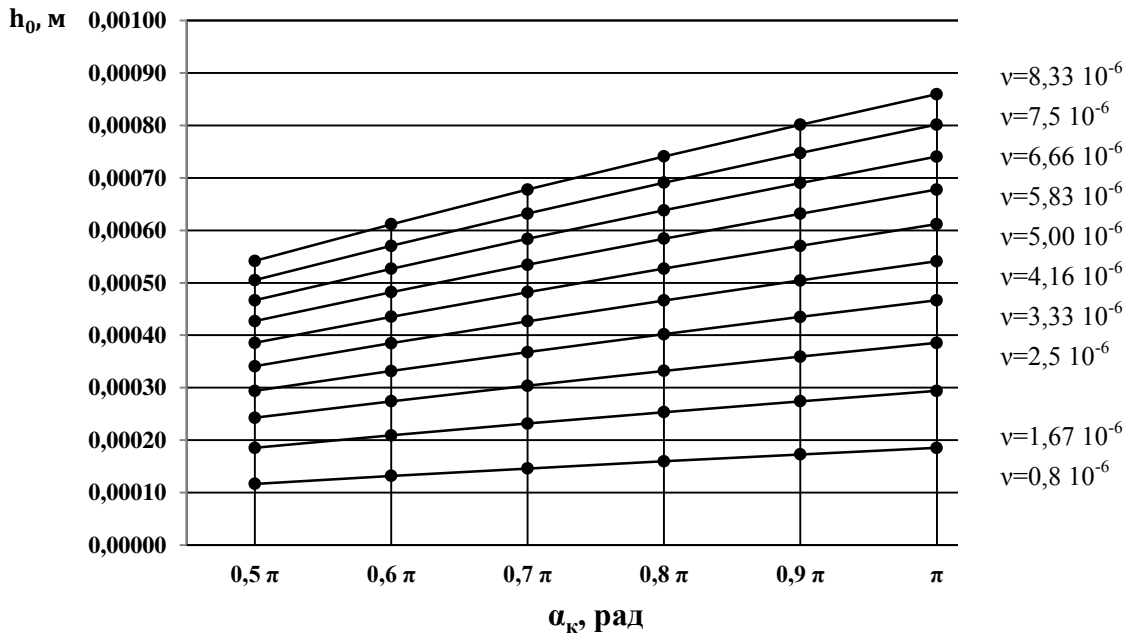


Рисунок 4.8 – Номограмма для определения толщины пленки полимерного связующего

Проведены экспериментальные исследования нанесения полимерного связующего при формировании слоистых ворсовых материалов декоративно-отделочного назначения в производственных условиях ОАО «Гомельобой» при следующих установленных параметрах процесса [90-А]:

- рабочая вязкость полимерного связующего $\nu=0,8 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ и $\nu=8,33 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$;
- ширина полотна основы $b_k=0,5 \text{ м}$;
- радиус наносного валика $R = 0,20 \text{ м}$;
- мощность $N=15000 \text{ Вт}$.
- скорость движения полотна основы $V= 0,1 \div 0,5 \text{ м/с}$;
- уровень погружения наносного валика $h = 1 \div 10 \cdot 10^{-2} \text{ м}$.

Для определения толщины пленки были подготовлены срезы образцов и произведены измерения с помощью микроскопа типа «Биолан» с точностью до 0,1мм. План и результаты экспериментальных исследований зависимости толщины клеевой пленки от уровня погружения наносного валика и скорости движения полотна основы представлены в таблице 4.4.

В результате обработки экспериментальных данных получена регрессионная модель зависимости толщины наносимой пленки полимерного связующего от скорости движения полотна основы через клеевой узел, уровня погружения наносного валика [89-А]:

$$h_0 = 0,15 \cdot 10^{-3} + 0,03 \cdot 10^{-3} h - 0,01 \cdot 10^{-3} V. \quad (4.12)$$

Таблица 4.4 – План и результаты экспериментальных исследований зависимости толщины клеевой пленки от уровня погружения клеенамазного валика и скорости движения полотна основы

№ опыта	Кодированные значения		Натуральные значения		Экспериментальные значения	
			Уровень погружения, $h, 10^{-3}$ м	Скорость движения полотна, $V, \text{м/с}$	Толщина пленки ($\nu=0,8 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$), 10^{-3} м	Толщина пленки ($\nu=8,33 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$), 10^{-3} м
	X_1	X_2				
1	1	1	10	0,5	0,172	0,799
2	1	-1	10	0,1	0,191	0,860
3	1	0	10	0,3	0,178	0,854
4	-1	1	2	0,5	0,118	0,460
5	-1	-1	2	0,1	0,123	0,550
6	-1	0	2	0,3	0,128	0,559
7	0	1	6	0,5	0,144	0,663
8	0	-1	6	0,1	0,152	0,680
9	0	0	6	0,3	0,156	0,700

Графическая интерпретация полученной зависимости при различной вязкости полимерного связующего представлена на рисунке 4.9.

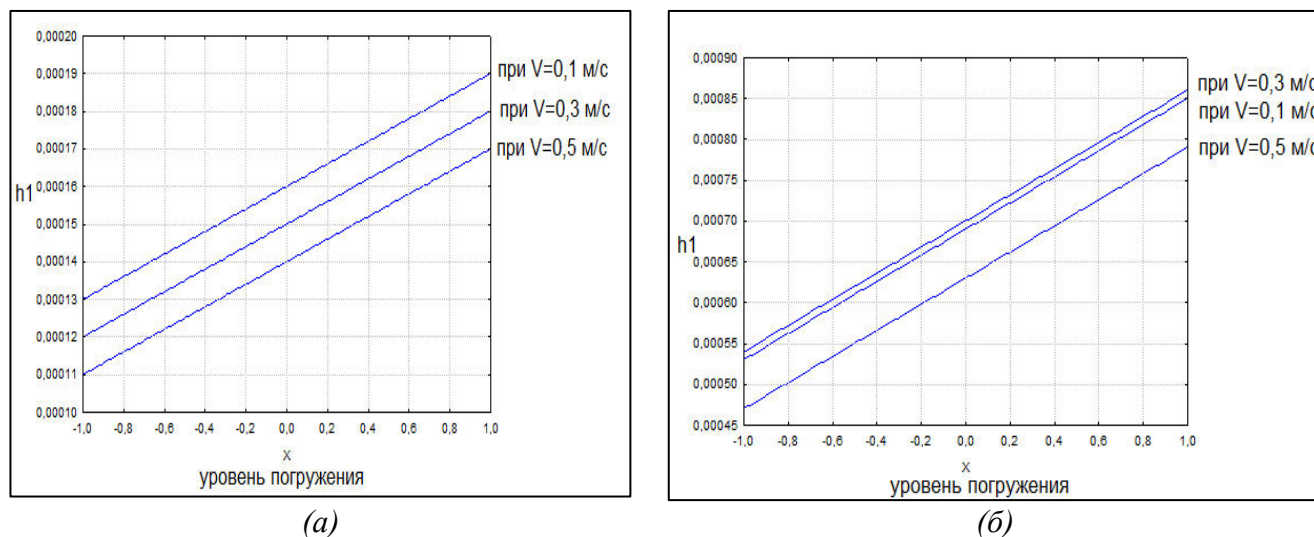


Рисунок 4.9 – Зависимость толщины пленки полимерного связующего от уровня погружения наносного валика и скорости движения полотна основы (а) – при вязкости $\nu=0,8 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$; (б) – при вязкости $\nu=8,33 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$

При увеличении уровня связующего в ванне значение толщины пленки увеличивается, что объясняется увеличением площади контакта при переносе связующего на материал основы. При увеличении скорости движения полотна

основы толщина пленки уменьшается, так как уменьшается продолжительность переноса связующего на единицу площади материала основы.

Полученная экспериментально регрессионная модель (4.12) хорошо согласуется с теоретической формулой (4.10), что подтверждает достоверность модели и возможность использования для определения толщины полимерной пленки в зависимости от технологических параметров нанесения валковым способом.

С целью выявления зависимости стойкости истирания ворсового покрытия от толщины пленки проведены экспериментальные исследования, в которых изменение массы наносимого полимерного связующего осуществлялось путем изменения разводки между наносными валиками [2-А, 50-А]. В качестве независимых изменяемых факторов были приняты: X_1 – расход полимерного связующего, г/м²; X_2 – расход волокнистого материала, г/м².

Стойкость покрытия к истиранию определялась в соответствии с ГОСТ 6810-2002 и оценивалась по потерям массы волокнистого материала Δm , г.

План и результаты эксперимента представлены в таблице Е.1 (Приложение Е). Обработка результатов эксперимента проводилась с использованием программы Statistica for Windows. Получена следующая регрессионная модель:

$$\Delta m = 8,51 - 3,79X_1 + 3,56X_2 - 2,27X_1X_2 - 3,44X_1^2. \quad (4.13)$$

Оценка значимости коэффициентов моделей представлена в таблице Е.2 (Приложение Е).

Анализ результатов (рисунок 4.10) показывает, что при увеличении расхода клеевого связующего, и соответственно толщины пленки, увеличивается стойкость к истиранию и увеличивается жесткость готового материала.

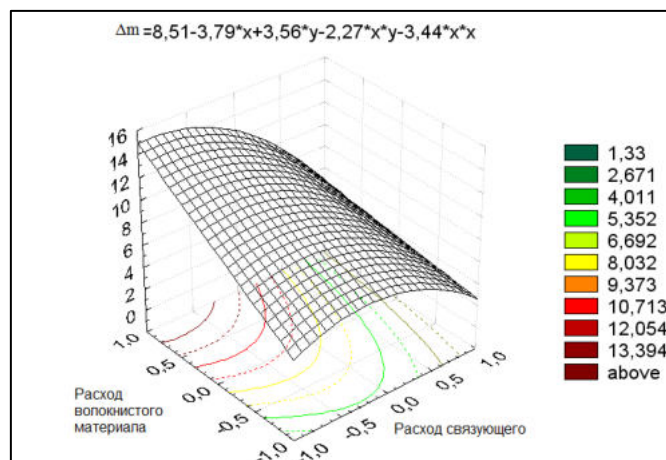


Рисунок 4.10 – Зависимость качественных показателей ворсового покрытия от расхода клеевого связующего и волокнистого материала

Оптимальное значение показателя жесткости зависит от области применения готового слоистого ворсового материала: для текстильных настенных покрытий рекомендуемое производителем значение показателя жесткости составляет не более 25 сН (данные ОАО «Белорусские обои»); для декоративной отделки швейных изделий значение показателя жесткости составляет от 6÷8 до 15÷18 сН (ГОСТ 24684–87 Материалы для одежды. Нормы жесткости).

Обобщая результаты теоретических и экспериментальных исследований процесса нанесения пленки полимерного связующего при формировании слоистых ворсовых материалов можно сделать следующие выводы:

- построена номограмма, позволяющая определить толщину пленки связующего в зависимости от уровня погружения наносного валика для связующих различной вязкости;
- экспериментально получены регрессионные модели зависимости толщины пленки полимерного связующего от скорости движения полотна основы через клеевой узел и уровня погружения наносного валика, а также зависимости стойкости ворсового покрытия от расхода полимерного связующего и волокнистой материала.

Использование полимерной композиции на основе поливинилацетатной дисперсии с содержанием 10 %-ного раствора поливинилового спирта 5–10 % и пластифицирующей добавки 2–5 % позволяет обеспечить требуемые показатели качества слоистого ворсового материала – стойкость к истиранию ворса 170–220 циклов, жесткость полотна 20–25 сН.

4.1.4. Исследование процесса подготовки коротковолокнистых отходов для формирования ворсового покрытия

Подготовка заключается в выборе сырьевого состава и длины волокон в соответствии с областью применения [28-А, 33-А, 42-А, 46-А, 88-А]. Для формирования слоистого ворсового материала способом электрофлокирования используют подготовленный ворс – флок, имеющий определенные цвет, длину и линейную плотность волокна, обработанный специальными препаратами для придания необходимой сыпучести, электропроводности.

Достоинством технологии формирования слоистых ворсовых материалов аэродинамическим способом является возможность использования коротковолокнистых отходов в качестве ворсового покрытия. Единственной операцией подготовки коротковолокнистых отходов является измельчение с целью выравнивания по длине волокон.

В диссертационной работе в качестве сырья для формирования волокнистого покрытия использованы:

- *Коротковолокнистые отходы трикотажного искусственного меха* производства ОАО «БелФа» (кноп стригальный) с длиной волокон не более 25 мм. Свойства волокон представлены в таблице 4.5. Состав и цвет волокон зависит от ассортимента выпускаемого меха: 100% нитрон, 75% нитрон+25% полиэфир.

Исследована длина волокон в отходах, образующихся после предварительной (рисунок 4.11а), промежуточной (рисунок 4.11б), окончательной (рисунок 4.11в) стрижек искусственного меха [2-А]. Для исследования использована методика, представленная в Приложении Е [187]. Анализ диаграмм показывает большую неровноту волокнистой массы по длине, о чем свидетельствует значение коэффициента вариации 210%.

- *Коротковолокнистые отходы коврового производства* ОАО «Витебские ковры» (кноп стригальный) с длиной волокон не более 10 мм. Образуются в результате стрижки ковровых изделий (рисунок 4.11г). В данную смесь отходов входят нитрон, полиэфир, а также капроновые волокна свойства которых представлены в таблице 4.5.

Таблица 4.5 – Физико-механические свойства волокон

Параметр	Единицы измерения	Значения для волокон		
		нитрон	полиэфир	капрон
Линейная плотность	текс	0,33	0,33	0,4
Плотность вещества	г/см ³	1,16 – 1,18	1,38 – 1,39	1,14
Диаметр	мм	0,01872	0,01872	0,021063
Разрывная нагрузка	сН	9	18	28
Относительная разрывная нагрузка	сН/Текс	27,3	54,6	70
Относительное разрывное удлинение	%	18	25	22
Теплоемкость	кДж/(кг·°С)	1,67-1,88	1,09-1,13	1,78 -1,84
Теплопроводность	Вт/(м К)	0,03	0,083	-

Волокна, используемые для формирования качественного ворсового покрытия должны иметь одинаковые геометрические размеры [104], поэтому необходима операция подготовки – измельчения до заданной длины. Длина волокон для формирования ворсового покрытия выбирается в зависимости от линейной плотности волокон. От соотношения длины и толщины зависит стойкость ворсового покрытия к истиранию. Рекомендуется использовать следующее соотношение [103]:

$$L = 21,7d_b(E_p^{-1} - 1) \quad (4.14)$$

где d_b – диаметр волокна, мм;

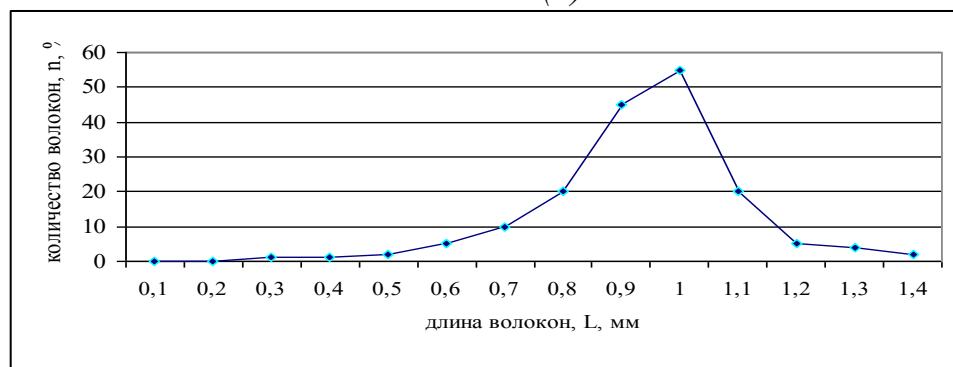
E_p – разрывное удлинение, %.



(a)



(б)



(в)



(г)

Рисунок 4.11 – Диаграмма распределения длин волокон (кноп стригальный меховой) (a) – после предварительной стрижки; (б) – после промежуточной стрижки; (в) – после заключительной стрижки; (г) – кноп стригальный (ковровый)

В результате анализа существующих способов для измельчения волокнистых отходов до заданной длины выбран простой и универсальный ударный способ с использованием роторной дробилки ДР-185 (таблица 4.6). Ударный способ позволяет управлять процессом и получать волокна заданной длины в зависимости от выбранных технологических и конструктивных параметров оборудования [188].

Исследовано влияние технологических параметров процесса измельчения на качество подготовки волокнистой смеси, которое характеризуется следующими показателями: средняя длина волокон, мм, коэффициент вариации по длине волокон, %, доля спекшихся волокон, % [2-А, 8-А].

Таблица 4.6 – Основные параметры дробилки ДР-185

Показатель	Значение
Частота вращения ротора, мин ⁻¹	1000-3000
Степень измельчения	20
Разводка между подвижными и неподвижными ножами, м	0,001-0,005
Производительность дробилки, кг /час	6
Установленная мощность, кВт	3,0

Исследования технологического процесса получения ворса заданной длины проведены с использованием плана-матрицы Коно [189, 190]. Уровни и интервалы варьирования факторов установлены на основании анализа литературных источников, а также предварительно проведенных расчетов (таблица 4.7). План и результаты эксперимента, коэффициенты полиномиальных моделей, а также оценка их значимости представлены в таблице Д.3, Д.4.

Таблица 4.7 – Интервалы и уровни варьирования факторов

Наименование фактора	Обозначение	Уровни варьирования			Интервал варьирования
		-1	0	1	
Продолжительность обработки, мин	τ	1	2	3	1
Частота вращения ротора, мин ⁻¹	ν	1500	2000	2500	500

Математические модели исследуемых параметров подготовки коротковолокнистых отходов имеют следующий вид:

- средняя длина волокон после измельчения

$$L_g = 1,51 - 0,40\tau - 0,117\nu, \quad (4.15)$$

- коэффициент вариации по длине

$$C(L)=5,067-1,03\tau-0,35\nu+0,32\nu^2, \quad (4.16)$$

- доля спекшихся волокон

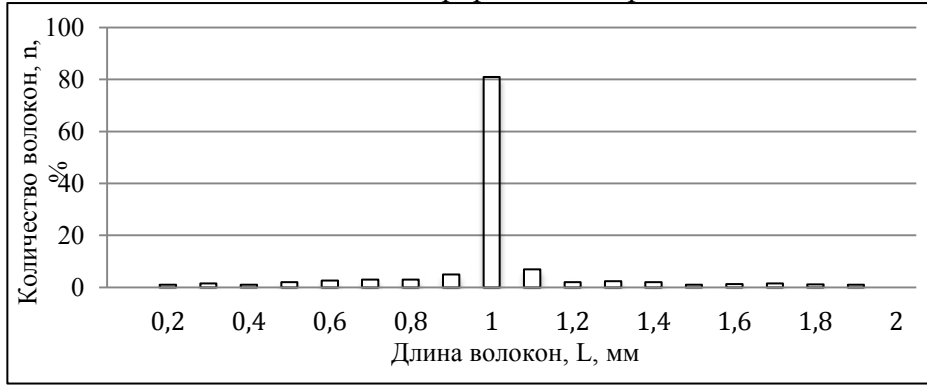
$$W=5,52+1,52 \tau +0,908\nu +1,0633 \tau^2. \quad (4.17)$$

Графическая интерпретация полученных математических моделей представлена на рисунке Е.4 (Приложение Е). Как видно, с увеличением частоты вращения ротора и продолжительности измельчения уменьшается длина волокон и коэффициент вариации по длине. Однако, при этом увеличивается доля спекшихся волокон, что ухудшает свойства волокнистого продукта. Математические модели (4.15) – (4.17) позволяют рассчитывать оптимальные технологические параметры процесса измельчения ударным способом для получения волокон заданной длины с коэффициентом вариации по длине не более 5%. Диаграмма распределения длин волокон в смеси после подготовки при оптимальных режимах измельчения представлена на рисунке 4.12. Свойства ворса, подготовленного при оптимальных технологических параметрах, представлены в таблице 4.8.

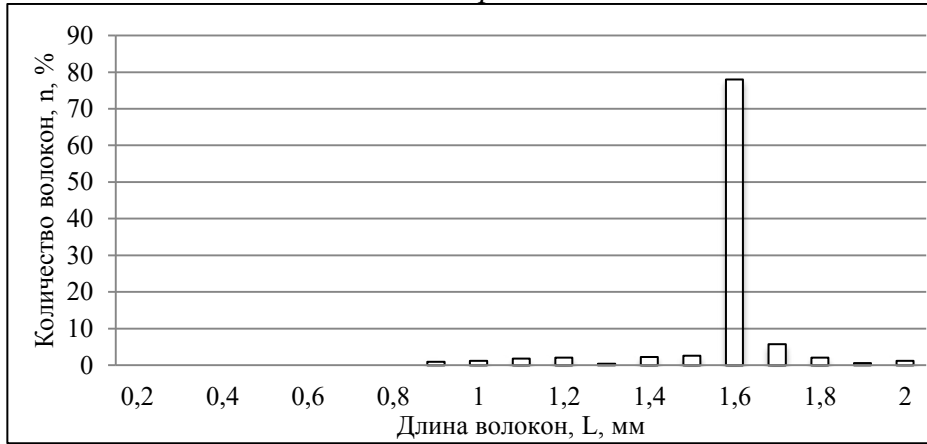
Таблица 4.8 – Свойства ворса для аэродинамического нанесения

Показатель	Значение показателя
<i>Смесь полиэфирных и нитроновых волокон $\tau = 3$ мин; $\nu = 1800-2500$ мин⁻¹</i>	
Средняя длина, мм	1-1,2
Коэффициент вариации по длине, не более, %	4
Доля спекшихся волокон, не более, %	7
<i>Нитроновые волокна $\tau = 1 - 1,5$ мин; $\nu = 2000-2200$ мин⁻¹</i>	
Средняя длина, мм	1,7 – 1,8
Коэффициент вариации по длине, не более, %	5
Доля спекшихся волокон, не более, %	6
<i>Капроновых волокон $\tau = 1,5 - 2$ мин; $\nu = 1700-2000$ мин⁻¹</i>	
Средняя длина, мм	1,5 – 1,6
Коэффициент вариации по длине, не более, %	5
Доля спекшихся волокон, не более, %	4
<i>Полиэфирные волокна $\tau = 2,5 - 3$ мин; $\nu = 1700-2000$ мин⁻¹</i>	
Средняя длина, мм	1,1 – 1,2
Коэффициент вариации по длине, не более, %	5
Доля спекшихся волокон, не более, %	6

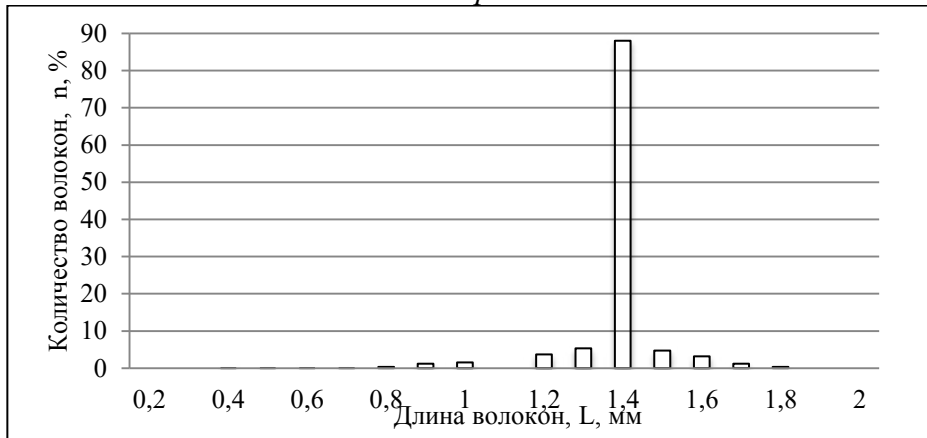
Смесь полиэфирных и нитроновых волокон



Нитроновые волокна



Капроновые волокна



Полиэфирные волокна

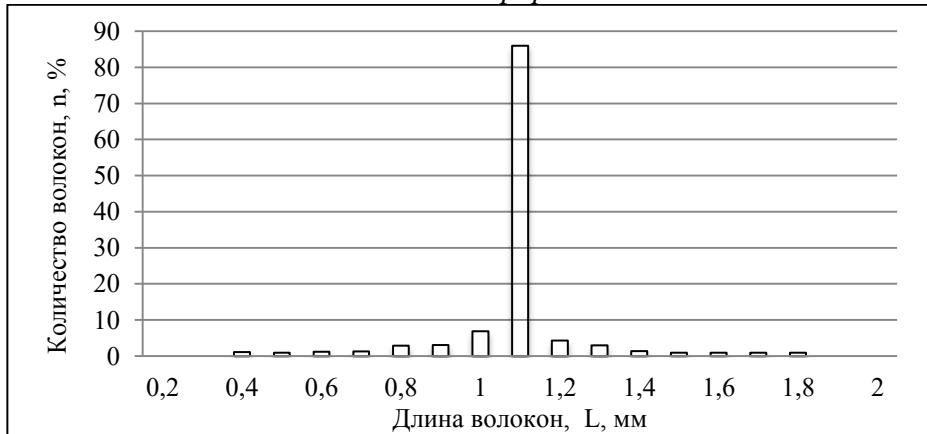
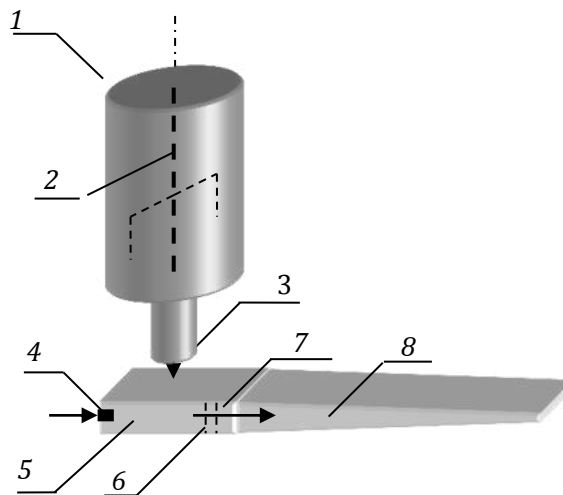


Рисунок 4.12 – Диаграмма распределения длин волокон после подготовки

4.1.5. Разработка конструкции аэродинамического устройства для непрерывного формирования ворсового покрытия рулонных материалов

Совместно с проф. Ольшанским В.И, проф. Коганом А.Г. и доцентом Е.В. Чукасовой-Ильюшкиной разработано и запатентовано устройство для нанесения волокнистых частиц на рулонные материалы потоком сжатого воздуха [102-А, 103-А]. Аэродинамическое устройство для формирования ворсового покрытия непрерывным способом состоит из дозирующего бункера и аэродинамической форсунки (рисунок 4.13). Принцип работы аэродинамического устройства следующий.



1 – дозирующий бункер; 2 – шнековое устройство; 3 – инжекционный патрубок; 4 – рабочее сопло; 5 – приемная камера; 6 – встроенные сита; 7 – камера смешения; 8 – транспортирующая камера

Рисунок 4.13 – Схема аэродинамического устройства

Из дозирующего бункера 1 подготовленный ворс равномерно подается регулируемым шнековым устройством 2 в пневмоинжекционный патрубок 3. В результате разрежения в пневмоинжекционном патрубке, создаваемого потоком сжатого воздуха, подаваемого через штуцер 4, осуществляется засасывание ворса в приемную камеру аэродинамического устройства 5. Пройдя через сита 6, установленные в камере смешения 7, ворс образует с воздушным потоком однородную воздушно-волокнистую смесь, которая равномерно распределяется транспортирующей камерой 8. Транспортирующая камера выполнена в виде расширяющего диффузора. Волокнистые частицы при выходе из диффузора, обладая достаточной кинетической энергией, долетают до непрерывно движущейся основы с предварительно нанесенной пленкой клеевого связующего и фиксируются на ней.

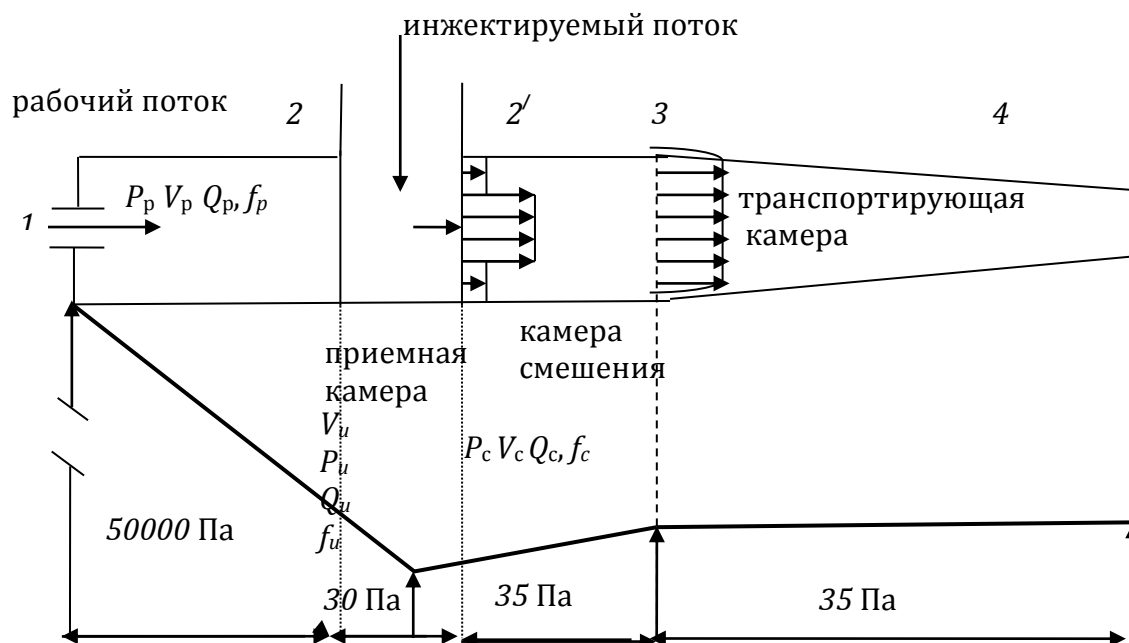
В процессе аэродинамического напыления волокнистой массы на материал основы протекают следующие физические явления:

- инжекция, непрерывное смешение двух потоков – волокнистой массы, подаваемой из дозирующего бункера и воздушного потока;
- транспортирование волокнистых частиц воздушным потоком (воздушно-волокнистый поток);
- осаждение волокнистых частиц на предварительно подготовленную основу.

Для эффективного протекания перечисленных процессов и формирования качественного ворсового покрытия, обладающего высокой устойчивостью к различного рода механическим воздействиям, равномерностью, высокой плотностью заполнения необходимо оптимизировать конструкцию аэродинамического устройства и технологические параметры формирования рулонных слоистых ворсовых материалов непрерывным способом.

4.1.5.1. Исследование взаимодействия воздушного потока и волокнистых частиц, расчет параметров аэродинамического устройства

Рассмотрим аэродинамическое устройство для формирования ворсового покрытия как струйный аппарат, так как в нем происходит обмен механической энергией двух потоков в процессе их смешения [178]. Струйный аппарат состоит из рабочей камеры (1-2), приемной камеры (2-2'), камеры смешения (2' -3) и транспортирующей камеры (3-4) (рисунок 4.14).



P_p, Q_p, V_p, f_p - рабочее давление, расход, скорость и площадь сечения рабочего потока;
 P_u, Q_u, V_u, f_u - давление, расход, скорость и площадь сечения инжектируемого потока;
 P_c, Q_c, V_c, f_c - давление, расход, скорость и площадь сечения потока в камере смешения

Рисунок 4.14 – Принципиальная схема работы аэродинамического устройства

Поток с более высоким давлением (воздушный поток) называется рабочим. Воздушный поток поступает в приемную камеру с большой скоростью и увлекает за собой волокнистый материал (среду с низким давлением – инжектируемый поток), поступающий из дозирующего бункера через инжекционный патрубок.

Транспортирование волокнистых частиц осуществляется через диффузор аэродинамического устройства. В результате предварительных экспериментальных исследований анализа литературных источников и расчетов приняты для исследования взаимодействия воздушного потока и волокнистого материала следующие параметры диффузора: толщина щели диффузора – 4 мм; ширина щели диффузора – 350 мм; угол расширения диффузора – 13°.

Воздушный (рабочий) поток площадью f_p , имеющий давление P_p со скоростью V_p поступает в приемную камеру и подсасывает смесь воздуха и мелкодисперсных волокнистых частиц, имеющих давление P_u . В результате непрерывного увеличения массы волокнистых частиц увеличивается массовый расход воздушно-волокнистого потока, а площадь его поперечного сечения непрерывно возрастает. На некотором расстоянии от приемной камеры движущийся поток заполняет всю площадь поперечного сечения смешивающей камеры f_c . Давление в смешивающей камере увеличивается до значения P_c .

Скорость воздушной струи на входе в камеру смешивания имеет неравномерный профиль, по оси скорость сравнима со скоростью воздушного потока V_p , а на периферии скорость мала. В камере смешения и далее в транспортирующей камере происходит выравнивание скоростей, сопровождающееся повышением давления. Из камеры смешения поток поступает в диффузор, где происходит дальнейшее повышение давления. Давление воздушно-волокнистого потока на выходе из диффузора выше давления инжектируемого потока, поступающего в приемную камеру.

Процессы, протекающие в аэродинамическом устройстве, характеризуются тремя основными законами [178]:

- законом сохранения энергии

$$h_p + uh_u = (1 + u)h_c, \quad (4.16)$$

где h_p, h_u, h_c – энтальпия рабочего, инжектируемого и смешанного потоков соответственно, кДж/кг;

u – коэффициент инжекции, равный отношению массового расхода волокнистого материала (инжектируемого потока) к массовому расходу воздушного потока (рабочего потока):

$$u = \frac{Q_u}{Q_p} = \frac{Q_s}{Q_{возд}}, \quad (4.17)$$

- законом сохранения массы

$$Q_c = Q_u + Q_p = Q_v + Q_{возд}, \quad (4.18)$$

где $Q_c, Q_v, Q_{возд}$ – массовые расходы смешанного, инжектируемого (волокнустого) и рабочего (воздушного) потоков соответственно, кг/с;

- законом сохранения импульса, который для камеры смешения произвольной формы запишется:

$$J_p + J_u = \int_{f_2}^{f_3} P df + J_c, \quad (4.19)$$

где J_p, J_u – импульс рабочего и инжектируемого потока во входном сечении камеры смешения, сН;

J_c – импульс смешанного потока в выходном сечении камеры смешения, сН;

$\int_{f_2}^{f_3} P df$ – интеграл импульса по боковой поверхности камеры смешения между сечениями 2 и 3 (рисунок 4.14);

f_2 и f_3 – площади сечений 2 и 3.

Для расчета основных геометрических параметров аэродинамического устройства принимаем следующие исходные данные:

- Давление рабочего потока $P_p = [1,5 \pm 0,05] \cdot 10^5$ Па.
- Скорость рабочего (воздушного) потока V_p , м/с

Так как $f_p \ll f_c$, можно считать, что рабочий поток истекает в свободную среду и его скорость можно рассчитать по формуле Сен-Венана [186]:

$$V_p = \sqrt{2g \frac{k}{k-1} RT_0 \left[1 - \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right]}, \quad (4.20)$$

где k – показатель адиабаты расширения, равный 1,4 [177];

R – универсальная газовая const; Дж/(кг град);

T_0 – температура воздуха при истечении, К;

P_2 – давление во внешней среде, Па;

P_1 – давление перед соплом, Па.

- Плотность рабочего (воздушного) потока

$$\rho_p = \frac{P_p}{R \cdot T_0}, \quad (4.21)$$

где P_p – давление в рабочем сечении.

- Средняя скорость инжектируемого потока V_u , при необходимом перепаде давлений $\Delta P=30$ Па:

$$V_u = \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho \xi}}, \quad (4.22)$$

где $\xi = 0,611$ – коэффициент потерь [177].

- Критические скорости рабочего (a_p) и инжектируемого (a_u) потоков определялись по формуле [191]

$$a_{кр} = \sqrt{\frac{2k}{k+1} \cdot \frac{P}{\rho}}, \quad (4.23)$$

Задача определения основных геометрических параметров аэродинамического устройства сводится к расчету достижимого коэффициента инжекции u_{opt} при заданных параметрах воздушного (рабочего) P_p , V_p , Q_p и инжектируемого P_u , V_u , Q_u потоков.

Для расчета коэффициента инжекции используем следующие газодинамические функции:

- функция λ , связывающая термодинамические параметры потока (температура, давление, плотность) с его приведенной скоростью $\lambda = \frac{V_p}{a_{кр}}$;
- функция q , характеризующая поток массы и равная отношению площадей критического сечения потока и данного сечения.

Значения газодинамических функций определялись по газодинамическим таблицам [192]:

- по отношению P_p/P_u по газодинамическим таблицам $\lambda_{pu}=0,8$ и $q_{pu}=0,9518$;
- по неравенству $q_{c3} \geq (P_p/P_c)q_{ps}$ определено, нет ли области q_{c3} , в которой работа аэродинамического устройства невозможна;
- по отношению $\Pi_{ps}=(P_u/P_p)\Pi_u$ определили газодинамическую функцию $q_{ps}=0,988$, и отношение давлений $(P_p/P_c)q_{ps}=1,4$.

Расчетное значение достижимого коэффициента инжекции $u_{opt}=0,547$ при $\lambda_{pu}=0,8$ и $q_{pu}=0,9518$ [192].

Оптимальное отношение сечений рабочего и инжектируемого потоков определяется из равенства:

$$V_p \cdot \rho_p \cdot f_p \cdot u_{opt} = V_u \cdot \rho_u \cdot f_u, \quad (4.24)$$

При расчете параметров аэродинамического устройства оптимальное расстояние сопла от камеры смешения определяется из условия, что при расчетном коэффициенте инжекции конечное сечение свободной струи равно входному сечению камеры смешения. При коэффициенте инжекции $u \geq 0,5$ длина и диаметр свободной струи определяются по формулам [192]:

$$L_1 = \frac{0,37 + u}{4,4 \cdot a} \cdot d_p, \quad (4.25)$$

где a – опытная константа, принятая равной 0,07 [192].

$$d_y = 1,55d_p \cdot (1 + u). \quad (4.26)$$

Расчет основных технологических и геометрических параметров аэродинамического устройства осуществлен по разработанной методике в системе компьютерной алгебры Maple. Результаты расчета представлены в таблице 4.9.

Таблица 4.9 – Расчетные данные основных геометрических параметров аэродинамического устройства

Показатель	Условное обозначение	Ед. изм.	Значение
Скорость рабочего потока	V_p	м/с	250
Плотность рабочего потока	ρ_p	кг/м ³	1,8
Площадь поперечного сечения сопла рабочего потока	S	мм ²	4,5
Средняя скорость инжектируемого потока	V_u	м/с	9
Относительное давление	P_{pu}	-	0,67
Эквивалентный диаметр рабочего сопла	d_p	мм	3,8
Длина струи	L_1	мм	11,6
Диаметр свободной струи на расстоянии L_1	d_y	мм	9,35
Длина участка камеры смешения между сечениями 1-2'	$L_{см(1-2')}$	мм	50
Диаметр камеры смешения	d_c	мм	84
Длина камеры смешения	$L_{см}$	мм	240

Для эффективной работы аэродинамического устройства должны выполняться следующие условия: $L_{см(1-2)} > L_1$; $d_c > d_y$; $L_{см} = (6 \div 10)d_c$ [192].

Поскольку транспортирующая камера аэродинамического устройства имеет форму расширяющегося диффузора, осуществляющего напыление ворсового покрытия на заданную ширину полотна основы, необходимо оптимизировать его геометрическую форму.

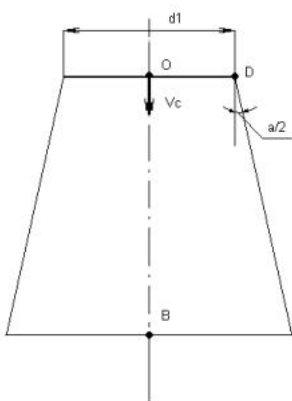
4.1.5.2. Исследование и оптимизация геометрической формы диффузора при формировании ворсового покрытия непрерывным способом

При движении воздушно-волокнутого потока через транспортирующую камеру аэродинамического устройства, выполненную в форме расширяющегося диффузора, возникают силы сопротивления в пристеночных областях диффузора, в результате чего происходит падение скоростей и неравномерное их распределение по сечению диффузора.

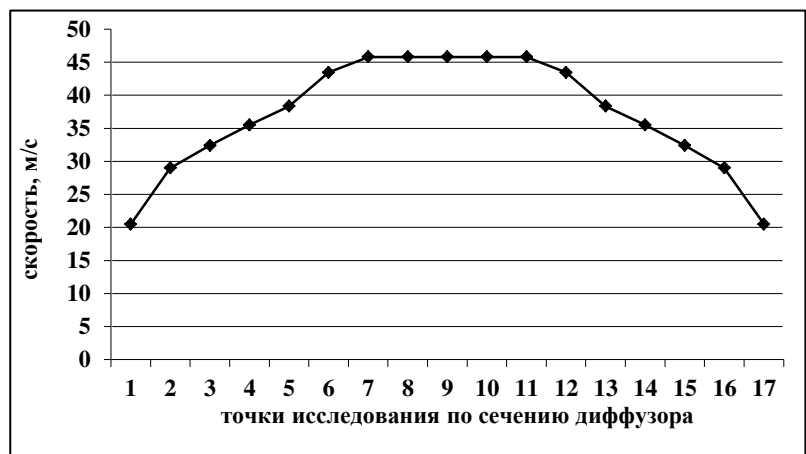
Для определения влияния формы диффузора на процесс формирования ворсового покрытия на непрерывно движущейся основе проведены исследования и построены эпюры скоростей воздушно-волокнутой смеси [5-А, 31-А, 48-А]. Измерение проводилось с использованием прибора «Моновакуометр» с точностью измерений ± 5 Па.

Исследованы следующие формы диффузора:

- диффузор с прямолинейным исполнением контура щели (рисунок 4.15);
- диффузор с криволинейным исполнением щели (рисунок 4.16).

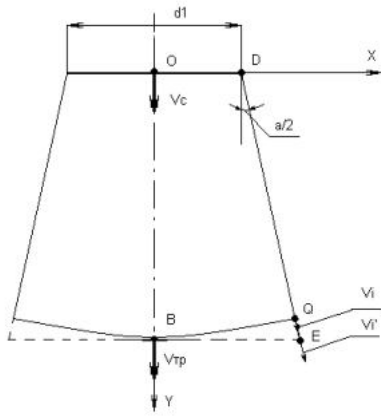


Прямолинейный диффузор

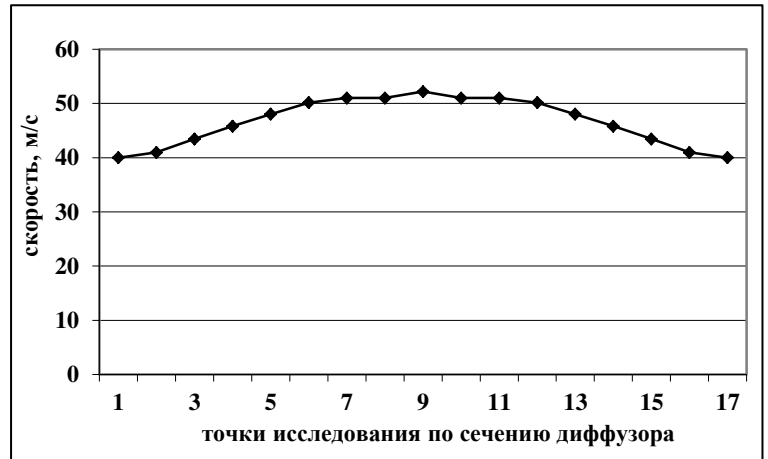


Эпюра скоростей при рабочем давлении 0,2 МПа

Рисунок 4.15 – Исследование скоростей воздушно-волокнутого потока при прямолинейной форме щели диффузора



Криволинейный диффузор



Этюра скоростей при рабочем давлении 0,2 МПа

Рисунок 4.16 – Исследование скоростей воздушно-волокнистого потока при криволинейной форме щели диффузора

Анализ полученных эюр скоростей воздушно-волокнистого потока показал, что при криволинейном исполнении щели диффузора происходит выравнивание скоростей по сравнению с прямолинейным диффузором.

Исходными данными для определения оптимальной длины наклонного участка диффузора являются (рисунок 4.16):

$$DO = \frac{d}{2}; OB = r_{кр}; \frac{\alpha}{2} - \text{угол расширения диффузора}$$

Координата точки Q (рисунок 4.16) есть точка пересечения окружности радиуса $r_{кр}$ и прямой QD . Для прямой QD :

$$X = \frac{d_1}{2} + KX, \quad (4.27)$$

где K – тангенс угла расширения диффузора.

Уравнение окружности:

$$X^2 + Y^2 = r_{кр}^2, \quad (4.28)$$

откуда

$$X = \sqrt{r_{кр}^2 - Y^2}. \quad (4.29)$$

Подставляя выражение (4.29) в уравнение (4.27) и после преобразования получили:

$$r_{кр}^2 - Y^2 = d_1^2 + Kd_1 \cdot Y + K^2Y^2, \quad (4.30)$$

или

$$Y^2(K^2 + 1) + K \cdot d_1 Y + \left(\frac{d_1^2}{4} - r_{kp}^2 \right) = 0. \quad (4.31)$$

Решив квадратное уравнение

$$Y = \frac{-Kd_1 \pm \sqrt{K^2 d_1^2 - 4(K^2 + 1) \cdot \left(\frac{d_1^2}{4} - r_{kp}^2 \right)}}{2(K^2 + 1)}, \quad (4.32)$$

с учетом (4.27) получим длину наклонного участка диффузора:

$$l_{QD} = \sqrt{\left(X - \frac{d_1}{2} \right)^2 + Y^2}, \quad (4.33)$$

где d_1 – ширина камеры смещения, равная d_c , м;

X и Y – координаты точки Q , м.

Увеличение скорости движения потока сжатого воздуха с волокнистыми частицами, пропорциональны пути:

$$\frac{V_{mp}}{V_i} = \frac{r_{kp}}{l_{QD}}, \quad (4.34)$$

где V_{mp} – скорость частиц при истечении по центру диффузора, м/с;

V_i – скорость частиц при истечении по линии наклонной стенки диффузора, м.

Как видно, при уменьшении длины наклонных стенок диффузора происходит выравнивания скоростей воздушно-волокнистого потока [28-А, 31-А].

Вылетая из диффузора аэродинамического устройства, волокнистые частицы перемещаются к материалу основы на заданную ширину и далее внедряются в пленку полимерного связующего с последующей фиксацией на ней. При этом важно прогнозировать траекторию движения волокнистой частицы цилиндрической формы, скорость ее перемещения в воздушной среде с учетом сопротивления, оказываемого воздушной средой. Задача оптимальной траектории движения волокнистой частицы под действием силы сжатого воздуха сводится к выбору взаимного расположения полотна основы и распыляющего диффузора

аэродинамического устройства с учетом аэродинамических параметров волокнистой частицы.

4.1.5.3. Исследование влияния взаимного расположения полотна основы и диффузора аэродинамического устройства на траекторию движения волокнистых частиц

Для равномерного заполнения ворсом непрерывно движущейся основы шириной b необходимо расположить диффузор аэродинамического устройства на расстоянии X_{BC} (рисунок 4.17).

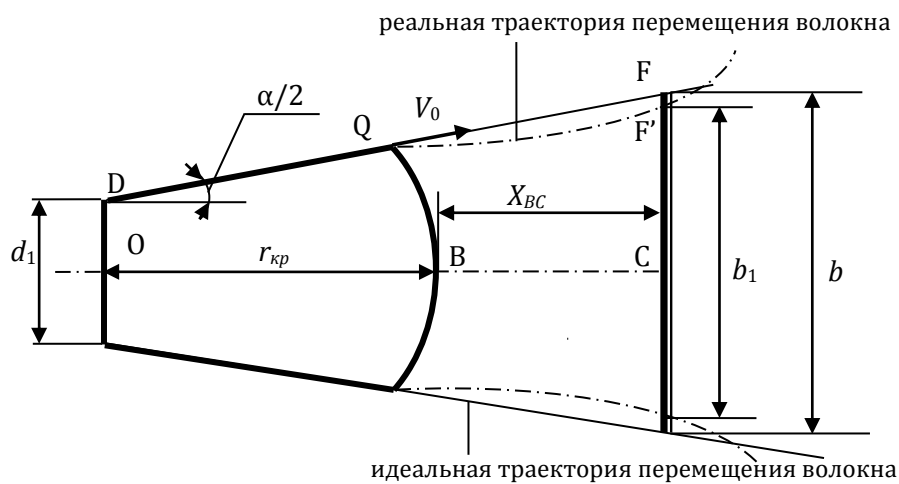


Рисунок 4.17 – Схема взаимного расположения диффузора аэродинамического устройства и полотна основы

Из прямоугольной трапеции $ODFC$ тангенс угла расширения $\alpha/2$ (рад) равен:

$$\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = \frac{CF - OD}{OC} = \frac{b - d_1}{2(r_{кр} - X_{BC})}, \quad (4.35)$$

где d_1 – ширина диффузора, равная d_c , м;

$r_{кр}$ – радиус кривизны, м;

Тогда расстояние между диффузором и основой X_{BC} при прямолинейном движении волокнистой частицы в покоящейся среде равно:

$$X_{BC} = \frac{b - d_1}{2 \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}} - r_{кр}. \quad (4.36)$$

В реальном процессе на волокнистую частицу, движущуюся в воздушной среде действует сила вязкого трения или сила сопротивления среды. Слои воздуха, прилегающие к волокнистой частицы, движутся вместе с ней, увлекая и последующие слои воздуха. Двигаясь по реальной траектории, на расстоянии X_{BC} равномерно покрывается ширина полотна b_l .

Для волокнистой частицы с эквивалентным диаметром d_3 сила аэродинамического сопротивления (сила Стокса) F определяется [191]:

$$F_c = -6\pi\mu^* \frac{d_3}{2} V, \quad (4.37)$$

где μ^* – коэффициент динамической вязкости среды с твердыми частицами, Па·с, который определяется по формуле [192]:

$$\mu^* = \mu(1 + 5C_6) \quad (4.38)$$

где $\mu = 1 \cdot 10^{-5}$ Па·с, вязкость воздуха при $t^0C=20$;

V – скорость воздушно-волокнистого потока, м/с;

C_6 – объемная расходная концентрация твердых частиц (4.1).

Уравнение движения волокнистой частицы массой m с учетом силы торможения (4.64) имеет вид линейного дифференциального уравнения:

$$m \frac{dV}{dt} = -6\pi\mu^* \frac{d_3}{2} V. \quad (4.39)$$

В результате решения уравнения (4.39) получим:

$$V_X = V_0 \exp\left(-\frac{6\pi\mu^* \frac{d_3}{2}}{m} t\right), \quad (4.40)$$

где V_0 – скорость волокнистых частиц, м/с.

Уравнение (4.40) позволяет определить скорость воздушно-волокнистого потока истекающего из диффузора по линии его наклонной стенки.

Определим длину участка прямолинейного движения волокнистой частицы l_{QF} :

$$l_{QF} = l_{DF} - l_{QD}; \quad (4.41)$$

$$l_{DF} = \frac{r_{кр} + X_{BC}}{\cos \frac{\alpha}{2}}, \quad (4.42)$$

тогда

$$l_{QF} = \frac{r_{кр} + X_{BC}}{\cos \frac{\alpha}{2}} - l_{QD}. \quad (4.43)$$

Учитывая, что ускорение есть производная скорости по времени из (4.40) получим:

$$a_x = -V_0 \frac{3\pi d_3 \mu^*}{m} e^{-\frac{3\pi d_3 \mu^*}{m} t}. \quad (4.44)$$

Тогда, перемещение волокнистой частицы за время t :

$$l_{QF} = V_0 t - \frac{t^2 V_0 3\pi d_3 \mu^*}{m} e^{-\frac{3\pi d_3 \mu^*}{m} t}. \quad (4.45)$$

Время прямолинейного движения волокнистой частицы определяется:

$$t = \frac{l_{QF}}{V_0}, \quad (4.46)$$

где расстояние l_{QF} определяется по формуле 4.43.

Оценив время t прямолинейного движения частицы по формуле (4.46), и подставляя его в уравнение (4.45), получим длину пути с учетом силы сопротивления воздушной среды [6-А, 31-А]. За время t волокнистая частица должна преодолеть участок пути l_{QF} и внедриться в пленку полимерного связующего.

В результате теоретического анализа перемещения волокнистой частицы в воздушной среде получена математическая модель, позволяющая прогнозировать траекторию движения и определять оптимальное взаимное расположения полотна основы и распыляющего диффузора аэродинамического устройства.

4.1.5.4. Экспериментальные исследования влияния параметров процесса аэродинамического напыления на качество ворсового покрытия

Положение диффузора аэродинамического устройства по отношению к движущейся основе оказывает влияние на плотность заполнения основы ворсом.

Проведены экспериментальные исследования зависимости поверхностной плотности слоистого ворсового материала и равномерности ворсового покрытия от скорости воздушно-волокнутого потока и расстояния между полотном основы и диффузором аэродинамического устройства [5-А, 6-А, 28-А, 31-А].

Формирование слоистого ворсового материала осуществлялось на опытно-экспериментальном стенде.

Условия эксперимента

- основа – нетканый материал (флизелин) поверхностной плотности 70 г/м^2 ;
- ворс – смесь полиакрилонитрильного и полиэфирного волокна, длина ворса 1-1,1 мм;
- клеевая композиция – рецепт 1;
- расход клеевого связующего – 150 г/м^2 ;
- расход волокнутого материала – 100 г/м^2 .

В качестве входных параметров были приняты:

- X_1 – давление, подаваемое в аэродинамическое устройство, (P_p), Па;
- X_2 – расстояние между полотном основы и диффузором (X_{BC}), м.

Исследуемыми параметрами являлись свойства слоистого ворсового материала:

- Y_1 – поверхностная плотность, г/м^2 ;
- Y_2 – коэффициент вариации по поверхностной плотности, как показатель равномерности ворсового покрытия.

Уровни и интервалы варьирования факторов приведены в таблице 4.10. План эксперимента, результаты, значения коэффициентов регрессии, полученных при обработке данных, приведены в таблицах Е.5 и Е.6 (Приложение Е).

Таблица 4.10 – Интервалы и уровни варьирования факторов

Наименование фактора	Обозначение	Уровни варьирования			Интервал варьирования
		-1	0	1	
Давление, подаваемое в аэродинамическое устройство, Па	X_1	100000	150000	200000	50000
Расстояние между полотном основы и диффузором, м	X_2	0,100	0,300	0,500	0,2

Математическая модель зависимости поверхностной плотности слоистого ворсового материала от давления, подаваемого в аэродинамическое устройство, и от расстояния между полотном основы и диффузором имеет вид:

$$PP=145,00+6.67X_1-5,00X_2 -35,00X_1^2-10,00X_2^2 \quad (4.47)$$

Графическая интерпретация полученной математической модели представлена на рисунке 4.18.

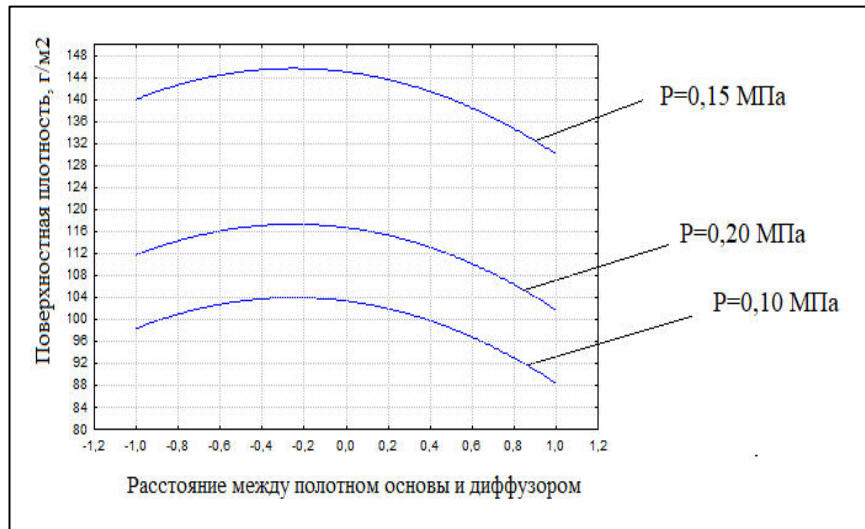


Рисунок 4.18 – Зависимость поверхностной плотности ворсового покрытия от расстояния между полотном основы и диффузором аэродинамического устройства

Как видно, при увеличении давления поверхностная плотность слоистого ворсового материала увеличивается, пока скорость волокнистых частиц не достигает значения, когда они «влипают» в полимерную пленку, создавая застилостный слой, не позволяющий последующим частицам внедриться в пленку полимерного связующего, после чего поверхностная плотность практически не изменяется.

Зависимость поверхностной плотности от расстояния между диффузором и полотном основы имеет одинаковый характер для всех давлений – экстремальный. При увеличении расстояния более 0,35 м не все волокнистые частицы, вылетающие из диффузора аэродинамического устройства достигают полотна основы.

Для равномерности ворсового покрытия, характеризующегося коэффициентом вариации по поверхностной плотности получена математическая модель вида:

$$C_{VPP}=9.94-6.67X_1+1.58X_1^2-1.67X_2^2 \quad (4.48)$$

Анализ математической модели и графической зависимости (рисунок 4.19) показывает, что при увеличении давления, а соответственно скорости воздушно-волокнистого потока, коэффициент вариации уменьшается.

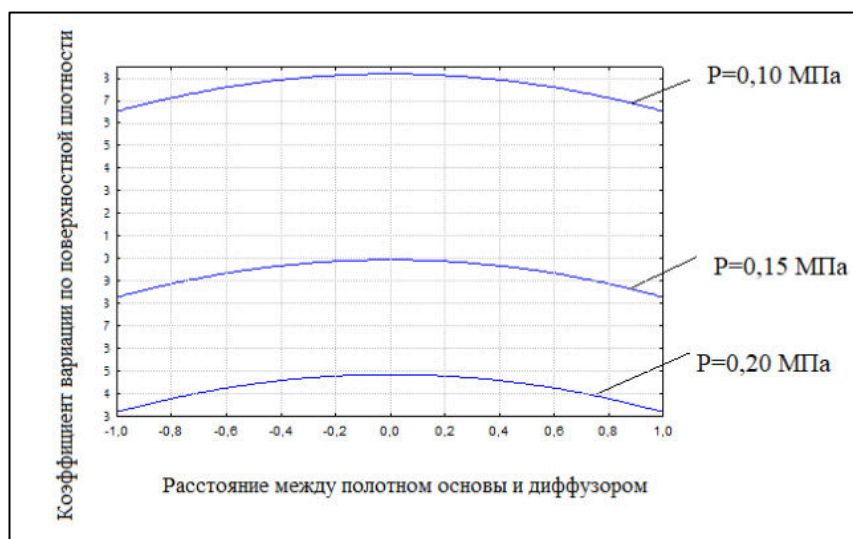


Рисунок 4.19 – Зависимость коэффициента вариации по поверхностной плотности ворсового покрытия от расстояния между полотном основы и диффузором аэродинамического устройства

При увеличении расстояния между движущейся основой и диффузором воздушно-волокнистый поток охватывает заданную ширину полотна и коэффициент вариации по поверхностной плотности снижается, и равномерность ворсового покрытия повышается.

Для выбора оптимальных параметров формирования ворсового покрытия выполним следующие ограничения:

- коэффициент вариации по поверхностной плотности по всей ширине полотна основы не должен превышать 5 %;
- поверхностная плотность стремиться к максимальному значению.

В результате рекомендованы для формирования рулонного слоистого ворсового материала аэродинамическим способом:

- давление, подаваемое в аэродинамическое устройство 0,15 – 0,20 МПа;
- расстояние от полотна основы до диффузора аэродинамического устройства 0,35 – 0,45 м.

Зная оптимальное расстояние от оси диффузора до полотна основы ($X_{BC} = 0,35 \div 0,45$ м), можно определить расстояние l_{QF} и сравнить с рассчитанным по формуле 4.72 при экспериментально определенном времени движения волокнистой частицы $t = 0,2$ с.

В таблице 4.11 представлены результаты теоретических расчетов и экспериментально полученных данных, отклонение не превышает 5%, что подтверждает возможность использования разработанных теоретических моделей для определения рациональных параметров процесса формирования ворсового покрытия аэродинамическим способом.

Таблица 4.11 – Теоретические и экспериментальные данные

Давление, подаваемое в аэродинамическое устройство, Па	140000	150000	160000	170000
Расстояние l_{QF} , определенное теоретически, м	0,50455	0,50507	0,50571	0,50635
Расстояние l_{QF} , определенное экспериментально, м	0,500	0,505	0,505	0,510

4.1.5.5. Исследование влияния аэродинамических параметров волокнистой частицы на траекторию ее движения под действием силы сжатого воздуха

Сумма сил, определяющих движение волокнистой частицы под действием сжатого воздуха состоит из двух основных слагаемых:

$$\Sigma F = F_c + P, \quad (4.49)$$

где F_c – сила аэродинамического сопротивления (сила Стокса);
 P – сила тяжести волокна массой m .

Движение волокнистой частицы при напылении происходит по реальной траектории, соответствующей кривой BC' (рисунок 4.20).

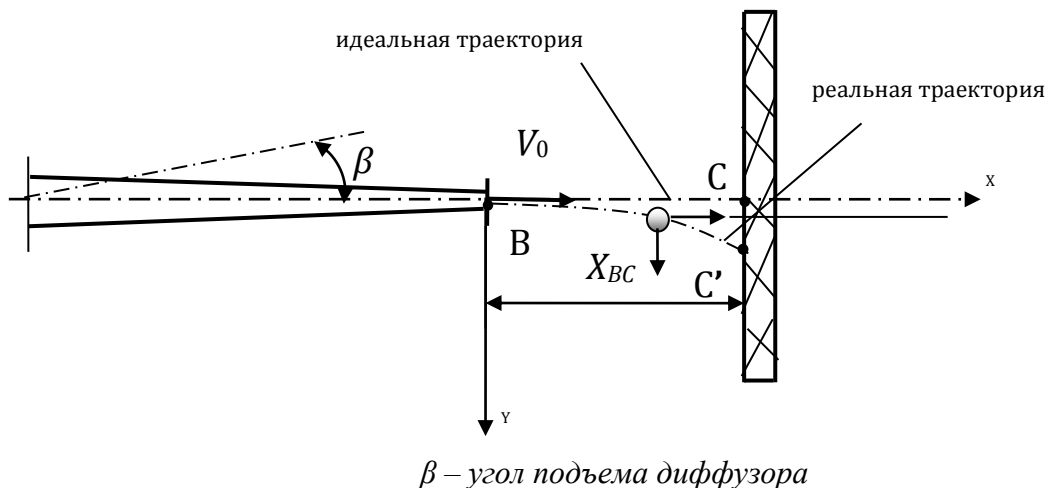


Рисунок 4.20 – Схема движения волокнистой частицы из диффузора

В момент отрыва волокно имеет скорость V_0 , которая определяется по формуле Сен-Венана (4.20).

Скорость движения волокна в направлении оси x V_x с учетом силы Стокса:

$$V_x = V_0 \exp\left(-\frac{3\pi d_3 \mu^*}{m}\right) t. \quad (4.50)$$

Скорость движения волокна в поле сил тяжести V_y :

$$V_y = g \cdot t. \quad (4.51)$$

Ускорение волокна в проекции на ось x :

$$a_x = -V_0 \frac{3\pi d_3 \mu^*}{m} e^{-\frac{3\pi d_3 \mu^*}{m} t}. \quad (4.52)$$

Ускорение волокна на ось y равно:

$$a_y = g. \quad (4.53)$$

Линейные координаты движения волокна соответственно равны:

$$\begin{aligned} x &= V_0 t - \frac{V_0 3\pi d_3 \mu^*}{m} e^{-\frac{3\pi d_3 \mu^*}{m} t} \\ y &= \frac{gt^2}{2} \end{aligned} \quad (4.54)$$

Решение системы (4.81) найдено численным методом. Расчет системы представлен в Приложении Е. Координата y соответствует отрезку CC' (рисунок 4.20). Угол подъема диффузора от линии горизонта можно определить из соотношения [6-А]:

$$\beta = \operatorname{arctg} \frac{y}{X_{BC}} \quad (4.55)$$

Расположение диффузора аэродинамического устройства под углом β обеспечит попадание волокнистой частицы массой m в точку C .

Экспериментально исследована зависимость поверхностной плотности слоистого ворсового материала PP от расстояния диффузора аэродинамического устройства по оси y , которое определяет угол расположения диффузора (рисунок 4.21). Получена следующая математическая модель [6-А]:

$$PP = 144.46 + 123.3y - 1023y^2 \quad (4.56)$$

При увеличении расстояния по оси y более $0,05 - 0,06$ м происходит снижение поверхностной плотности слоистого ворсового материала, что связано с необходимостью преодолевать большее аэродинамическое сопротивление.

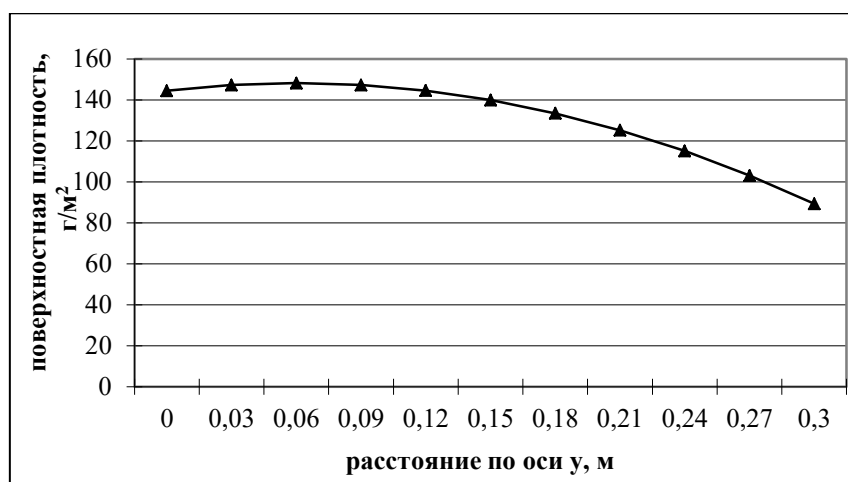


Рисунок 4.21 – Зависимость поверхностной плотности ворсового покрытия от угла расположения диффузора аэродинамического устройства ($P=0,15$ МПа, $X_{BC}=0,35$ м)

В результате дифференцирования уравнения (4.56) и приравниванием производной к нулю, получаем оптимальное расстояние по оси $y=0,06$ м, тогда по формуле (4.55) получим значение оптимального угла $\beta=6,84$ градуса.

В результате проведенных исследований траектории движения волокнистой частицы под действием силы сжатого воздуха с целью формирования ворсового покрытия с максимальным заполнением и равномерностью установлены и экспериментально подтверждены математические модели для определения параметров взаимного расположения полотна основы и распыляющего диффузора аэродинамического устройства с учетом аэродинамических параметров волокнистой частицы. При давлении, подаваемом в аэродинамическое устройство равном $0,15$ МПа [6-А]:

- расстояние от оси диффузора аэродинамического устройства до полотна основы $0,35$ м;
- угол положения диффузора аэродинамического устройства по отношению к горизонтальной оси 7° .

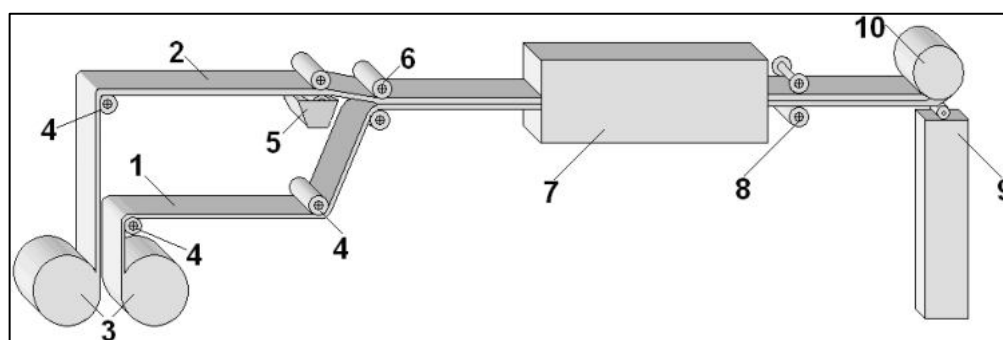
4.2. Технологии формирования слоистого материала с тканым покрытием

Совместно с д.т.н. Коганом А.Г. и к.т.н. Калиновской И.Н. разработана технология формирования слоистого материала с тканым покрытием [2-А, 26-А, 71-А, 79-А, 80-А, 99-А, 106-А]. Принципиальная схема формирования слоистого

текстильного материала клеевым способом с использованием тканых полотен представлена на рисунке 4.22.

Декоративное тканое полотно (1) и материал основы (2) с рулонной установки (3) через направляющие валики (4) подаются в узел нанесения полимерного связующего (5), где нанос полимерного связующего производится на полотно основы. После нанесения связующего валковым способом полотно проходит систему прижимных валиков (6), происходит формирование слоистого текстильного композиционного материала. Далее слоистый материал поступает в сушильную камеру (7), после обрезки кромки (8) и охлаждения подается на автомат 9 для размотки готового материала в потребительские рулончики 10.

Реализация принципиальной схемы формирования слоистых текстильных материалов декоративно-отделочного назначения осуществлялась в производственных условиях предприятий холдинга «Белорусские обои» (ОАО «Минская обойная фабрика» и ОАО «Гомельобои») на технологической линии для выпуска дуплексных обоев "Ламипринт-5" фирмы "Нексус Текнолоджи Корпорейшн" (Великобритания) (глава 7).



1 – декоративная ткань; 2 – полотно основы; 3 – рулонная установка; 4 – направляющие валики; 5 – узел нанесения связующего; 6 – система прижимных валиков; 7 – сушильная камера; 8 – узел обрезки кромки; 9 – автомат для размотки в потребительские рулончики; 10 – готовый слоистый материал

Рисунок 4.22 – Принципиальная схема формирования слоистых текстильных материалов клеевым способом

Проведена частичная модернизация линии в соответствии с новыми требованиями для формирования слоистого материала, состоящего из тканого полотна и нетканой основы, в частности, узел обрезки кромки [30-А].

При использовании в качестве декоративного слоя тканей разреженных структур возможно нанесение на полотно основы рисунка либо фона на флексографической машине способом высокой прямой ротационной печати - флексографской печатью.

Нанесение полимерного связующего на подготовленное полотно основы осуществляется валковым способом. Излишки нанесенного связующего снимаются раклей.

Для соединения и фиксации тканого полотна на поверхности основы предназначена секция прижимных валиков. Верхний валик имеет эластичное покрытие из синтетического материала, нижний изготовлен из стали. Давление сжатия влияет на прочность адгезионного соединения. С одной стороны, при увеличении усилия сжатия площадь контакта соединяемых поверхностей увеличивается с другой – возможно образование «голодных» спаек, а также выдавливание полимерного связующего на декоративный слой (тканое полотно) слоистого материала.

Сушка является важной операцией формирования слоистого текстильного материала. От выбора способа термообработки и рациональных параметров зависит качество готового материала. При определении оптимальных режимов термообработки пакета материалов, необходимо учитывать разницу в их тепловых и деформационных свойствах. Поэтому математическое моделирование процесса сушки и термообработки слоистых текстильных материалов является важной задачей исследования. После сушки, пройдя узел обрезки кромки слоистый текстильный материал разматывается в готовые потребительские рулончики.

Для придания слоистым текстильным материалам специальных свойств, например огне-, термостойкость, грязе-, водоотталкивание, антистатичность, а также дополнительных декоративных эффектов используется операция каландрирование [91-А]. При необходимости специальной отделки на линии устанавливаются каландры, в состав которых входят вертикально расположенные валы. В зависимости от вида получаемой отделки валы могут быть стальными, стальными с гравюрой или с эластичным покрытием.

Нанесение грязе-, водоотталкивающей отделки осуществляется следующим образом (рисунок 4.23).

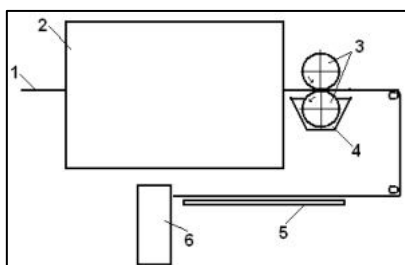


Рисунок 4.23 – Схема нанесения грязе-, водоотталкивающей отделки слоистых текстильных материалов

Слоистый материал 1 проходит сушильную камеру 2, затем на тканое полотно обогреваемыми стальными каландрами 3 наносится восковый состав (4). Каландры нагреваются до температуры плавления воска (60 – 65 °С). Затем слоистый текстильный материал с нанесенным покрытием охлаждается на столе-накопителе (5) и формируется в потребительские рулончики (6).

Для придания шелковистой отделки слоистый текстильный материал 1 проходит направляющие ролики 2 и каландры 4 и 5, закрепленные на станине 3 (рисунок 4.24). Каландр 5 имеет на поверхности гравюру в виде наклонных параллельных штрихов. Каландры обогреваемые.

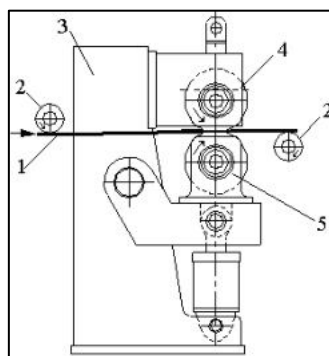


Рисунок 4.24 – Каландры для шелковистой отделки

Выбор оптимальной температуры поверхности валов зависит от тепловых свойств составляющих слоистый текстильный материал компонентов. При этом необходимо предотвратить усадку каждого и слоев, изменение свойств полимерного связующего и уменьшение адгезионной прочности соединения.

Одним из важных подготовительных этапов является выбор сырья для формирования тканого полотна – верхнего декоративного слоя. Импортные текстильные обои, как правило, производятся из химических волокон и нитей. Доля использования текстильных материалов из натуральных волокон (хлопок, лен и других) при создании слоистых композитов декоративно-отделочного назначения очень мала, что связано с трудоемкостью переработки натуральных волокон и дороговизной готовых материалов. Однако, при формировании слоистых текстильных материалов клеевым способом на существующем оборудовании использование тканых полотен из гидрофильных натуральных волокон (хлопок, лен) позволяет получать высокую прочность адгезионного соединения, которую невозможно обеспечить при использовании синтетических волокон и нитей. Для склеивания тканого полотна из синтетических волокон с нетканой основой требуется дополнительная специальная обработка, повышающая адгезионные свойства гидрофобных волокон, либо необходимо применять термоклеевой способ соединения материалов с использованием клеев - расплавов.

Основным сырьем Республики Беларусь является лен. Экологически чистые ткани из льняного волокна идеальный вариант для производства текстильных настенных покрытий. Перспективность использования льняных тканей объясняется следующим:

- лен обладает уникальными свойствами – антистатическими, противоаллергическими и антимикробными, высокий уровень звукопоглощения;
- интерес к льняным тканям и изделиям из них возрастает во всем мире, что создает предпосылки для воссоздания утраченной славы белорусского льна.

Особую актуальность приобретает задача использования низкосортного короткого льняного волокна. Короткое низкосортное льняное волокно, традиционно применяемое при изготовлении технических и тарных тканей, перспективно использовать при изготовлении модных конкурентоспособных интерьерных тканей.

В данной работе в качестве декоративного слоя для формирования слоистых материалов декоративно-отделочного назначения выбраны ткани из льняных и хлопчатобумажных волокон, физико-механические свойства которых представлены в таблице 4.12.

Таблица 4.12 – Физико-механические свойства тканей для слоистых материалов

Наименование параметра	Единица измерения	Ткань декоративная хлопкольняная	Ткань декоративная льняная
Переплетение	-	жаккардовое	полотняное
Ширина готовой ткани	см	160,0	106,0
Сырьевой состав			
-основа	-	хлопок	лен 100%
-уток		лен	лен 100%
Линейная плотность нитей:			
- основы	текс	50	317
- утка		87	317
Плотность ткани:			
- основа	нитей/ 10 см	262	48
- уток		198	34
Поверхностная плотность	г/м ²	265	270

Использование жаккардовых тканей позволяет улучшить художественно-колористическое оформление текстильных настенных покрытий, но приводит к значительному удорожанию готового материала.

Применение тканей разреженных структур из пряжи из короткого льняного волокна позволяет снизить стоимость. Дополнительно декорирование настенных покрытий может быть осуществлено путем нанесения печатного рисунка или

фона на бумажную основу, а также печати по готовому полотну или теснением гравированными валами.

Данный ассортимент тканей удовлетворяет эстетические потребности и обладает важными потребительскими свойствами: антибактериальными, запахопоглощающими, защищающими от ультрафиолетовых излучений.

При использовании слоистых текстильных материалов в качестве обоев важным фактором при проектировании тканой структуры является поверхностная плотность, значение которой не должно превышать 300 – 350 г/м² (согласно рекомендациям производителей данного вида продукции – предприятия холдинга «Белорусские обои»).

Таким образом, технологический процесс производства текстильных настенных покрытий включает следующие операции:

- установка используемых материалов на линию "Ламипринт-5";
- нанесение полимерного связующего на полотно основы;
- соединение тканого полотна и полотна основы;
- сушка и термообработка;
- специальная отделка (при необходимости);
- обрезка кромки и раскат в рулоны готового текстильного настенного покрытия.

С целью успешной реализации новой технологии текстильных настенных покрытий на существующем для выпуска дуплексных бумажных обоев оборудовании были поставлены следующие задачи:

- разработка рецептуры полимерного связующего для соединения различных по свойствам материалов - тканого полотна и полотна основы (флизелина или бумаги), обеспечивающей достаточную эластичность и прочность адгезионного соединения;
- оптимизация технологических параметров формирования слоистых текстильных материалов клеевым способом на линии «Ламипринт-5», определение угла подачи материалов и давления в секции прижимных валов при соединении материалов с различными деформационными свойствами - текстильного полотна и флизелиновой (бумажной) основы.

4.2.1. Разработка рецептуры полимерного связующего для соединения тканого полотна и нетканой основы при формировании слоистого материала

В результате исследований составов полимерных связующих при формировании слоистых материалов с ворсовым покрытием (раздел 4.1.2) рекомендованы в качестве основных компонентов полимерной композиции поливинилацетатная дисперсия (ПВА) и поливиниловый спирт (ПВС).

При использовании в качестве полимерного связующего композиций на основе ПВА, приготовленным по рецептам 1 и 2 (раздел 4.1.2) выявлена недостаточная прочность соединения тканого полотна с нетканой основой, для характеристики которой использован показатель прочность связи между слоями (ГОСТ 17317 - 88 Кожа искусственная. Метод определения прочности связи между слоями). Значение данного показателя для нового вида слоистого материала – текстильные настенные покрытия не гостится, поэтому в качестве аналога приняты композиционные многослойные текстильные материалы, используемые для пошива одежды (ГОСТ Р 56285-2014 Материал текстильный многослойный. Общие технические условия), а также рекомендации производителя «Белорусские обои» (г. Минск). Прочность соединения слоев должна быть не менее 3,5 Н/см, жесткость слоистого текстильного материала не более 25 сН.

Показатели жесткости слоистого материала и прочности соединения чистольняного тканого полотна (268 г/м^2) и бумажной (80 г/м^2) или флизелиновой (70 г/м^2) основы при использовании в качестве полимерного связующего ПВС с концентрацией 10,0% и ПВА с массовой долей сухого остатка 60% представлены на рисунке 4.25 [26-А, 64-А]. Анализ полученных результатов, показывает, что использование в качестве связующего ПВА не обеспечивает требуемые показатели прочности адгезионного соединения, а также показатель жесткости выше допустимого значения.

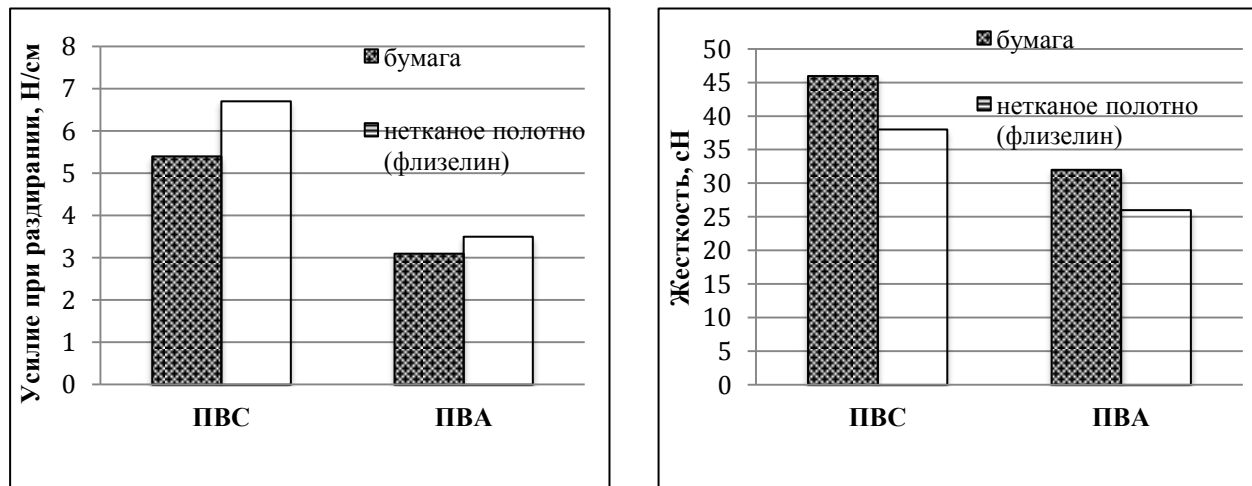


Рисунок 4.25 – Показатели жесткости и прочности адгезионного соединения слоистых материалов с тканым покрытием

Полимерное связующее на основе ПВС обеспечивает достаточный запас прочности адгезионного соединения. С целью уменьшения жесткости слоистого материала требуется исследовать возможность снижения концентрации раствора ПВС и содержания в нем пластификатора, сохранив прочность соединения слоев.

В результате исследования зависимости прочности соединения слоев от концентрации ПВС (рисунок 4.26) установлено, что для слоистого материала флизелиновая основа – льняное тканое полотно при концентрации поливинилового спирта 2 – 4% достигается необходимая прочность соединения слоев, для материала бумажная основа – льняное тканое полотно концентрация поливинилового спирта должна быть не менее 5 – 6%.

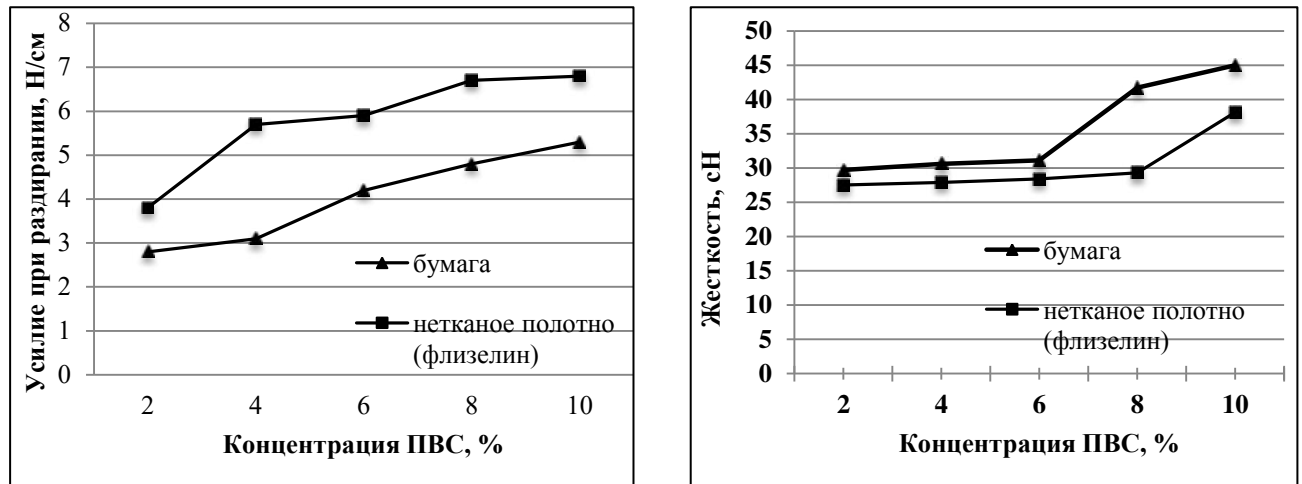


Рисунок 4.26 – Зависимость прочности адгезионного соединения и жесткости слоистых материалов с тканым покрытием от концентрации ПВС

Жесткость слоистого материала с тканым покрытием при этих значениях концентрации составляет 27 – 30 сН.

Так как, согласно рекомендациям производителя жесткость слоистых материалов, используемых в качестве текстильных настенных покрытий должна быть не более 25 сН, рекомендуется введение в полимерную композицию пластификатора. Лучшими пластификаторами для поливинилового спирта для промышленных целей являются: глицерин, ортофосфорная кислота, бутиленгликоль, триэтиленгликоль.

Ортофосфорная кислота кроме пластифицирующих, обладает антисептическими свойствами, поэтому для производства текстильных настенных покрытий выбрана пластифицирующая добавка - 85%-ная ортофосфорная кислота (H_3PO_4).

Проведены экспериментальные исследования зависимости прочности адгезионного соединения от содержания пластифицирующей добавки в полимерном связующем: для слоистого материала флизелиновая основа – льняное тканое полотно – 4 % ПВС; бумажная основа – льняное тканое полотно – 6% ПВС. Результаты исследования представлены на рисунке 4.27 .

Установлено, что при увеличении содержания ортофосфорной кислоты в полимерном связующем более 0,6% происходит падение значения показателя

усилия при раздирании ниже 4,0 Н/см. При содержании пластификатора 0,4% – 0,6% происходит уменьшение жесткости материала.

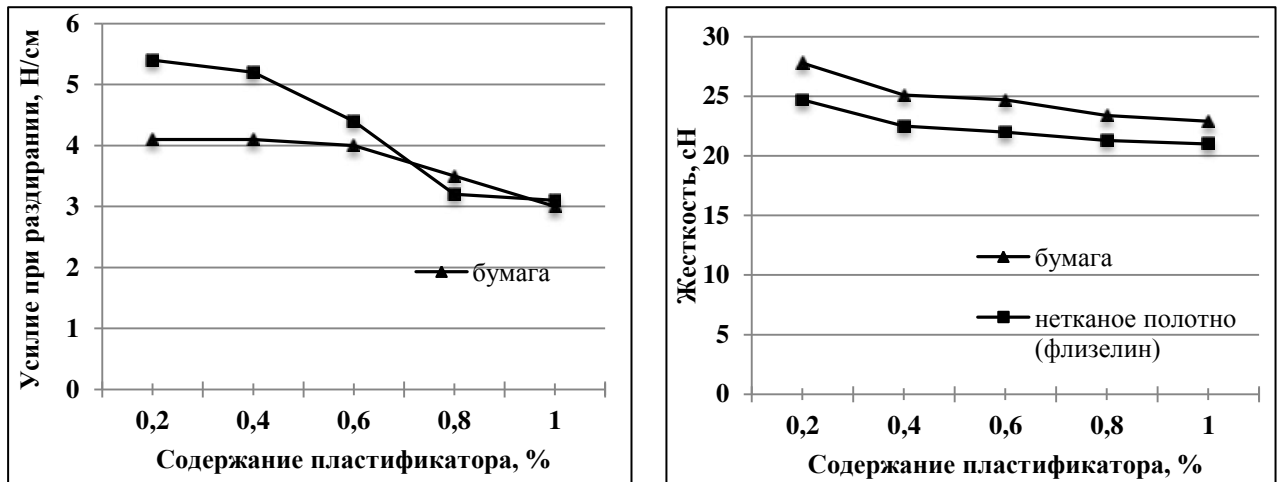


Рисунок 4.27 – Зависимость прочности адгезионного соединения от содержания пластифицирующей добавки

Дальнейший рост содержания ортофосфорной кислоты в полимерном связующем не вызывает заметных уменьшений жесткости, но при этом уменьшается показатель усилие при раздирании ниже допустимых значений.

Таким образом, в результате экспериментальных исследований определен и рекомендован состав полимерного связующего для формирования слоистых материалов с тканым покрытием клеевым способом [78-А]:

- для слоистого материала бумажная основа – льняное тканое полотно
 - поливиниловый спирт (6 %-ный) – 99,4-99,5 %
 - ортофосфорная кислота (85 %-ная) – 0,5-0,6 %
- для слоистого материала флизелиновая основа – льняное тканое полотно
 - поливиниловый спирт (4 %-ный) – 99,6-99,8 %
 - ортофосфорная кислота (85 %-ная) – 0,2-0,4 %

Существенное влияние на внешний вид, прочность адгезионного соединения и жесткость слоистого материала оказывает толщина пленки полимерного связующего. При соединении нетканых материалов с ткаными полотнами при изготовлении комбинированных материалов, используемых в швейном производстве, рекомендована толщина пленки клеевого связующего 0,13 – 0,20 мм для легких тканей (до 100 г/м²), 0,2 – 0,3 мм для средних (100-200 г/м²) и 0,3 – 0,5 мм для тяжелых (более 200 г/м²) тканей [10]. Формирование пленки заданной толщины осуществляется расходом полимерного связующего (4.37).

Проведены экспериментальные исследования зависимости прочности адгезионного соединения и жесткости слоистого материала декоративно-

отделочного назначения, состоящего из льняной ткани (270 г/м^2) и нетканого полотна основы (бумага, флизелин) от расхода полимерного связующего (рисунок 4.28 *а*, 4.28 *б*).

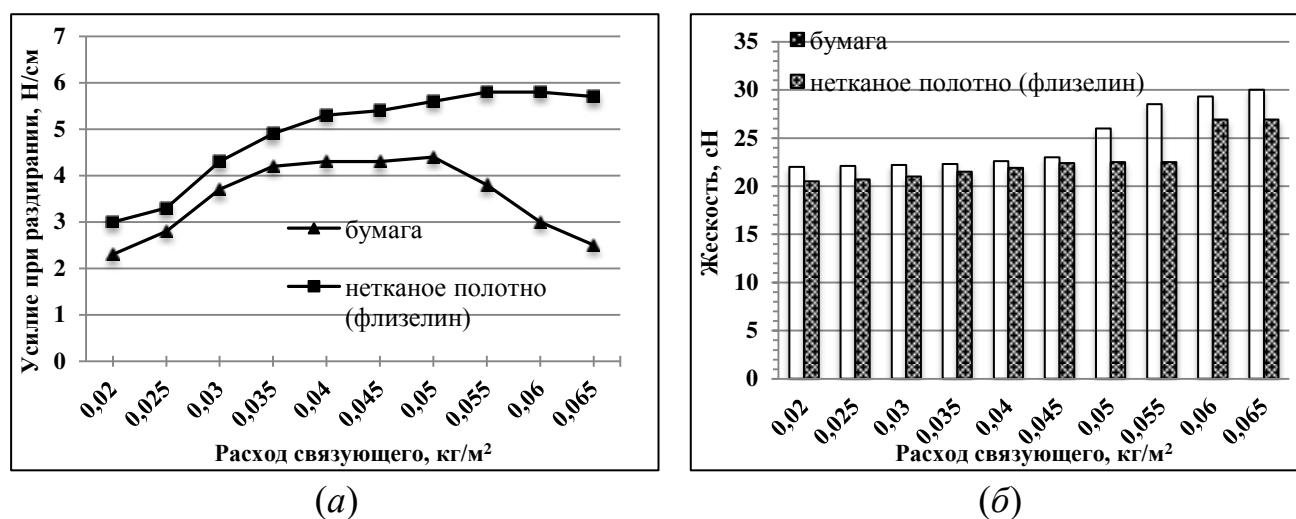


Рисунок 4.28 – Зависимость прочности адгезионного соединения (а) и жесткости (б) слоистого материала от расхода полимерного связующего

При расходе полимерного связующего, равного $Q_{кр}$ ($0,05 \text{ кг/м}^2$ – для бумажной основы и $0,06 \text{ кг/м}^2$ для флизелиновой основы) происходит его проникновение на лицевую сторону слоистого текстильного материала декоративно-отделочного назначения, что недопустимо. Уменьшение прочности адгезионного соединения тканого полотна и бумажной основы при увеличении расхода полимерного связующего выше $0,05 \text{ кг/м}^2$ объясняется изменением типа разрушения, происходит разрушение бумажного полотна.

Сопоставляя показатели прочности адгезионного соединения и жесткости можно рекомендовать для слоистых текстильных материалов, используемых в качестве настенных покрытий расход полимерного связующего при формировании:

- для слоистого текстильного материала бумажная основа – льняное тканое полотно – $0,045 - 0,05 \text{ кг/м}^2$;
- для слоистого текстильного материала флизелиновая основа – льняное тканое полотно – $0,055 - 0,06 \text{ кг/м}^2$.

4.2.2. Расчет угла подачи слоев и давления в узле склеивания при соединении материалов с различными деформационными свойствами

Важной задачей при выборе рациональных режимов формирования рулонных слоистых материалов клеевым способом является определение угла

поддачи и давления в секции прижимных валов при соединении материалов с различными деформационными свойствами.

После нанесения полимерного связующего на материал основы происходит его соединение с тканым полотном, которое осуществляется при прохождении материала через секцию прижимных валов (рисунок 4.29).

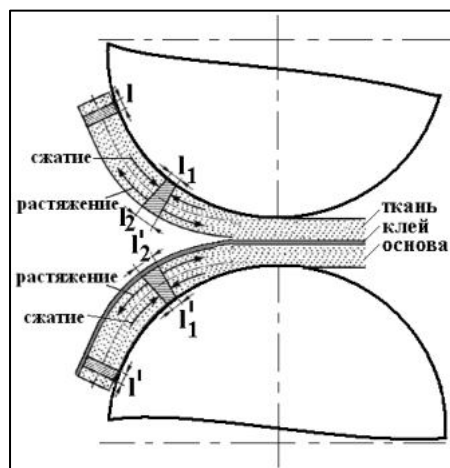
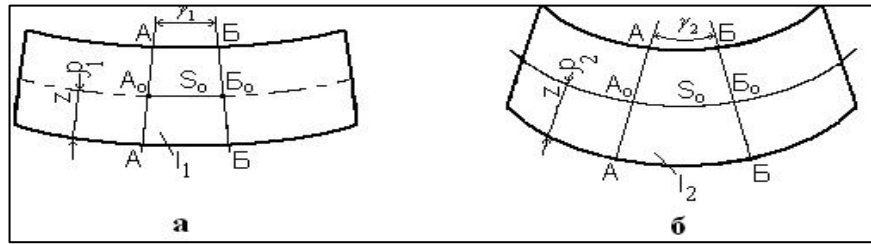


Рисунок 4.29 – Деформация соединяемых материалов при прохождении секции прижимных валов

При этом возникают различные деформации: растяжения из-за трения при прохождении через валы и изгиба из-за огибания валов. В результате действия указанных деформаций возникают дефекты слоистых текстильных материалов в виде складок, заминов. Это связано с различием в деформационных свойствах полотен: большая растяжимость тканого полотна по сравнению с материалом полотна основы, например, бумажным (флизелиновым).

При изгибе тканого полотна текстильные нити, находящиеся на его внутренней поверхности, испытывают деформации растяжения, а текстильные нити наружной поверхности – деформацию сжатия. В результате действия сжимающих и растягивающих усилий на элемент полотна основы и тканого материала толщины l' и l соответственно изменяются их линейные размеры. Деформированные волокна тканого декоративного полотна не успевают восстановиться до момента соединения с полимерным связующим, нанесенным на полотно основы, в результате после их релаксации возникают дефекты слоистого материала. Поскольку при формировании рулонного слоистого текстильного материала невозможно избежать деформаций, возникающих в соединяемых материалах при прохождении секции прижимных валов, необходимо определить условия при которых деформация и различие в деформации соединяемых слоев будут минимальными.

Определим деформацию слоя материала при изгибе (рисунок 4.30), имеющего толщину z и ограниченного нормальными поперечными сечениями $A - A'$ и $B - B'$, отстоящими по оси на расстоянии $A_0 B_0 = S_0$ [193].



а – материал в ненапряженном состоянии; б – материал в напряженном состоянии

Рисунок 4.30 – Деформация материалов при изгибе

Ось материала имеет радиус кривизны (мм/рад.):

- в ненапряженном состоянии (рисунок 4.30 а) [193]:

$$\rho_1 = \frac{S_0}{\gamma_1}; \quad (4.57)$$

- в напряженном состоянии (рисунок 4.30 б) [193]:

$$\rho_2 = \frac{S_0}{\gamma_2}; \quad (4.58)$$

где γ_1, γ_2 – углы кривизны оси материала в ненапряженном и напряженном состоянии соответственно, град.

Длина рассматриваемого слоя:

- в ненапряженном состоянии

$$l_1 = (\rho_1 + z)\gamma_1 = \left(1 + \frac{z}{\rho_1}\right) S_0; \quad (4.59)$$

- в напряженном состоянии

$$l_2 = (\rho_2 + z)\gamma_2 = \left(1 + \frac{z}{\rho_2}\right) S_0. \quad (4.60)$$

Учитывая выражения (4.57) – (4.60), относительное удлинение рассматриваемого слоя составит:

$$\varepsilon = \frac{l_2 - l_1}{l_1} = z \cdot \frac{1/\rho_2 - 1/\rho_1}{1 + z/\rho_1} = \frac{z \cdot K}{1 + z/\rho_2}, \quad (4.61)$$

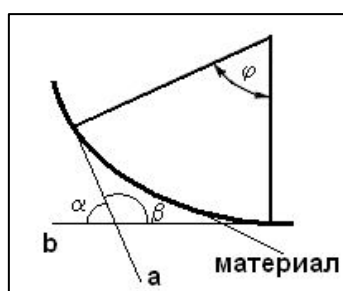
где $K = 1/\rho$ - кривизна оси ткани (рад/мм).

Поскольку l_2' основы не равно l_2 тканого материала, то величина относительного удлинения ε этих материалов также различна (таблица 4.13), что подтверждает наличие данного дефекта.

Из рисунка 4.31 очевидно, что существует зависимость между растяжимостью материала и углом его изгибания:

$$\beta = 360 - 90 - 90 - \varphi = 180 - \varphi, \quad (4.62)$$

$$\alpha = 180 - (180 - \varphi) = \varphi \quad (4.63)$$



α - угол подачи материала; φ - угол кривизны материала; a, b – касательные

Рисунок 4.31 – Определение угла подачи материала

Угол подачи материала определим исходя из формул (4.61) - (4.63), проделав простейшие преобразования:

$$\alpha = \frac{S_0 \cdot (z \cdot K - \varepsilon)}{z \cdot \varepsilon}, \quad (4.64)$$

Таблица 4.13 – Значения относительного удлинения материалов для слоистых текстильных материалов

Наименование слоя	Относительное удлинение, ε
Бумажное полотно	0,0033
Нетканое полотно (флизелин)	0,017
Ткань декоративная хлопкольняная (жаккардовая)	0,033
Ткань декоративная льняная	0,067

Произведем расчет угла подачи ткани (φ) на линии технологической линии "Ламипринт-5" по следующим исходным данным:

- длина участка материала до изгиба (S) – 4,5 мм;

- относительное удлинение материала, при котором отсутствует эффект стягиваемости (ε) – 0,003 (0,3 %);
- кривизна оси ткани (K) – 0,02 град./мм;
- расстояние деформированного слоя ткани от нейтральной оси (z), 0,3 мм.

$$\varphi = \frac{4,5(0,3 \cdot 0,02 - 0,003)}{0,3 \cdot 0,003} = 15 \text{ (град.)}$$

Учитывая, что при производстве дуплексных бумажных обоев на технологической линии “Ламипринт - 5” угол подачи материалов в узел склеивания составляет 45 градусов, рекомендуется уменьшить до 15 градусов при соединении полотен с различными деформационными свойствами (бумага -ткань), что позволит устранить дефект стягиваемости материалов, не прибегая к внесению конструктивных изменений в технологической линии.

Другим фактором, влияющим на качество готового декоративного материала, является давление склеивания. Влияние давления определяется развитием двух конкурирующих процессов. С одной стороны, увеличивается площадь контакта между склеиваемыми полотнами, происходит удаление пузырьков воздуха из пор текстильного материала и быстрее достигается заданная глубина проникновения полимерного связующего в пористую структуру текстильного материала, с другой, возникает опасность проникновения на лицевую поверхность материала.

Значение давления склеивания определяется свойствами соединяемых слоев и полимерного связующего. Используя алгоритм прогнозирования прочности адгезионного соединения при формировании слоистого текстильного материала под действием внешнего давления, представленный в разделе 3.3.2.3 диссертационной работы, осуществлен выбор давления склеивания, необходимого для проникновения полимерного связующего на заданную глубину.

С целью оценки возможности использования разработанных математических моделей кинетики пропитки тканых полотен под действием внешнего давления для расчета рациональных технологических параметров реального процесса проведено сопоставление расчетных значений давления склеивания и экспериментальных. Экспериментальные исследования процесса склеивания проведены в производственных условиях ОАО «Минская обойная фабрика» на технологической линии “Ламипринт - 5” [82-А].

Условия эксперимента

- основа - нетканый материал (флизелин) поверхностной плотности 70 г/м²;
- декоративное полотно – льняная ткань поверхностной плотности 268 г/м²;

- клеевая композиция – поливиниловый спирт (4 %) – 99,6-99,8 %
ортофосфорная кислота (85 %) – 0,2-0,4 %
- расход клеевого связующего – 0,05 кг/м²;

В качестве входных параметров были приняты:

- X_1 – давление прижимных валиков, (P), кПа;
- X_2 – скорость движения полотна, V , м/с.

Исследуемым параметром являлось важнейшее свойство слоистого материала с тканым покрытием:

- Y_1 – прочность адгезионного соединения, Н/см.

Уровни и интервалы варьирования факторов приведены в таблице 4.14.

Таблица 4.14 – Интервалы и уровни варьирования факторов

Наименование фактора	Обозначение	Уровни варьирования			Интервал варьирования
		-1	0	1	
Давление прижимных валиков, Па	X_1	20000	25000	30000	5000
Скорость движения полотна, м/с	X_2	0,1	0,3	0,5	0,2

Эксперимент проводился по плану-матрице Коно. План и результаты эксперимента приведены в таблице 4.15. Обработка результатов эксперимента проводилась с использованием программы Statistica for Windows.

Таблица 4.15 – План и результаты экспериментальных исследований зависимости прочности адгезионного соединения от давления прижимных валиков и скорости движения полотна

№	Кодированные значения		Натуральные значения		Прочность адгезионного соединения, P_c , Н/см
	X_1 ,	X_2 ,	X_1 , Па	X_2 , м	
1	1	1	30000	0,5	5,1
2	-1	1	20000	0,5	2,8
3	1	-1	30000	0,1	6,9
4	-1	-1	20000	0,1	4,7
5	1	0	30000	0,3	6,1
6	-1	0	20000	0,3	4,5
7	0	1	25000	0,5	4,6
8	0	-1	25000	0,1	4,8
9	0	0	25000	0,3	4,6

Получена следующая регрессионная модель:

$$P_c = 4,37 + 1,12X_1 - 0,8X_2 + 0,55X_1^2 \quad (R^2 = 0,98) \quad (4.65)$$

Графическая интерпретация полученной модели представлена на рисунке 4.32.

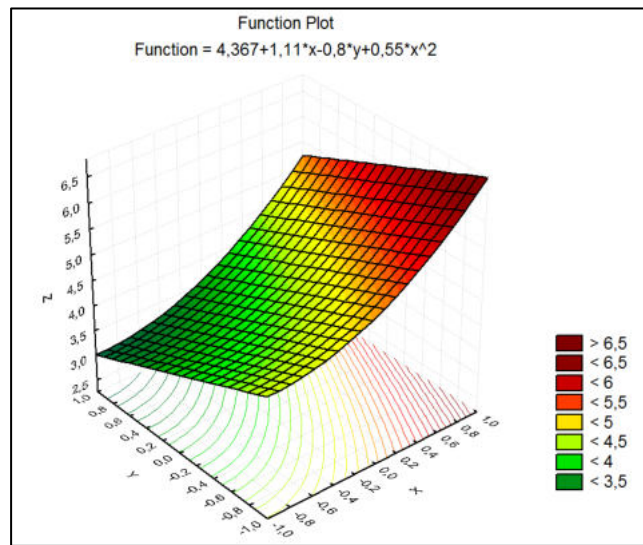


Рисунок 4.32 – Зависимость прочности адгезионного соединения от давления прижимных валиков (X_1) и скорости движения полотна (X_2)

Анализ полученной зависимости показывает, что прочность адгезионного соединения возрастает при увеличении давления прижимных валиков. При увеличении скорости уменьшается, что объясняется уменьшением толщины полимерной пленки, при $V > 0,4$ м/с и $P = 20 - 22$ кПа прочность адгезионного соединения снижается ниже нормируемого для текстильных настенных покрытий значения 3,5 Н/см.

Сравнение экспериментальных и расчетных значений давления склеивания, полученных при решении уравнений (3.97) и (3.99) (раздел 3.3.2.3), подтверждает правомерность использования разработанных математических моделей для технологических расчетов.

В результате теоретических и экспериментальных исследований выбраны и рекомендованы рецептуры полимерного связующего, а также установлены оптимальные параметры формирования слоистых текстильных материалов декоративно-отделочного назначения – текстильных настенных покрытий на технологической линии «Ламипринт – 5» [26-А, 43-А]:

- состав полимерного связующего:
 - ПВС (4-6%-ный раствор) – 99,4 – 99,8 %;
 - пластификатор (85%-ная H_3PO_4) – 0,2 – 0,6 %;
- угол подачи материалов в узел склеивания – 15 градусов;
- давление прижимных валиков – 25 – 30 кПа;
- скорость движения полотна – 0,3 – 0,5 м/с.

4.3. Технология формирования комбинированных каркасных текстильных материалов способом пропитки декоративных тканых полотен

Перспективным направлением развития способов формирования комбинированных текстильных материалов является создание новых сокращенных или «коротких» производственных цепочек, базирующихся на текстильных технологиях, позволяющих одновременно придавать комплекс специальных свойств и многофункциональность [93-А, 96-А].

Известны специальные виды отделки текстильных полотен [159, 92-А], которые применяют, во-первых, для снижения или устранения недостатков, присущих тканям определенного сырьевого состава (малосминаемая отделка, легкое глажение); во-вторых, для придания дополнительных потребительских важных свойств (водоотталкивающая и водонепроницаемая, антистатическая, грязеотталкивающая, противогнилостная, огнезащитная отделка); в-третьих, для создания каких-либо эффектов, улучшающих эстетические свойства (стойкое тиснение, гофре, форниз, металлизация, флокирование и других).

Основным свойством, отличающим комбинированный каркасный текстильный материал от ткани со специальными свойствами является жесткость и формоустойчивость, которая формируется пропиткой тканых полотен жесткими несмываемыми аппретами. Для комбинированных материалов в зависимости от целевого назначения необходимо придание специальных свойств таких как: грязе-, водоотталкивание, термо-, огнестойкость, антистатичность и др. Многофункциональность обеспечивается за счет пропитки растворами или дисперсиями с различной концентрацией аппрета и, соответственно, формирование требуемой для данного материала жесткости. Декоративные свойства определяются рисунком ткацкого переплетения, а также различными эффектами, которые создаются на поверхности материала в процессе дополнительных операций, в частности каландрирования.

Способ реализован по двум схемам, последовательность операций которых представлена на рисунках 4.33. Согласно схемы 1 тканое полотно формируется при подаче нитей основы со шпулярника, при этом ткани имеют разреженную структуру. Схема 2 позволяет получать ткани любой плотности, нити основы поступают со сновального валика. Важным преимуществом разработанных технологий является сокращение числа операций, за счет формирования комбинированного материала на высокопроизводительной поточной линии агрегированной из шпулярника, сновального валика, ткацкого станка, пропиточной установки и сушильной камеры («ткацкий станок – пропитка») [53-А, 54-А, 55-А, 58-А, 70-А, 72-А].

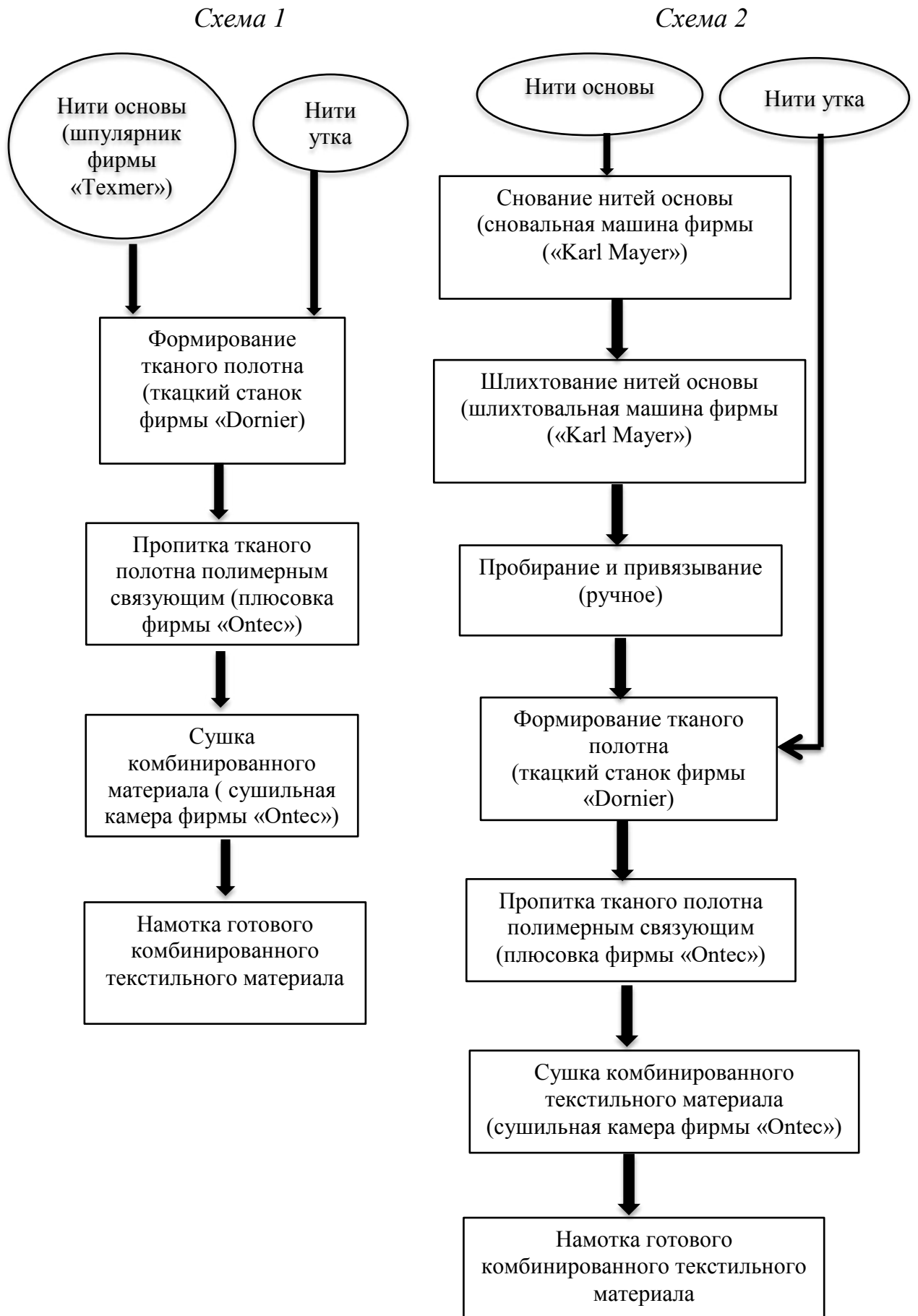


Рисунок 4.33 – Формирование каркасных текстильных материалов

При формировании комбинированных материалов способом пропитки тканого полотна полимерным связующим использование в качестве сырья пряжи из натуральных волокон нецелесообразно так как после пропитки на поверхности волокон образуется полимерное покрытие. Выбор сырья проводился с учетом следующих требований:

- высокие прочностные характеристики, так как формирование материала осуществляется на высокопроизводительной поточной линии;
- возможность создания объемной структуры и рустикальной поверхности.

Эти требования могут быть удовлетворены за счет использования многофиламентных химических нитей большой линейной плотности (100 – 500 текс): вискозных, полиэфирных, полиамидных нитей.

Текстильные материалы из синтетических нитей обладают высокой устойчивостью к истиранию, износостойкостью, простотой ухода, стойкостью окраски. Недостатком является способность накапливать статическое напряжение, а также они имеют невысокую воздухопроницаемость и являются гидрофобными. Материалы из искусственных нитей гигроскопичны, воздухопроницаемы, но легко сминаемы. С учетом перечисленных требований, осуществлен анализ рынка отечественной сырьевой базы, а именно химические нити, вырабатываемые на ОАО «Светлогорск Химволокно», ОАО «Гродно Химволокно» и ОАО «Могилевхимволокно»

В качестве сырья при производстве комбинированных каркасных текстильных материалов декоративно-отделочного назначения выбраны вискозные комплексные нити линейной плотности 195 и 390 текс, а также полиамидные комплексные нити линейной плотности 195 и 380 текс.

Выбор вида переплетения для тканых полотен, используемых в качестве декоративных по сокращенной технологии ограничен возможностями используемого ткацкого оборудования – станка PTS 4/S16 фирмы «Dornier», который не позволяет вырабатывать сложные структуры. Технические характеристики ткацкого станка представлены в таблице 4.16. Поэтому в качестве основных переплетений выбраны классические группы ткацких переплетений, которые обеспечат фактурность вырабатываемого текстильного полотна – комбинированные переплетения (креповые и просвечивающие). Креповые переплетения образуют мелкозернистую поверхность, которая имитирует эффект, создаваемый нитями креповой крутки. Просвечивающие или канвовые переплетения образуют на поверхности тканого полотна клетки из просвечивающих полос, получающихся сочетанием длинных перекрытий, стягивающих нити в группы, с полотняным переплетением, разъединяющим эти группы. В местах разъединения нитей и образуются просветы.

Таблица 4.16 – Технические характеристики рапирного ткацкого станка PTS 4/S16 фирмы «Dornier»

Наименование параметра	Значение параметра
Система прокладывания утка	жесткая рапира
Рабочая ширина станка, см	320,00
Максимальная проборка в бердо, см	311,00
Рабочая частота вращения главного вала, мин ⁻¹	400,00
Скорость ввода утка, м/мин	1200,00
Механизм отпуска основы	электронный
Механизм установки плотности ткани по утку/диапазон, нит/см	электронный/0,50–7,70
Отклонение плотности ткани по утку, нит/см	±0,01
Отвод ткани на станке	периодический
Зевобразовательный механизм	электронная каретка фирмы «STAUBLI»
Кромка ткани	отрезная
Устройство отрезания кромки	механическое (ножницами)
Длина уточной нити в отрезной кромке, мм	30,00
Потребление сжатого воздуха для автоматической смазки рапир, м ³ /час, не более	13,00
Установленная мощность, кВт, не более	6,20
Уровень шума, дБ, не более	80,00
Автоматическое управление технологическими параметрами	скорость станка, натяжение и отпуск нитей основы, плотность нитей по утку

Физико-механические свойства тканей для формирования комбинированных текстильных материалов представлены в таблице 4.17.

Таблица 4.17 – Физико-механические свойства тканей для комбинированных текстильных материалов

Наименование параметра	Комбинированное переплетение на базе репса 4/4	Креповое переплетение на базе полотняного	Креповое переплетение
Линейная плотность нитей, текс: – основы – утка	вискоза 195,0 / полиамид 195,0 вискоза 390,0 / полиамид 380,0		
Ширина суровой тканой основы, см	282,4		
Плотность, нит/ 10 см: – по основе – по утку	80,0 62,0	87,0 62,0	85,0 62,0
Поверхностная плотность, г/м ²	410,0	460,0/	417,0
Разрывная нагрузка, Н: – по основе – по утку	1396,0 1970,0	1518,4 1473,6	1678,0 1346,0
Разрывное удлинение, %: – по основе – по утку	21,7 17,9	18,4 15,1	5,2 11,8

При разработке технологии формирования комбинированных каркасных текстильных материалов непрерывным способом пропитки тканых полотен на поточной линии, необходимо решить следующие задачи:

- провести обоснованный выбор полимерного связующего для формирования свойств, которые обеспечивают изготовление готовых материалов и изделий (технологичность);
- провести экспериментальные исследования скорости и полноты самопроизвольной пропитки тканых полотен из химических нитей, установить рациональные технологические режимы пропитки при непрерывной подаче тканого полотна с ткацкого станка на пропитку;
- разработать рецептуры полимерных композиций, придающих специальные свойства и многофункциональность комбинированным текстильным материалам.

4.3.1. Выбор полимерного связующего для формирования комбинированных каркасных текстильных материалов способом пропитки

Одним из главных свойств, характеризующих каркасный текстильный материал и отличающий его от текстильного материала является жесткость (каркасность, формоустойчивость). Сочетание текстильного материала и полимерного связующего приводит к созданию нового материала – комбинированного каркасного текстильного материала, свойства которого существенно отличаются от образующих его компонентов.

Состав полимерного связующего зависит от конкретного назначения, свойств, предъявляемых к готовому материалу, а также имеющегося оборудования. В результате анализа литературных источников установлены требования, к полимерным связующим при формировании комбинированных материалов декоративно-отделочного назначения. Основными из них являются: малая вязкость, высокая адгезионная способность к текстильному материалу, нетоксичность, а также должны обеспечивать жесткость и упругость композиционного, сохраняя при этом мягкость и эластичность текстильного материала. Этим требованиям отвечают и широко используются для обработки текстильных материалов водные дисперсии на основе поливинилацетата, бутадиен - стирола, стирол - акрилата, акрилата.

На мировом рынке ассортимент водных дисперсий для пропитки текстильных полотен различного сырьевого состава с целью придания жесткости представлен фирмами: «BASF's Softeners Universe system», «MFK Chemical Corporation», фирма «Clariant» и др. Общая характеристика полимерных связующих, выбранных для исследования пропитки тканых полотен с целью придания жесткости представлена в таблице 4.18.

Таблица 4.18 – Характеристика препаратов для формирования комбинированных каркасных текстильных материалов

Наименование препарата	Химический состав	Описание продукта
Stabiform 588 ф. «MFK Chemical Corporation»	дисперсия поливинилацетата с пластификатором	Средство для водостойкой, жесткой, наполненной пропитки и для покрытий
Stabiform 691 ф. «MFK Chemical Corporation»	дисперсия поливинилацетата	Средство для водостойкой, жесткой, наполненной пропитки и для покрытий
Stabicryl 1009 ф. «MFK Chemical Corporation»	дисперсия винилацетат этилен сополимера	Для покрытия и заключительной пропитки, с формостабильными свойствами
Appretan №9616 ф. «Clariant»	дисперсия стирол-акрилата	Модификатор грифа, обеспечивающий перманентный жесткий гриф, термопластичный, обеспечивает закрепление ворса, сшивание (склеивание)

С целью выбора препарата, обеспечивающего заданные значения жесткости и возможность варьировать этим показателем, проведены экспериментальные исследования зависимости технологических свойств готового материала от концентрации полимерного связующего при следующих условиях [51-А, 57-А, 62-А]:

- температура пропитки – 20 °С;
- продолжительность пропитки – 5 минут;
- отжим – 0,4-0,5 МПа;
- сушка при температуре 120 °С, продолжительность – 3-5 минут.

Определение жесткости проводилось в соответствии ГОСТ 8977-74. Результаты исследований представлены на рисунке 4.34 .

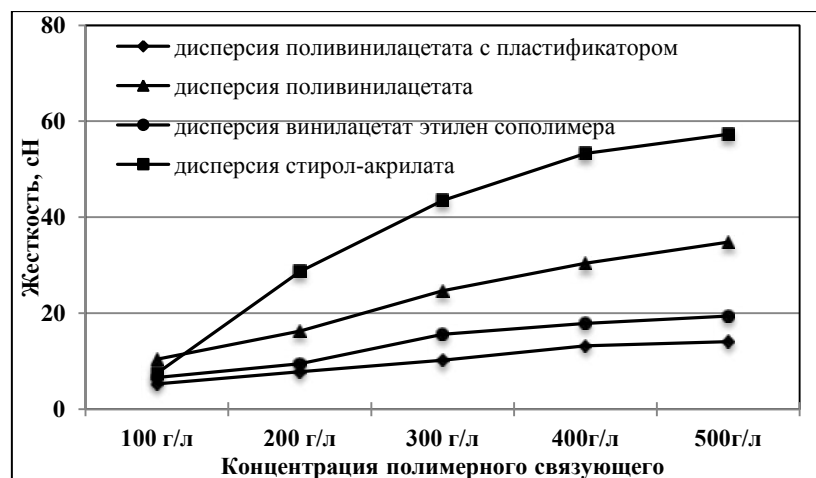


Рисунок 4.34 – Зависимость жесткости каркасного текстильного материала от вида полимерного связующего

Анализ результатов исследований показывает, что в интервале концентраций 100 – 500 г/л препарат Appretan №9616 (ф.«Clariant») изменяет жесткость готового материала в широком диапазоне 5 – 60 сН, Stabiform 691(ф.«MFK Chemical Corporation») в диапазоне 10 – 35 сН, Stabiform 588 Stabicryl 1009 в диапазоне 5 – 20 сН.

С практической точки зрения удобно использовать один препарат, который позволяет, варьируя концентрацией, получать готовый материал в широком диапазоне показателя жесткости для различного назначения. Таким образом, могут быть рекомендованы препараты Appretan №9616 (ф.«Clariant») и Stabiform 691(ф.«MFK Chemical Corporation»).

Чем выше жесткость комбинированного материала, тем ниже его способность принимать форму готового изделия, большая вероятность образования складок и заломов, что усложняет получение готовых изделий. Поэтому важным показателем технологических свойств является показатель несминаемости – свойство материала сопротивляться смятию и восстанавливать первоначальное состояние после снятия усилия, вызвавшего его изгиб.

Исследование показателя несминаемости образцов комбинированного материала, полученного с использованием препаратов Appretan №9616 (ф.«Clariant») и Stabiform 691(ф.«MFK Chemical Corporation») проводили в соответствии с методикой, изложенной в ГОСТ 19204-73 Полотна текстильные. Метод определения несминаемости. Результаты представлены на рисунке 4.35.

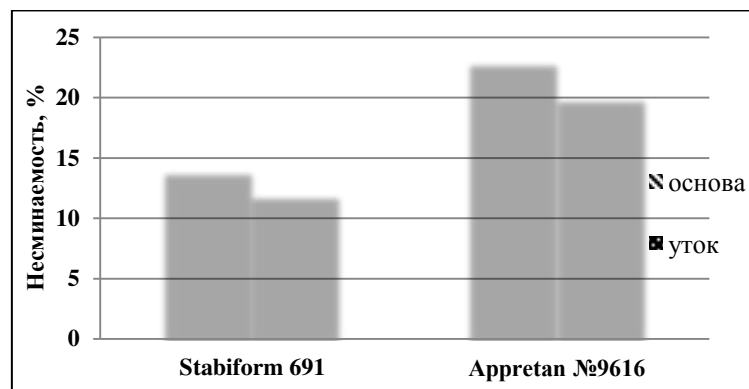


Рисунок 4.35 – Зависимость показателя несминаемости от вида полимерного связующего

Как видно, наилучшие технологические показатели (жесткость и несминаемость) имеют материалы, полученные с использованием препарата Appretan №9616 (ф.«Clariant»). Для дальнейших исследований выбран препарат Appretan №9616 (ф.«Clariant»), свойства которого представлены ранее в таблице 3.7 (раздел 3.3.1.1).

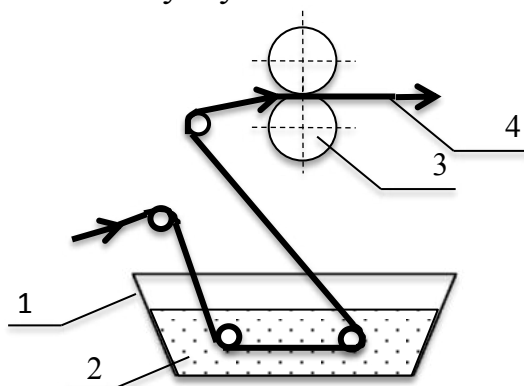
Зависимость жесткости каркасного текстильного материала от концентрации водной дисперсии стирол-акрилата $G=f(c)$ хорошо аппроксимируется следующим уравнением:

$$G = 31,9 \ln(c) - 139,6 \quad (R^2 = 0,99) \quad (4.66)$$

Полученное уравнение позволяет управлять жесткостью материала в зависимости от его назначения, задавая необходимую концентрацию полимерного связующего.

4.3.2. Экспериментальные исследования самопроизвольной пропитки тканого полотна водной дисперсией стирол-акрилата

С ткацкого станка декоративное тканое полотно направляется в плюсовку, состоящую из подогреваемой пропиточной ванны и регулируемых отжимных валов (рисунок 4.36). Пропитка тканого полотна полимерным связующим осуществляется способом «в окунку».



1 – ванна с полимерным связующим; 2 – полимерное связующее; 3 – отжимные валы; 4 – тканое полотно

Рисунок 4.36 – Принципиальная схема плюсовки

При прохождении тканого полотна в течении заданного времени через пропиточную ванну происходит заполнение капиллярно-пористой структуры волокнистого материала полимерным связующим. Затем пропитанное тканое полотно поступает к отжимным валам, которые отделяют излишки связующего из пор. После отжима лишнее связующее возвращается в пропиточную ванну.

Технические характеристики плюсовки:

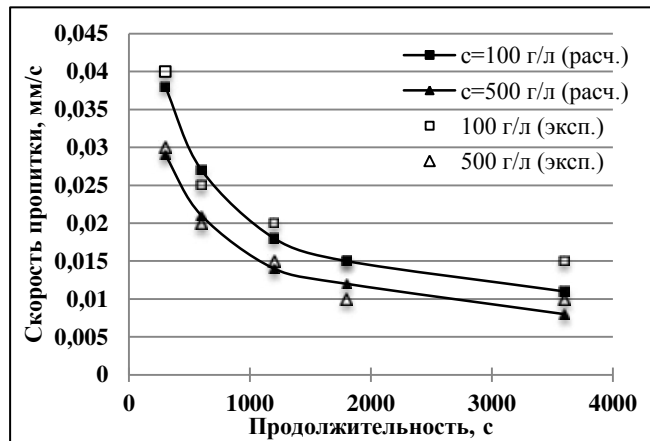
- емкость пропиточной ванны – 70 л;
- температура подогрева - 20 – 60⁰С;
- температура поддерживается с точностью ±2;
- отжимные валы с хромированным покрытием, зазор между валами регулируется.

Для оценки возможности использования полученных в разделе 3.3.1 математических моделей кинетики пропитки и определения продолжительности процесса проведены экспериментальные исследования зависимости скорости пропитки от геометрических свойств тканых полотен крепового и просвечивающего переплетения из вискозных и полиамидных нитей и свойств полимерного связующего [11-А].

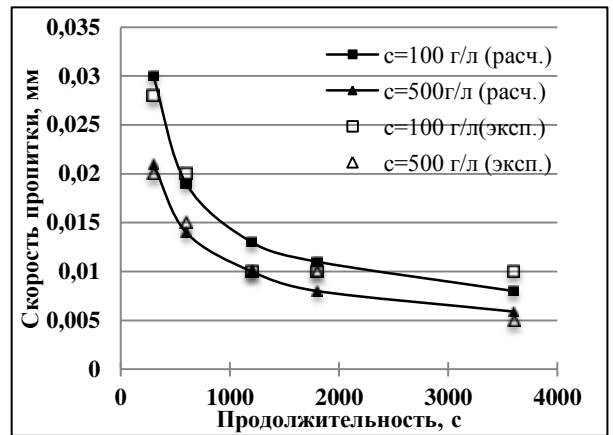
Условия эксперимента:

- концентрация водной дисперсии стирол-акрилата – $c = 100$; $c = 500$ г/л;
- температура пропитки – 20 °С.

Высота капиллярного подъема определялась согласно ГОСТ 29104.11–91 [171]. Экспериментальная кинетическая кривая получена путем дифференцирования экспериментальных данных высоты капиллярного подъема. Графические зависимости скорости пропитки тканых полотен просвечивающего и крепового переплетений представлены на рисунках 4.37, 4.38.

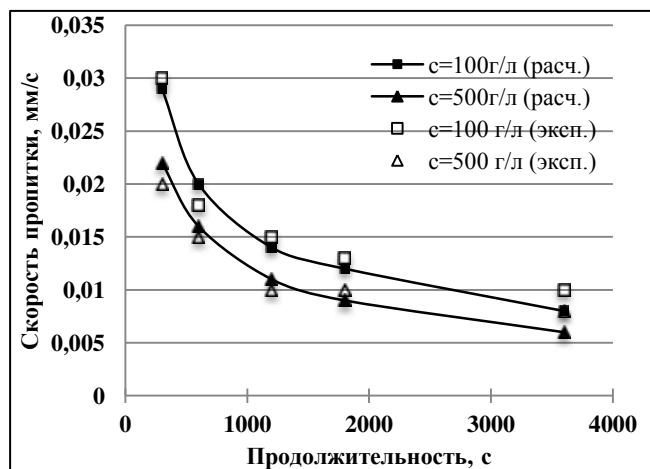


(а)

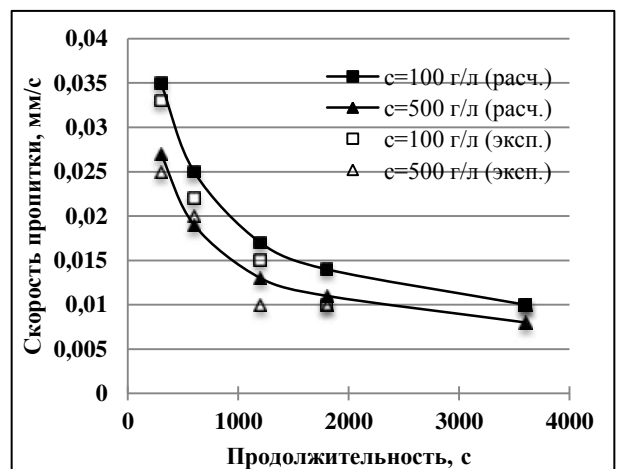


(б)

Рисунок 4.37 – Зависимость скорости от продолжительности пропитки тканых полотен просвечивающего переплетения из вискозных (а) и полиамидных (б) нитей



(а)



(б)

Рисунок 4.38 – Зависимость скорости от продолжительности пропитки тканых полотен крепового переплетения из вискозных (а) и полиамидных (б) нитей

Анализ результатов экспериментальных исследований показал, что при одинаковых условиях пропитки (концентрация полимерного связующего и температура пропитки постоянны) скорость зависит от геометрических характеристик ткани:

- при пропитке тканых полотен просвечивающего переплетения происходит заполнение сквозных пор, скорость пропитки вязкозных полотен выше, чем полиамидных, что объясняется большим размером пор вязкозных тканей;
- при пропитке полотен крепового переплетения происходит заполнение межнитевых пор комплексных нитей, при этом скорость выше для полотен из полиамидных нитей, которые имеют меньшую пористость;
- для вязкозных полотен скорость пропитки тканей просвечивающего переплетения выше, чем крепового.

Относительное отклонение экспериментальных значений от расчетных не превышает 7%, что подтверждает правомерность использования закона капиллярной пропитки и адекватности полученных ранее математических моделей для расчета скорости самопроизвольной пропитки тканых полотен из химических нитей, имеющих общую пористость 0,55 – 0,90, при заданных параметрах процесса – концентрации полимерного связующего и температуры пропиточной ванны.

Как видно, с наибольшей скоростью пропитка протекает в течении 300 – 600 с, тогда рекомендуемая скорость движения тканого полотна через пропиточную ванну 0,15 – 0,20 м/мин.

При разработке технологии пропитки тканого полотна водными дисперсиями полимерных связующих важным показателем является полнота пропитки, которая характеризуется количеством сухого остатка пропитывающей дисперсии, отложившейся в материале после прохождения пропиточной ванны. Проведены экспериментальные исследования зависимости содержания полимерного связующего в тканом полотне просвечивающего переплетения из вязкозных нитей от температуры пропиточной ванны и концентрации полимерного связующего [2-А, 15-А, 66-А, 68-А].

Процентное содержание адсорбированной дисперсии с размером частиц дисперсной фазы 100-140 нм в объеме тканого полотна для концентраций полимерной композиции 100 и 500 г/л при температуре процесса пропитки 20, 40 и 60 °С определяли «методом сухого привеса» [46]. Взвешенный образец тканого полотна 10×10 см пропитывали, затем высушивали и снова взвешивали. Привес (величина адсорбции), выраженный в процентах от массы исходного материала, служит количественной характеристикой сорбционных свойств полимерного связующего. Результаты экспериментальных исследований представлены на рисунках 4.39, 4.40.

Анализ представленных графических зависимостей показывает, что повышение концентрации водной дисперсии полимерного связующего увеличивает содержание дисперсной фазы в волокнистом материале. Процесс адсорбции протекает с высокой скоростью в начальный период пропитки материала (в течение 2 – 4 минут). Далее механизм и скорость переноса вещества зависят от концентрации дисперсии и температуры пропитки: величина адсорбции тем выше, чем выше концентрация и температура. Однако, необходимо отметить весьма незначительное влияние температуры в интервале 20-60⁰С на кинетику процесса. Максимальная величина адсорбции стирол-акрилатной дисперсии концентрации 100 г/л от температуры не зависит.

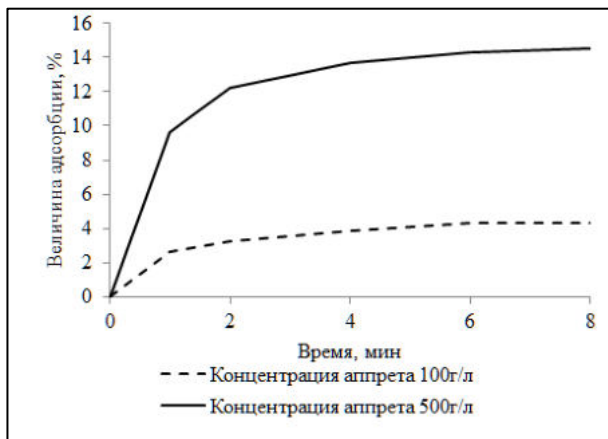


Рисунок 4.39 – Кинетические кривые адсорбции полимерного связующего различной концентрации пропиточной ванны на тканом полотне

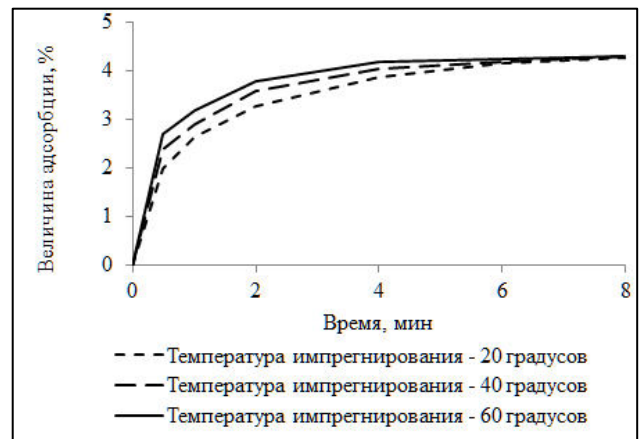


Рисунок 4.40 – Кинетические кривые адсорбции полимерного связующего на тканом полотне при различной температуре пропитки

Скорость адсорбции зависит от структуры тканого полотна: чем больше плотность тканого полотна, тем быстрее наступает адсорбционное равновесие. Увеличение сквозной пористости тканого полотна приводит к замедлению процесса адсорбции (рисунок 4.41).

Равновесное значение величины адсорбции меньше у тканого полотна с большей сквозной пористостью. Частично дисперсные частицы, имеющие малые размеры по сравнению с размерами пор, образующихся между нитями основы и утка, проходят не контактируя с волокнистым материалом.

Величина частиц дисперсной фазы имеет большое значение, так как агрегативная и сорбционная устойчивости любой дисперсии являются функциями ее дисперсности. Более крупные частицы сорбируются волокном лучше, чем мелкие. Однако с возрастанием размера частиц уменьшается равномерность их отложения на волокне, что отрицательно влияет на свойства материала.

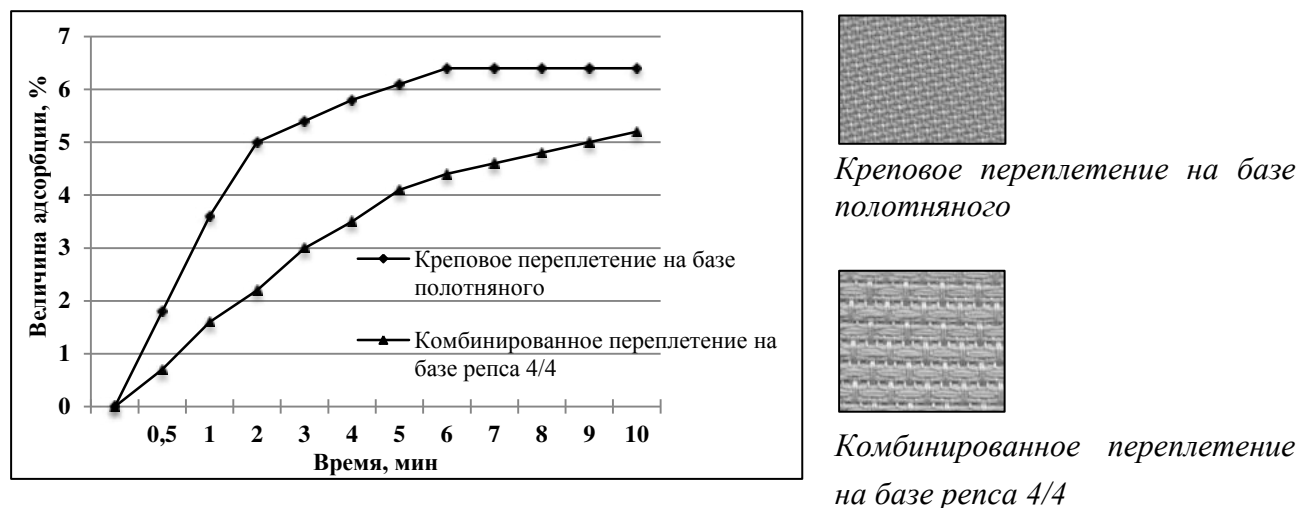


Рисунок 4.41 – Зависимость величины адсорбции от структуры тканого полотна

В результате экспериментальных исследований процесса пропитки тканых полотен из химических нитей водной дисперсией стирол-акрилата рекомендованы следующие режимы пропитки:

- продолжительность пропитки – 3 - 5 мин;
- температура пропиточной ванны – 20 - 22⁰С.

4.3.3. Экспериментальные исследования формирования специальных свойств комбинированных каркасных текстильных материалов

В главе 2 диссертационной работы установлен перечень показателей качества комбинированных каркасных текстильных материалов в зависимости от конкретной области применения. Для материалов, предназначенных для производства галантерейных изделий и верха обуви, а также обивочных и облицовочных необходимо обеспечить: грязе-, водоотталкивание, негрючесть, сохраняя при этом воздухопроницаемость

Придание материалам грязе-, водоотталкивающих свойств заключается в образовании на внешней поверхности отдельных волокон новой поверхности со значительно более низким поверхностным натяжением, обладающей грязе-, водоотталкивающими свойствами, при этом межволоконное пространство остается незатронутым [159]. В текстильной промышленности используют различные гидрофобизаторы [159], в данном исследовании выбран полимер на основе фтористого соединения (таблица 4.19).

Достоинством данного препарата является совместимость с основным компонентом полимерного связующего - водной дисперсией стирол-акрилата без изменения его свойства, перманентность эффекта водоотталкивания, одновременное придание олеофобности и грязеотталкивания.

Таблица 4.19 – Свойства препарата «Nuva FHN» (ф. «Clariant»)

Наименование показателя	Значение показателя
Состав	дисперсия фтористого соединения
Внешний вид	жидкая, молочного вида дисперсия
Ионогенность	анионоактивная
Уровень pH	около 6–8
Растворимость	смешивается с холодной водой в любом соотношении
Гриф	мягкий, гладкий гриф
Устойчивость к стирке и химической чистке	устойчив к стирке и химчистке

В качестве показателей для водо-, масло-, грязеотталкивания выбраны угол смачивания ($\alpha_{см}$, град) и пылеемкость (B , г/(м² с)). Пылеемкость характеризует способность материала поглощать пыль и зависит от структуры полотна, толщины, шероховатости.

Проведены экспериментальные исследования по определению зависимости угла смачивания и пылеемкости от концентрации дисперсии фтористого соединения в полимерной композиции (C_N , г/л) [32-А, 34-А, 61-А, 63-А].

Условия эксперимента

- температура пропитки – 20°C;
- температура сушки - 120°C;
- продолжительность сушки – 300 с;
- температура термофиксации – 160°C;
- продолжительность термофиксации – 25 с;
- концентрация «Nuva FHN» – 20, 40 и 60 г/л.

Получены регрессионные модели [35-А]:

- угол смачивания

$$\alpha_{см} = 9,97 \ln(C_N) + 60,13 \quad (R^2 = 0,9996). \quad (4.67)$$

Как видно, с увеличением концентрации водной дисперсии фтористого соединения в составе полимерной композиции угол смачивания увеличивается, при концентрации 20 г/л поверхность материала становится не смачиваемой ($\alpha_{см} > 90^\circ$). Это объясняется тем, что молекулы фтористого соединения адсорбируются на поверхности материала и ориентируются так, что гидрофобные радикалы оказываются направленными наружу от поверхности материала, образуя новую гидрофобную поверхность, при этом смачиваемость снижается.

- пылеемкость

$$B = -0,0012 C_N^2 + 0,085 C_N - 0,11 \quad (R^2 = 0,9985) \quad (4.68)$$

Графические зависимости угла смачивания и пылеемкости от концентрации «Nuva FHN» в составе полимерной композиции представлены на рисунке 4.42. Зависимость показателя пылеемкости от концентрации имеет экстремальный характер. При концентрации фтористого соединения 20 – 40 г/л поверхность элементарных нитей не полностью покрыта полимерной пленкой, происходит увеличение показателя пылеемкости [35-А, 95-А].

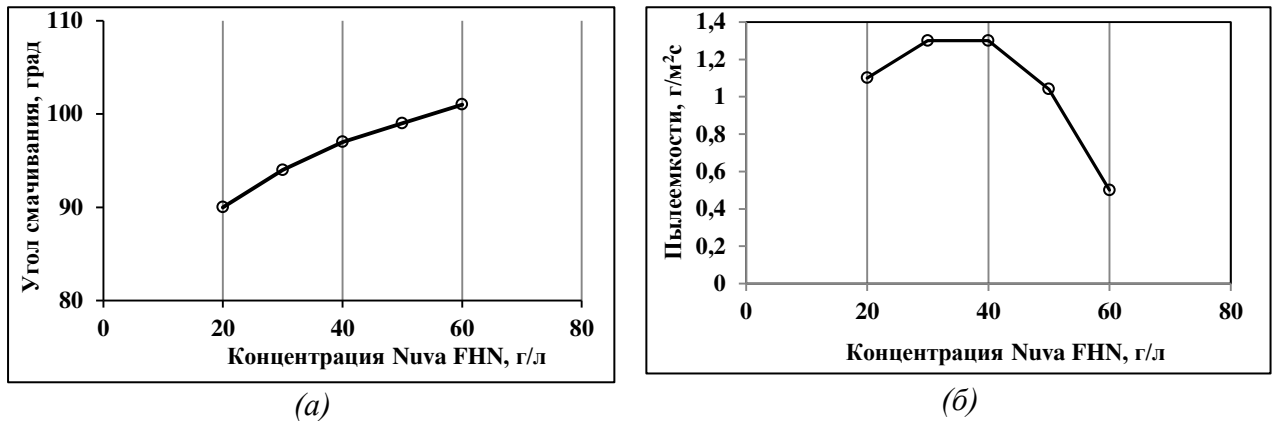


Рисунок 4.42 – Зависимости угла смачивания (а) и пылеемкости (б) от концентрации «Nuva FHN»

При концентрации более 40 г/л на поверхности нитей образуется сплошная гладкая защитная плёнка и частицы пыли не задерживаются в структуре материала. Однако, следует отметить, что увеличение концентрации «Nuva FHN» выше 50 г/л может привести к утолщению полимерной плёнки в межволоконном пространстве, что снизит показатель воздухопроницаемости. Оптимальное содержание «Nuva FHN» в полимерной композиции составляет 40 – 50 г/л.

Для каркасных текстильных материалов обивочных и облицовочных важно наличие такого показателя, как огне-, термостойкость. С этой целью в состав полимерного связующего вводят специальные добавки – антипирены. Антипирены повышают устойчивость к горению и придают огнезащитные свойства [159]. Антипирены не обладают универсальностью по отношению к волокнам различной природы, и их выбор зависит от вида волокнистого компонента текстильного материала. Для придания огне-, термостойкости кракасным текстильным материалам из химических нитей выбрано органическое фосфорное соединение фирмы «Clariant» «Pekoflam® CLF liq с new» свойства которого представлены в таблице 4.20.

В условиях Научно-исследовательского центра Витебского областного управления МЧС Республики Беларусь проведены экспериментальные исследования по определению показателей горючести комбинированного текстильного материала (коэффициента дымообразования, воспламеняемости и кислородного индекса) [60-А].

Таблица 4.20 – Свойства препарата «Рекотлам® CLF liq с new»

Наименование показателя	Значение показателя
Состав	Олигомерный фосфатный эфир
Внешний вид	прозрачная, бесцветная
Ионогенность	От неионогенного до слегка катионного в кислой среде
Уровень pH	4.5–6.5
Содержание фосфора	12 – 14%
Вязкость по Брукфильду, мПа с	<200
Плотность при 25 ⁰ С, г/см ³	1,1
Растворимость	растворяется водой в любом соотношении
Влияние на цвет материала	возможны незначительные изменения в
Совместимость с другими химикатами	неионогенными продуктами – очень хорошая катионными продуктами – очень хорошая анионными продуктами – рекомендуются предварительные испытания
Устойчивость к стирке и химической чистке	устойчив к стирке и химчистке

Результаты испытаний представлены в таблице Ж.1 (Приложение Ж).

Условия эксперимента

- температура пропитки – 20°C;
- температура сушки - 120°C;
- продолжительность сушки – 300 с;
- температура термофиксации – 170°C;
- продолжительность термофиксации – 20 с.
- концентрация «Рекотлам® CLF liq с new» – 100, 200, 300, 400, 500 г/л (выбраны, согласно рекомендациям фирмы–производителя).

С целью выработки практических рекомендаций оптимального состава полимерного связующего проведен двухфакторный эксперимент [32-А, 36-А].

В качестве выходных параметров приняты показатели степени горючести текстильных материалов: $KИ$ – кислородный индекс, %; K_D – коэффициент дымообразования, м²/с; L_V – воспламеняемость (длина обугленного участка), мм. В результате исследований получены следующие регрессионные модели [56-А]:

- для кислородного индекса

$$KI = 0,015C_a + 28, \quad (R^2 = 0,9987) \quad (4.69)$$

- для коэффициента дымообразования

$$K_D = -5 \cdot 10^{-5} C_a^2 + 0,032C_a + 290,26, \quad (R^2 = 0,9972) \quad (4.70)$$

- для воспламеняемости

$$L_V = -5 \cdot 10^{-5} C_a^2 + 0,025 C_a + 44, \quad R^2 = (0,9992) \quad (4.71)$$

Графические зависимости показателей горючести от содержания антипирена в полимерном связующем представлены на рисунке 4.43.

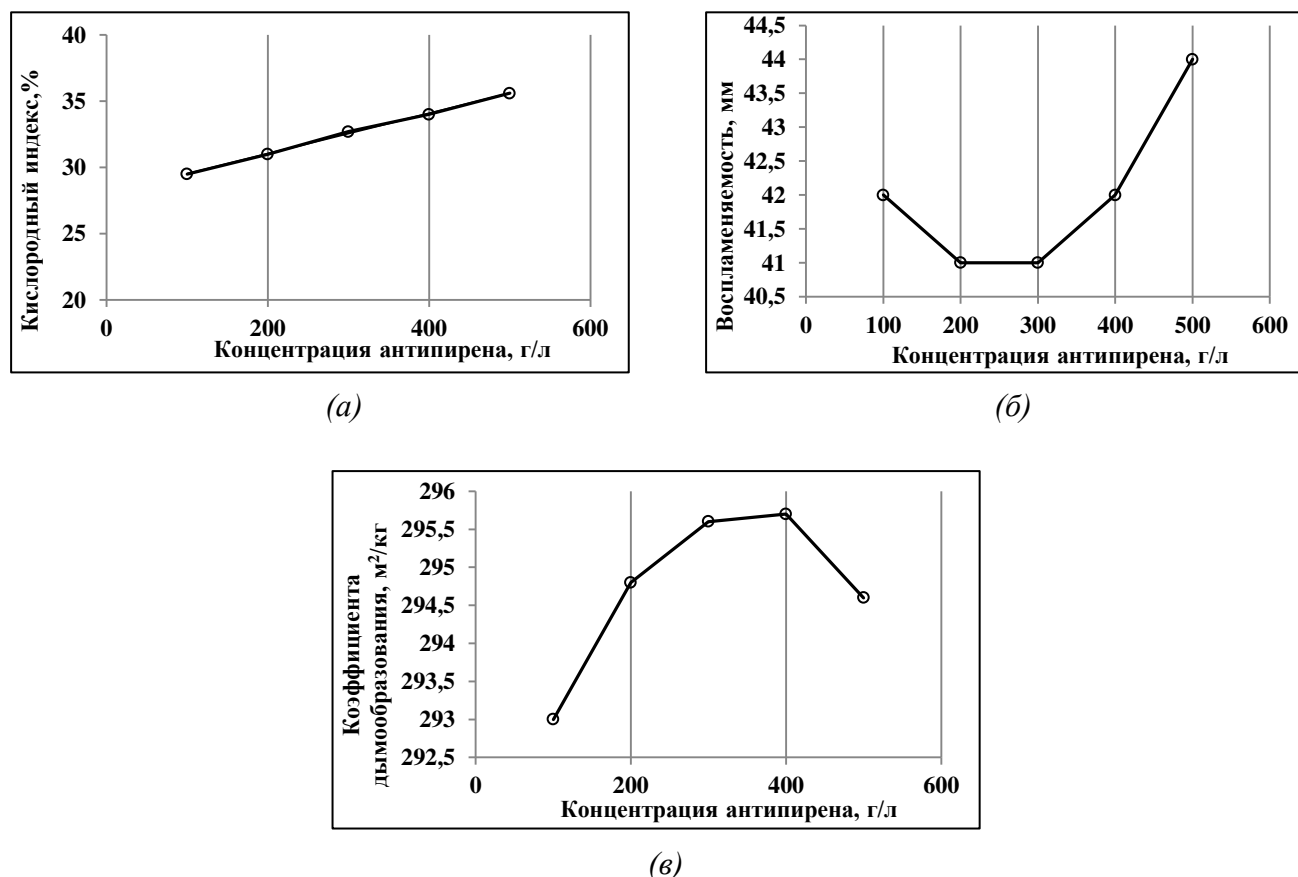


Рисунок 4.43 – Зависимость кислородного индекса (а), коэффициента воспламеняемости (б) и дымообразования (в) от концентрации антипирена

В соответствии с ГОСТ 12.1.044–89 (п. 2.14.2) для оптимизации приняты следующие параметры, характеризующие показатель огне-, термостойкости комбинированных текстильных материалов:

- кислородный индекс – 33%;
- материал трудновоспламеняемый с умеренной дымообразующей способностью (коэффициент дымообразования не более 306 м²/кг и высота прогорания не более 150 мм).

Для достижения указанных значений показателей горючести рекомендуется оптимальная концентрация антипирена «Pekoflam® CLF liq с new» (ф. «Clariant») в составе полимерного связующего C_a – 300 г/л.

По результатам исследования, согласно ГОСТ 12.1.044–89 (п. 2.14.2), комбинированные текстильные материалы с пропиткой вышеуказанным

препаратом относятся к группе материалов с умеренной дымообразующей способностью, к классификационной группе – трудновоспламеняемый (протокол испытаний – Приложение Ж).

Существенным достоинством комбинированных текстильных материалов, полученных способом пропитки полимерной композицией является их многофункциональность. Варьируя составом связующего возможно получать по одной технологии новые материалы широкого ассортимента с комплексом специальных свойств. Учитывая назначение, а также требования к основным и специальным показателям качества материалов декоративно-отделочного назначения, установлены оптимальные составы полимерных композиций (таблица 4.21) [32-А, 52-А, 53-А, 94-А].

Таблица 4.21– Оптимальные составы полимерного связующего для формирования комбинированных текстильных материалов декоративно-отделочного назначения

Назначение и показатели качества	Значения показателей качества	Состав полимерной композиции и концентрации компонентов, г/л
Для верха обуви – жесткость, сН – угол смачивания, град – пылеёмкость, г/(м ² ·с)	56,68 102,00 1,30	«Appretan № 9616» – 400 «Nuva FHN» – 50
Для галантерейных изделий – жесткость, сН – угол смачивания, град – пылеёмкость, г/(м ² ·с)	44,58 102,00 1,30	«Appretan № 9616» – 350 «Nuva FHN» – 50
Для текстильных настенных покрытий – жесткость, сН – коэффициент дымообразования, м ² /кг – кислородный индекс, %	5,72 305,90 39,60	«Appretan № 9616» – 200 «Pekoflam® CLF liq c new»– 300
Для жалюзи – жесткость, сН – коэффициент дымообразования, м ² /кг – кислородный индекс, %	26,26 305,90 39,60	«Appretan № 9616» – 400 «Pekoflam® CLF liq c new»– 300
Для декоративной отделки корпусной мебели – жесткость, сН – коэффициент дымообразования, м ² /кг – кислородный индекс, %	33,8 305,9 39,6	«Appretan № 9616» – 500 «Pekoflam® CLF liq c new» – 300

ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 4

1. Разработан способ непрерывного формирования ворсового покрытия для материалов декоративно-отделочного назначения. Установлены оптимальные режимы подготовки ворса, разработаны рецептуры полимерных связующих и рекомендованы технологические параметры нанесения клеевой пленки на полотно основы, обеспечивающие требуемые показатели качества ворсового покрытия. В результате исследования взаимодействия воздушного потока и волокнистых частиц предложена методика расчета геометрических параметров аэродинамического устройства, определены и экспериментально подтверждены математические модели зависимости качественных показателей ворсового покрытия от давления воздуха, подаваемого в аэродинамическое устройство и расположения диффузора аэродинамического устройства относительно непрерывно движущегося полотна основы.
2. В условиях предприятий холдинга «Белорусские обои» впервые разработана технология формирования слоистого материала с тканым покрытием для нового ассортимента декоративно-отделочных материалов - текстильных настенных покрытий. Разработаны рецептуры полимерных связующих и рекомендованы оптимальные режимы нанесения пленки заданной толщины для образования прочного адгезионного соединения слоев, определены оптимальные угол подачи и давление в секции прижимных валов при соединении материалов с различными деформационными свойствами, а также скорость движения полотна.
3. В производственных условиях ОАО «Витебский комбинат шелковых тканей» разработана сокращенная технология формирования каркасных текстильных материалов непрерывным способом с ткацкого станка на пропитку. Исследована зависимость скорости и полноты пропитки тканей из химических нитей от концентрации и температуры водной дисперсии полимерного связующего, рекомендованы оптимальные технологические режимы пропитки тканых полотен. Разработаны и рекомендованы рецептуры полимерных связующих для придания специальных свойств и многофункциональности комбинированным текстильным материалам.

Заключительными операциями технологии формирования комбинированных текстильных материалов является *сушка и термообработка*. От правильности их организации зависят свойства готовых материалов и изделий. Следующим этапом работы является определение основных закономерностей процессов сушки и термообработки, позволяющих установить зависимость оптимальных режимов от структуры, количественного и качественного состава, физико-химических и теплофизических свойств используемых волокнистых компонентов и полимерных связующих.

ГЛАВА 5. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА СУШКИ И ТЕРМООБРАБОТКИ КОМБИНИРОВАННЫХ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Сушка и термообработка – обязательные операции при формировании комбинированных текстильных материалов, являются весьма продолжительными и энергоемкими. Продолжительность и температура процессов должны строго соблюдаться во избежание высокой влажности готового материала или чрезмерной пересушки, нежелательного растрескивания, подплавления волокнистого компонента или разрушения слоев.

В настоящее время основными способами сушки и термообработки текстильных материалов являются конвективный, радиационный контактный и комбинированный. Наиболее простым и распространенным является конвективный способ, что объясняется простотой и дешевизной используемого оборудования. Использование контактного способа при формировании комбинированных материалов ограничивается их толщиной, природой волокон и полимерных связующих. В случае материалов, имеющих значительную толщину, необходимо увеличивать время контакта поверхностного слоя с нагреваемой поверхностью, что приводит к ухудшению качества готовых материалов.

Текстильные материалы чувствительны к действию высоких температур, при которых возможно протекание термодеструкционных процессов и разрушение волокнообразующего полимера. Внешним проявлением этих процессов являются усадка, повышенная жесткость и блеск, изменение окраски, нарушение структуры, расслаивание. Поэтому, при формировании комбинированных текстильных материалов к режимам процесса сушки и термообработки предъявляются следующие требования:

- температура теплоносителя должна быть ниже температуры, при которой протекают термодеструкционные процессы в волокнистых материалах и полимерных связующих;
- равномерное прогревание слоев, исключение «теплого удара», что способствует диффузии полимерного связующего в поры волокнистого материала и предотвращает его усадку.

При выборе рациональных режимов сушки и термообработки необходимо учитывать способ формирования комбинированного материала, который определяет его свойства и структуру.

5.1. Кинетика сушки капиллярно-пористых материалов

Сушка капиллярно-пористых материалов, к которым относятся текстильные материалы подробно изучена такими учёными как А.В. Лыков, П.А. Ребиндер, С.П. Рудобашта и др. [122, 123, 194, 195, 196, 197]. Установлено, что кинетика

сушки носит сложный характер, зависящий от видов связей присутствующей в них влаги. В зависимости от формы связи влаги с волокнистым материалом различают физико-механическую (макро- и микрокапиллярную), физико-химическую (адсорбционно и осмотически связанную) и химическую [46, 123, 196].

Механически удерживаемую влагу называют влагой намокания. У волокнистых материалов имеются достаточно большие поры и пустоты (например, между нитями в ткани), которые могут заполняться влагой при полном смачивании материала в случае формирования комбинированного материала способом пропитки. Наполняя поры текстильного материала, влага намокания не изменяет его размеры и форму. Макрокапиллярная влага находится в капиллярах радиусом более 10^{-7} м, которые заполняются при смачивании. Микрокапиллярная влага находится в капиллярах радиусом менее 10^{-7} м, заполняемых при адсорбции из влажного воздуха. Влага прочно удерживается силами капиллярности в порах и удаляется из материала путем испарения или приложения внешнего давления большего, чем капиллярное. Чем меньше радиус капилляра, тем прочнее удерживается влага. Наличие осмотически связанной влаги, присутствие которой обусловлено наличием растворенных частиц вещества, для волокнистых материалов не характерно [46]. Адсорбционная влага прочно удерживается на поверхности, а также в порах и после химической является наиболее прочно связанной с материалом. Удаление адсорбционной влаги из материала связано с дополнительным расходом тепла. Химическая влага входит в состав молекул вещества, имеет большую энергию связи с веществом и при сушке не удаляется. Скорость сушки текстильных материалов определяется удалением капиллярной влаги [123].

Влажность материала можно классифицировать на удаляемую влагу и равновесную влажность (рисунок 5.1) и выделить следующие участки [123, 231]:

1. Влажное состояние материала, при котором его влажность W_m больше гигроскопической W_2 . Давление паров воды над материалом равно давлению насыщенного пара воды при температуре материала и не зависит от его влажности $p_n = p_n$.
2. Гигроскопическое состояние материала, при котором его влажность W_m меньше гигроскопической W_2 . Давление паров воды в материале меньше давления насыщенного пара воды и зависит от влажности и температуры материала $p_n = f(W_m, t_m)$.

При прохождении влажного материала ($W_m \gg W_2$) через сушильную камеру с температурой среды t_c большей чем температура материал t_m , в результате большего давления паров воды над поверхностью материала, чем в воздухе $p_n > p_n$ происходит испарение влаги.

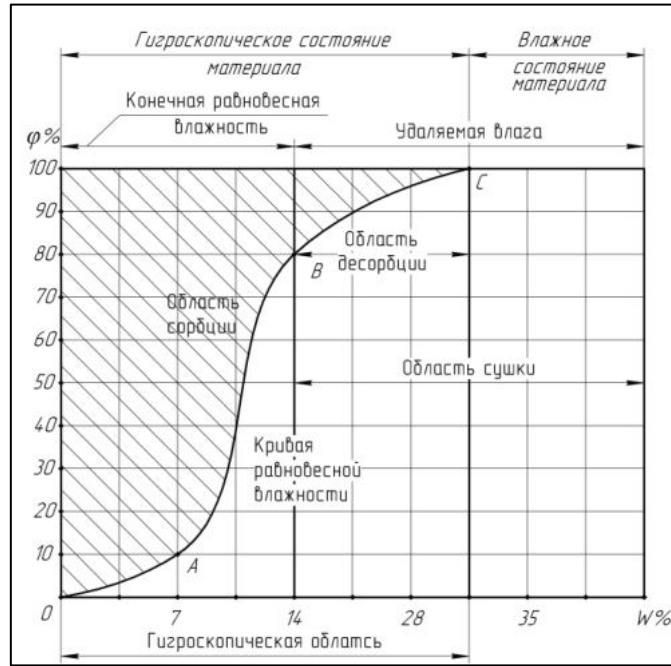


Рисунок 5.1 – Схема состояния влаги в материале

В состоянии равновесия температура материала равна температуре воздуха, а давление паров воды в материале p_m равно парциальному давлению в воздухе p_v ($p_m = p_v$). Равновесная влажность, соответствующая полному насыщению материала влагой называется гигроскопической влажностью – предельная влажность, при которой давление паров воды в материале равно давлению насыщенных паров чистой воды при тех же давлении и температуре ($p_m = p_n$) [123, 194, 231].

На рисунке 5.2 представлены характерные кривые изменения влажности и температуры материала в процессе сушки. На участке (AB) температура материала повышается от t_n до температуры мокрого термометра t_m , соответствующей данному состоянию окружающего воздуха (период прогрева материала), скорость сушки в этом периоде повышается. Участок (BC) характеризует период постоянной скорости сушки, температура материала остается постоянной $t_m = const$, а изменение влажности происходит по линейному закону ($tga = const$). В периоде постоянной скорости сушки из материала удаляется вся механически связанная влага. Скорость сушки определяется скоростью испарения влаги с поверхности материала (внешняя диффузия). Участок (CD) соответствует периоду падающей скорости сушки, изменяющейся по экспоненте, переходящей в асимптоту, ордината которой есть равновесная влажность W_p . Температура материала резко возрастает. В этот период удаляется влаги с физико-химической формой связи (период внутренней диффузии). Влажность в точке С и Е соответствует критической влажности $W_{кр}$. Значение критической влажности

зависит от скорости и температуры воздуха в сушильной камере, размера материала и его начальной влажности.

Количество влаги, удаленная с 1 м^2 поверхности материала в единицу времени называется интенсивность сушки. Количество влаги, удаляемое в единицу времени – скорость сушки (в %/ч или в 1/ч) равная: $N = \Delta W / \Delta \tau$.

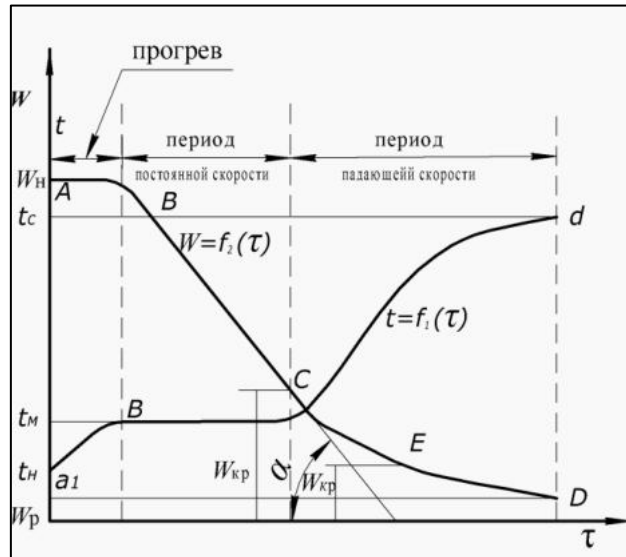
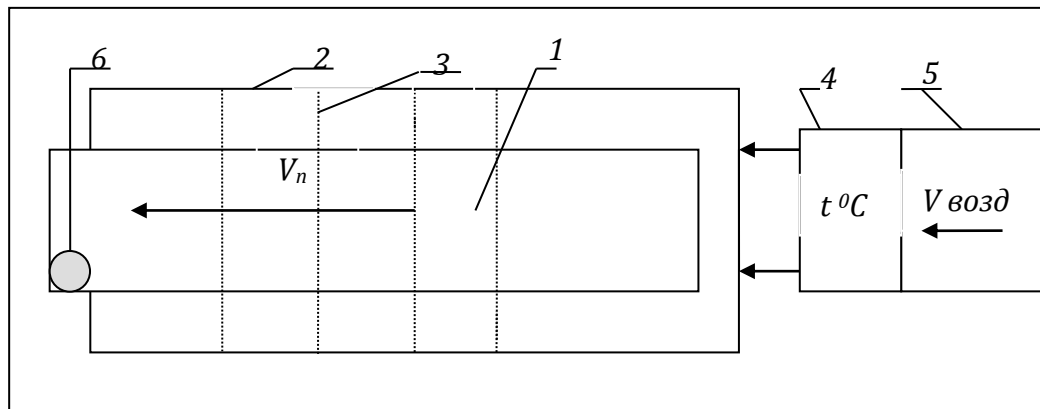


Рисунок 5.2 – Изменение влагосодержания и температуры материала в процессе сушки при постоянных температуре t_c и влажности ϕ_c среды

В технологии формирования комбинированных текстильных материалов используется конвективный способ сушки (рисунок 5.3).



- | | |
|-----------------------------|-----------------------------|
| 1 – сушильная камера; | 4 –нагревательные элементы; |
| 2 – нагревательный элемент; | 5 – вентилятор; |
| 3 – тепловой поток; | 6 – отсос воздуха. |

Рисунок 5.3 – Схема сушильной установки

При конвективной сушке тепло из воздуха передается материалу путем соприкосновения. Выбор температурных условий сушки осуществляется с учетом

теплофизических и гигроскопических свойств материалов и полимерных связующих, используемых при формировании комбинированных материалов (таблица 5.1).

Таблица 5.1 – Тепловые и гигроскопические свойства материалов и полимерных связующих

Вид материала	Наименование показателя			
	Теплостойкость, °С	Термостойкость, °С	Равновесная влажность W_p	
			$W_{\text{возд}}=65\%$	$W_{\text{возд}}=95\%$
Хлопок	130-140	180-220	7-8	18-20
Лен	160-170	180-220	11-12	19-21
Вискоза	140-150	175-200	12-13	35-40
Нитрон	160-170	200-210	0,5-1,0	5-6
Капрон	100-110	196-215	3,5-4,5	7-8
Бумага	—	—	6-9	—
Флизелин	—	140-150	—	—
ПВС	($T_{\text{ст}}=85-90$) 135-145	170-230	—	—
ПВА	($T_{\text{ст}}=28$) 37 - 38	100 - 120	—	—
Стирол-акрилат	—	180 - 200	—	—

Применительно к сушке и термообработке комбинированных текстильных материалов необходимо различать понятия теплостойкость волокнообразующего полимера и теплостойкость материала.

Под теплостойкостью материала понимают температуру $T_{\text{тепл}}$, до которой можно нагревать материал при определенной его влажности, механическом воздействии и продолжительности нагрева, получая при этом обратимые изменения форм и размеров. Теплостойкость материала величина непостоянная. Чем меньше нагрузка и время теплового воздействия, тем выше теплостойкость материала. Максимальная температура $T_{\text{терм}}$, до которой можно нагревать полимерный материал, не нарушая его физико-механические свойств, называется термостойкостью. При сушке и термообработке текстильных материалов, используемых при формировании слоистых композитов, необходимо знать температуру теплостойкости красителей $T_{\text{кр}}$, которые применены при их производстве. При этом должно соблюдаться условие [1-А]:

$$T_{\text{тепл}}, T_{\text{терм}}, T_{\text{кр}} > t_{\text{с}} \quad (5.1)$$

Кинетика сушки - построение кривой сушки $W=f(\tau)$ и кривой нагрева $t=f(\tau)$, исследуется экспериментально с целью определения продолжительности процесса снижения влажности материала от начального влагосодержания W_n до

некоторого конечного W_k , а также конечной температуры материала, для расчета количества тепла, необходимого для нагревания.

Для расчета кривой конвективной сушки текстильных композиционных материалов воспользуемся приближенным методом [123], основанным на замене реальной кривой скорости сушки $\frac{dW}{d\tau} = f(W)$ ее упрощенной идеализированной моделью [7-А, 27-А].

На рисунке 5.4 представлена кривая скорости сушки для слоистых текстильных материалов. С целью определения общих закономерностей процесса сушки комбинированных текстильных материалов проведен предварительный эксперимент [81-А, 85-А, 87-А].

Условия проведения эксперимента:

- слоистый текстильный материал – нетканая основа (бумага)/полимерное связующее (поливиниловый спирт)/ ворсовое покрытие (нитрон);
- температура воздуха в сушильной камере 140 °С;
- режим работы сушильной установки – установившийся.

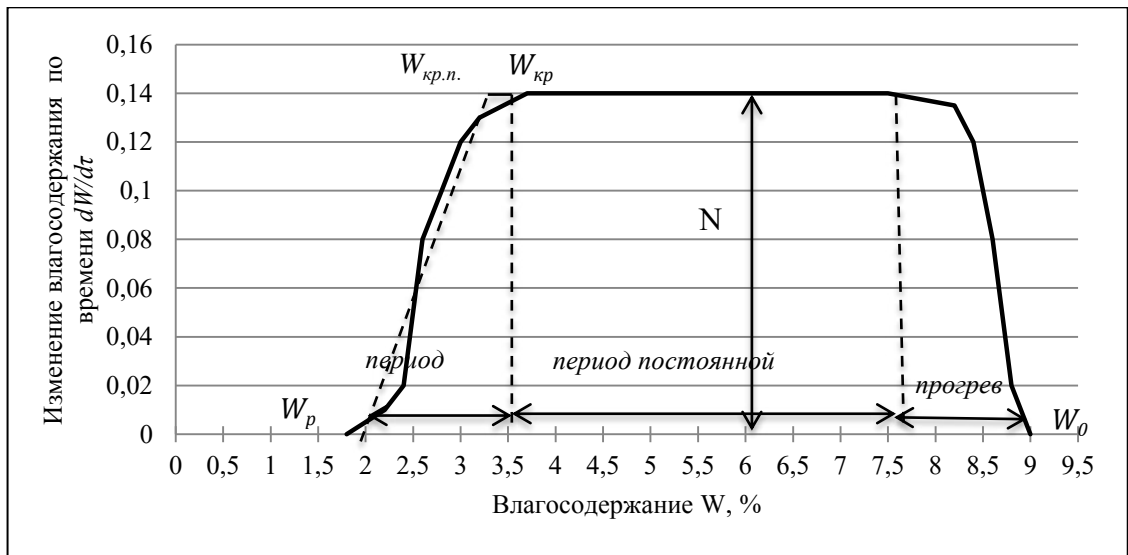


Рисунок 5.4 – Кривая скорости сушки для слоистого ворсового материала

Уравнение отрезка прямой, соответствующей кривой скорости сушки, проходящей через точки с координатами $W=W_p, dW/d\tau=0$ и $W=W_{кр.п.}, dW/d\tau=N$ принимает вид:

$$\frac{dW}{d\tau} = -N \frac{W - W_p}{W_{кр.п.} - W_p}, \quad (5.2)$$

где $W_{кр.п.}$ – критическое приведенное влагосодержание;
 W_p – равновесное влагосодержание.

Интегрируя уравнение (5.2) для периода падающей скорости сушки, получим:

$$\frac{W - W_p}{W_{кр.н.} - W_p} = e^{-K\tau} = e^{-\chi N\tau}, \quad (5.3)$$

где K – постоянный коэффициент сушки, ч^{-1} , зависящий от режима сушки, прямопропорционален N ;

χ – относительный коэффициент сушки, зависит от свойств материала и его начальной влажности (принимается равным 1/%).

$$K = \frac{N}{W_{кр.н.} - W_p} = \chi N. \quad (5.4)$$

Лыковым А.В. было показано [123, 194], что в широком диапазоне начальных влагосодержаний для различных материалов относительный коэффициент сушки обратно пропорционален начальному влагосодержанию материала:

$$\chi = \frac{1,8}{W_0}. \quad (5.5)$$

По уравнению (5.3) находим продолжительность сушки в периоде падающей скорости:

$$\tau_2 = \frac{1}{\chi N} \ln \frac{W_{кр.н.} - W_p}{W_{кр.п.} - W_p}. \quad (5.6)$$

Для периода постоянной скорости сушки:

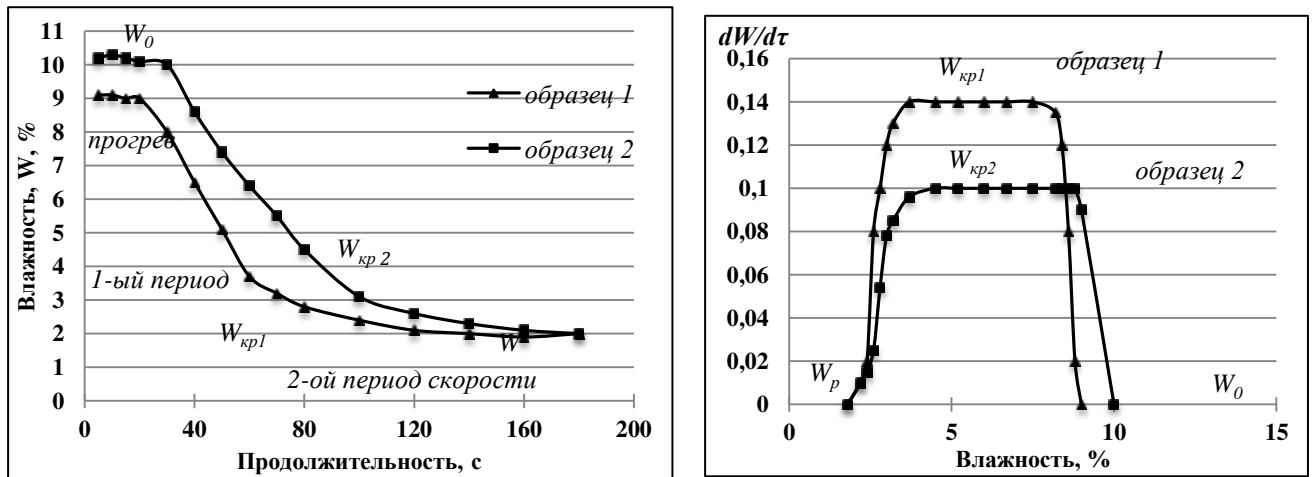
$$\tau_1 = \frac{1}{N} (W_0 - W_{кр.н.}), \quad (5.7)$$

тогда общая продолжительность сушки τ определяется по формуле:

$$\tau_{1-2} = \frac{1}{N} \left[W_0 - W_{кр.н.} + \frac{1}{\chi} \ln \frac{W_{кр.н.} - W_p}{W_{кр.п.} - W_p} \right]. \quad (5.8)$$

Таким образом, используя формулу (5.8) можно определить продолжительность сушки комбинированных материалов, а также скорость движения полотна при непрерывном способе формирования [7-А].

В результате экспериментальных исследований процесса конвективной сушки при температуре 140⁰С построены кривые сушки $W=f(\tau)$ и скорости сушки $\frac{dW}{d\tau} = f(W)$ (рисунки 5.5, 5.6), а также проведено сравнение экспериментально полученных значений режимных параметров сушки с рассчитанными по уравнениям (5.2) – (5.8) (таблица И.1 Приложение).



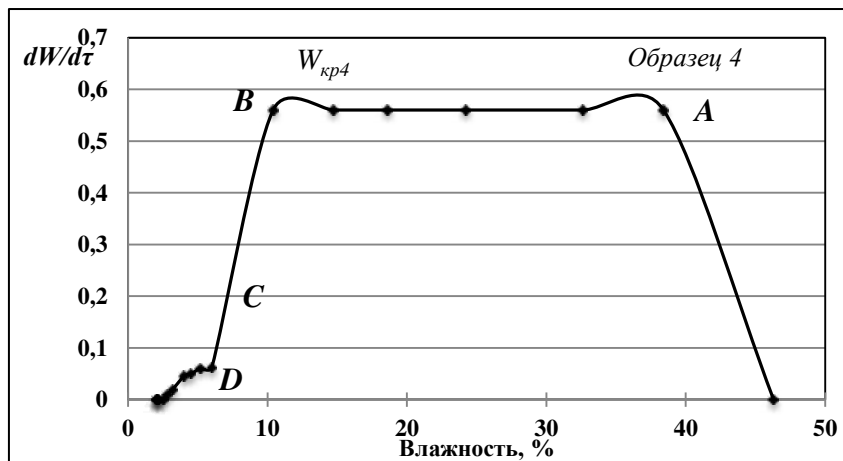
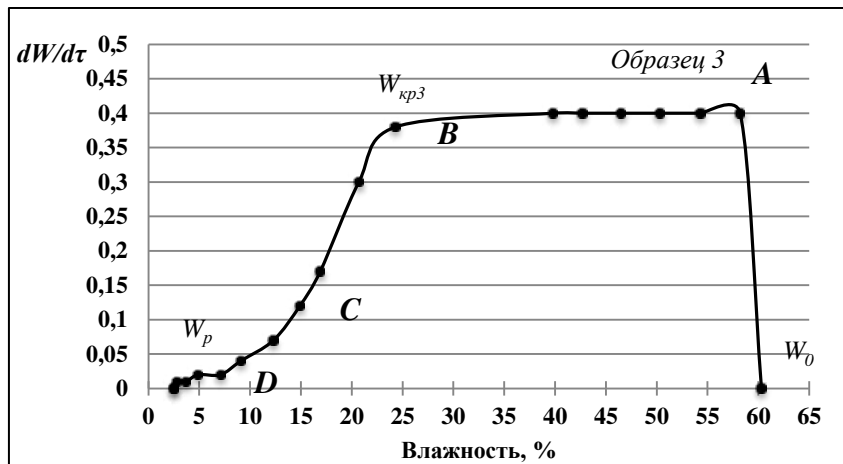
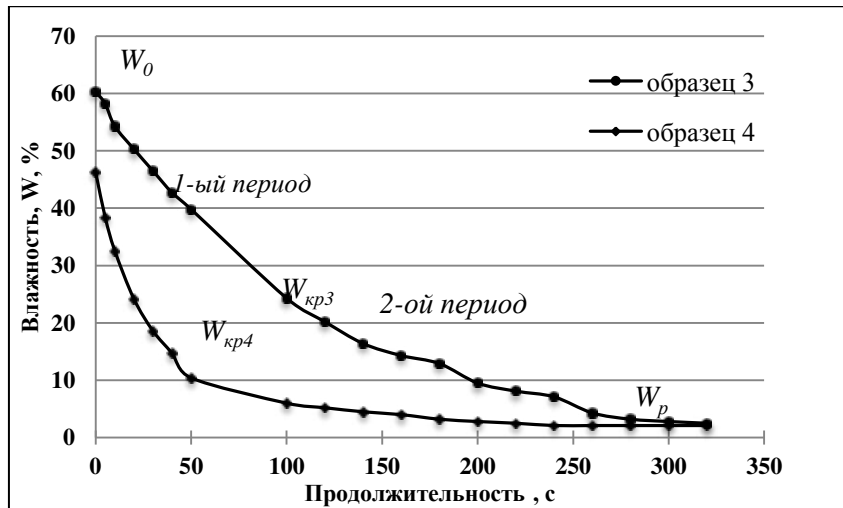
образец 1 – слоистый материал с ворсовым покрытием 140 г/м² (нетканое полотно флизелин – нитроновый ворс);

образец 2 – слоистый материал с тканым покрытием 280 г/м² (нетканое полотно флизелин – льняная ткань).

Рисунок 5.5 – Кинетика сушки слоистых текстильных материалов

Анализируя полученные теоретические и экспериментальные результаты можно сделать следующие выводы [7-А, 27-А]:

- уменьшение влагосодержания слоистых текстильных материалов (образец 1,2) начинается при $\tau = 20 - 40$ с, т.е. наблюдается период прогрева (τ_0) до температуры начала испарения влаги, содержащейся в полимерном связующем; для каркасных текстильных материалов (образец 3,4) период прогрева непродолжителен по сравнению с общей продолжительностью сушки, поэтому им можно пренебречь;
- для слоистых текстильных материалов (образец 1,2), полученных клеевым способом, продолжительность сушки в периоде постоянной скорости сопоставима с продолжительностью в периоде падающей скорости сушки, что можно объяснить малым начальным влагосодержанием и небольшим количеством связанной влаги в материале;



образец 3 – каркасный текстильный материал 560 г/м^2 (вискозная ткань – стирол-акрилат 300 г/л);

образец 4 – каркасный текстильный материала 520 г/м^2 (полиамидная ткань – стирол-акрилат 300 г/л).

Рисунок 5.6 – Кинетика сушки комбинированных каркасных текстильных материалов

- для каркасных текстильных материалов из гидратцеллюлозных волокон (образец 3) в первый период сушки испаряется влага намокания и частично физико-механическая влага (макрокапиллярная), затем удаляется влага микрокапиллярная, при этом лимитирующей стадией является период падающей скорости сушки, что объясняется большей пористостью вязкозных волокон;
- для каркасных текстильных материалов из синтетических волокон (образец 4) большая часть влаги удаляется в первом периоде сушки, влаги с физико-химической формой связи практически не содержится, $\tau_1 \geq \tau_2$.

Результаты исследований подтверждают применимость теории сушки, разработанную А.В. Лыковым, однако, возникает необходимость уточнения методики расчета продолжительности сушки комбинированных текстильных материалов в зависимости от способа формирования, природы и структуры текстильного компонента, а также состава и свойств полимерного связующего.

5.2. Исследование кинетики нагрева слоистых текстильных материалов

В процессе сушки слоистых текстильных материалов происходит удаление растворителя (воды) из полимерного связующего в результате испарения, формирование пленки полимерного связующего и образование адгезионного соединения между слоями текстильного композита.

Влажность слоистых текстильных материалов клеевого способа формирования не превышает 10 – 12 %. Сушка таких материалов, происходит за счет перемещения воды, содержащейся, в основном, в полимерном связующем, внутри текстильного материала и нетканой основы, парообразования и перемещения влаги с поверхности материала в окружающую среду.

В большинстве случаев общая продолжительность процесса сушки влажных материалов складывается из продолжительности первого (постоянной скорости) и второго (падающей скорости) периодов сушки, продолжительность начального периода прогрева материала непродолжителен, поэтому не учитывается. Однако результаты экспериментальных исследований показал, что процесс сушки слоистых текстильных материалов необходимо делить на три периода: 1-ый период – прогрев слоистого текстильного материала; 2-ой период – постоянной скорости сушки; 3-ий период – падающей скорости сушки.

Исследование кинетики нагрева слоистых текстильных материалов проводилось на опытно-экспериментальном стенде представляющим собой конвективную сушку (рисунок 5.3). В образце (рисунок 5.7) материала послойно зафиксированны термопары, показания термопар снимались каждые 10 секунд. На рисунке 5.8 представлены графики изменения температуры.

слоистый текстильный материал клеевого способа формирования

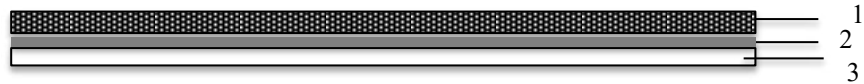


Рисунок 5.7 – Образец и зафиксированные термопары

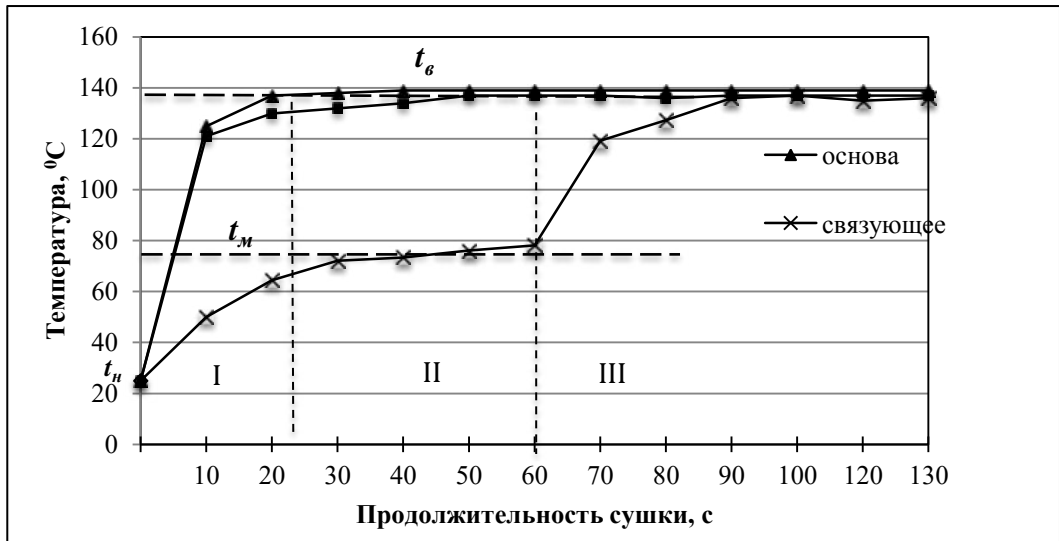


Рисунок 5.8 – Изменение температуры слоистого текстильного материала в процессе сушки

Так как текстильный материал (волокно или ткань) и полотно основы не содержат механической влаги, то в начальный период сушки (I) происходит быстрое увеличение их температуры. Раствор или дисперсия полимерного связующего прогревается до температуры мокрого термометра t_m , при которой начинается испарение свободной влаги из тонкой пленки. Так как пористость текстильного материала (70–85%) выше пористости используемой нетканой основы (бумаги, флизелина) (30–40%), диффузия влаги происходит внутри текстильного полотна к его поверхности.

Для текстильного полотна и нетканой основы отсутствует период постоянной скорости сушки, наблюдается период падающей скорости сушки (II). В периоде (II) температура полимерного связующего достигает температуры мокрого термометра ($t_m = const$) и незначительно изменяется, что связано с наличием растворенных веществ. Происходит интенсивное испарение влаги с поверхности тканого полотна, температура поверхности тканого полотна несколько снижается, давление паров воды над поверхностью материала p_m равно давлению насыщенных паров чистой воды p_n при температуре материала.

Когда свободная влага из полимерного связующего полностью удалена, происходит его структурирование и образование пленки. Так как диффузия влаги

внутри текстильного полотна прекращается, температура текстильного полотна и нетканой основы повышается до температуры воздуха в сушильной камере t_g .

В результате неравномерного нагрева или перегрева слоистых материалов декоративно-отделочного назначения из-за различной усадки слоев, имеющих отличные друг от друга тепловые свойства, могут образовываться складки, морщины, трещины в результате коробления, а также изменение цвета или его расслоение. С целью определения рациональных режимов необходимо установить зависимость между свойствами слоистых текстильных материалов (количественный и качественный состав компонентов и их теплофизические свойства) и условиями проведения процесса сушки и термообработки.

Анализ литературных источников [195, 198, 199] показал, что имеющиеся точные решения задач теплопроводности многослойных материалов достаточно сложны для практического использования. Поэтому, для инженерных расчетов продолжительности термообработки слоистых текстильных материалов актуальным является приближенное решение задачи нестационарной теплопроводности многослойной пластины [1-А].

С этой целью преобразуем слоистый текстильный материал, состоящий из двух плотно прилегающих друг к другу различных по свойствам компонентов, в эквивалентный однослойный, длина которого L , толщина $\delta=2R$ и проанализируем процесс нагревания на основе общих законов теплопередачи. Для решения задачи используем аппарат классической теории теплопроводности А.В. Лыкова [195].

Примем некоторые допущения (рисунок 5.9):

- в слоистых текстильных материалах основная роль в передачи тепла принадлежит кондукции воздуха и волокон, а роль излучения и конвективного переноса малы и ими можно пренебречь [199];
- так как $L \gg \delta$, то рассмотрим неограниченную пластину толщиной $2R$;
- в начальный момент времени система имеет одинаковую начальную температуру (t_0);
- слоистый текстильный материал находится в среде горячего воздуха с температурой $t_g > t_0$;
- в начальный момент времени поверхности тканого полотна и материала основы нагреваются до температуры t_g , которая поддерживается постоянной на протяжении всего процесса;
- теплообмен между поверхностью материала и окружающей средой происходит одинаково по всей поверхности, температура материала зависит только от продолжительности нагревания и толщины (симметричная задача);
- теплообмен на внешних поверхностях происходит по закону Ньютона-Рихмана, теплообмен между поверхностью материала и средой с постоянной температурой происходит при $\frac{\alpha}{\lambda} \rightarrow \infty$.

Вместо традиционной системы уравнений теплопроводности для каждого слоя и граничных условий четвертого рода (на границе соприкосновения слоев) используем одно уравнение теплопроводности.

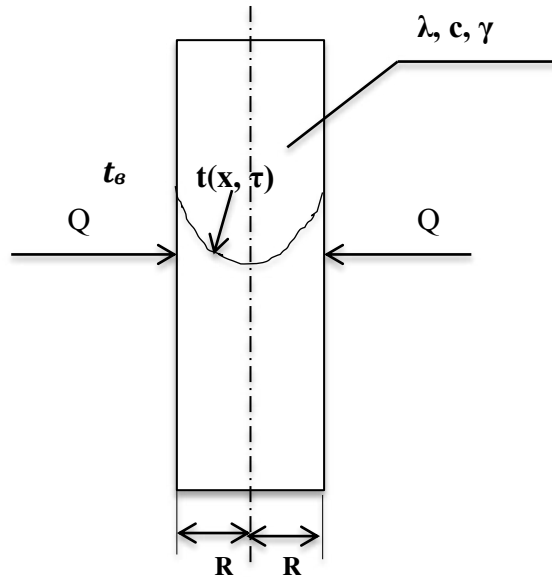


Рисунок 5.9 – Расчетная схема прогрева слоистого текстильного материала

Дифференциальное уравнение теплопроводности запишется в виде:

$$\frac{\partial t(x, \tau)}{\partial \tau} = a \left(\frac{\partial^2 t(x, \tau)}{\partial x^2} \right); (\tau > 0; -R < x < +R). \quad (5.9)$$

Краевые условия:

$$t(x, 0) = f(x); \quad (5.10)$$

$$t(+R, \tau) = t(-R, \tau) = t_e = const, \quad (5.11)$$

где $a = \frac{\lambda}{c\gamma}$ – коэффициент температуропроводности ($\text{м}^2/\text{с}$);

$\frac{\partial t(x, \tau)}{\partial \tau}$ – температурное поле;

t_e – температура воздуха в термокамере, К;

λ – коэффициент теплопроводности, Вт/м*град);

c – удельная теплоемкость, Дж/кг*град;

γ – плотность, кг/м³.

Дифференциальное уравнение теплопроводности после применения преобразования Лапласа имеет вид [195]:

$$T_L''(x, s) - \frac{s}{a} T_L(x, s) + \frac{t_0}{a} = 0, \quad (5.12)$$

где s – оператор Лапласа в интегральном преобразовании функции, $t(x, \tau)$;
 $T_L''(x, S)$ – изображение функции $t(x, \tau)$ в интегральном преобразовании Лапласа.

Граничные условия для изображения будут иметь вид:

$$\begin{aligned} T_L(R, s) &= \frac{t_g}{s}; \\ T_L'(0, s) &= 0. \end{aligned} \quad (5.13)$$

Решение дифференциального уравнения (5.12) можно записать в виде:

$$T_L(x, s) - \frac{t_0}{s} = Ach \sqrt{\frac{s}{a}} x + Bsh \sqrt{\frac{s}{a}} x, \quad (5.14)$$

где A и B – постоянные не зависящие от x и определяемые из граничных условий (5.13).

По условию симметрии $B=0$. Постоянную A находим из первого граничного условия (5.13)

$$T_L(R, s) = \frac{t_0}{s} + Ach \sqrt{\frac{s}{a}} R = \frac{t_g}{s}, \quad (5.15)$$

Откуда:

$$A = \frac{(t_g - t_0)}{s \cdot ch \sqrt{\frac{s}{a}} R}, \quad (5.16)$$

Таким образом, решение для изображения 5.14 будет иметь вид:

$$\frac{t_0}{s} - T_L(x, s) = \frac{(t_g - t_0)ch \sqrt{\frac{s}{a}} x}{s \cdot ch \sqrt{\frac{s}{a}} R} = \frac{\Phi(s)}{\psi(s)}. \quad (5.17)$$

При переходе решения для изображения (5.12) к решению для оригинала соблюдены условия теоремы разложения, которую можно записать:

$$L^{-1} \left[\frac{\Phi(s)}{\psi(s)} \right] = \sum_{n=1}^n \frac{\Phi(s_n)}{\psi(s_n)} e^{s_n \tau}, \quad (5.18)$$

где s_n – корни полинома $\psi(s_n)$

Найдем корни функции $\psi(s_n)$, приравняем ее к нулю.

- простой корень $s=0$;
- бесчисленное множество простых корней, определяемых из соотношения

$$i \sqrt{\frac{s_n}{a}} R = \mu_n = (2n - 1) \frac{\pi}{2}, \quad (5.19)$$

Откуда

$$s_n = \frac{a\mu_n^2}{R^2} = -\frac{(2n - 1)^2 \pi^2 a}{4R^2}. \quad (5.20)$$

Найдем $\psi'(s)$:

$$\psi'(s) = \frac{sR}{2\sqrt{as}} sh \sqrt{\frac{s}{a}} R + ch \sqrt{\frac{s}{a}} R = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{s}{a}} R sh \sqrt{\frac{s}{a}} R + ch \sqrt{\frac{s}{a}} R, \quad (5.21)$$

имеем

$$\lim_{s \rightarrow s_n} \psi'(s) = \frac{1}{2} i \mu_n sh i \mu_n = -\frac{1}{2} \mu_n sin \mu_n = \psi'(s), \quad (5.22)$$

найдем $\Phi(s_n)$:

$$\Phi(s_n) = (t_\varepsilon - t_0) \cos \mu_n \frac{x}{R}, \quad (5.23)$$

окончательно получим:

$$L^{-1} \left[\frac{t_0}{s} - T_L(x, s) \right] = L^{-1} \left[\frac{(t_\varepsilon - t_0) ch \sqrt{\frac{s}{a}} x}{sch \sqrt{\frac{s}{a}} R} \right], \quad (5.24)$$

$$t_0 - t(x, \tau) = (t_0 - t_\varepsilon) - (t_0 - t_\varepsilon) \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2}{\mu_n} (-1)^{n+1} \cos \mu_n \frac{x}{R} \exp(-\mu_n^2 \frac{a\tau}{R^2}), \quad (5.25)$$

$$\theta = \frac{t(x, \tau) - t_0}{t_\varepsilon - t_0} = \sum_{n=1}^{\infty} A_n \cos \mu_n \frac{x}{R} \exp(-\mu_n^2 Fo), \quad (5.26)$$

где $\frac{2}{\mu_n}(-1)^{n+1}$ – начальная тепловая амплитуда;

Fo – число Фурье, $Fo = \frac{a\tau}{R^2}$;

μ_n – характеристические числа, равны:

$$\mu_n = (2n - 1) \frac{\pi}{2} \quad (5.27)$$

Анализируя решение уравнения (5.26), для практических расчетов можно ограничиться одним первым членом ряда (сходящийся ряд).

Получим удобную для практических расчетов формулу [1-А, 7-А, 9-А]:

$$t(0, \tau) = t_0 + 1,27(t_e - t_0) \cdot e^{-1,57 \frac{a_{экв}\tau}{R^2}} \quad (5.28)$$

где $t(0, \tau)$ – температура в центре слоистого текстильного материала в момент времени τ , °С;

t_e – температура воздуха в термокамере, °С;

t_0 – исходная температура материала, °С;

$a_{экв}$ – коэффициент эквивалентной теплопроводности, м²/с;

R – 1/2 толщины слоистого текстильного материала, м;

τ – продолжительность термообработки, с.

Уравнение (5.28) позволяет для слоистых текстильных материалов различного сырьевого состава и толщины рассчитать:

- продолжительность периода прогрева при заданной температуре в сушильной камере;
- температуру в секциях сушильной камеры, необходимую для полного прогрева слоистого текстильного материала в течение заданного времени.

Проанализируем процесс прогрева слоистых материалов.

Так как текстильные материалы обладают сложной пористой структурой, поры располагаются как между волокнами, так и внутри них, формы и размеры их разнообразны, то для более точного расчета коэффициента теплопроводности тканых полотен использовали формулу, предложенную С.Г. Зыриным [151]:

$$\lambda = \lambda_{возд} \left[1 + \frac{\beta}{(1 - \beta)/4 + \lambda_{возд}/(\lambda_{вол} - \lambda_{возд})} \right] \quad (5.29)$$

где $\lambda_{возд}$ $\lambda_{вол}$ – соответственно коэффициенты теплопроводности воздуха и волокна, Вт/(м · К);

β – доля объема волокон в объеме ткани.

Значения коэффициентов теплопроводности ворса и тканей, используемых для формирования слоистых материалов представлены в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Исходный слоистый материал

Наименование слоя	Флизелин	Нитроновый ворс	Льняная ткань	
			180 г/м ²	270 г/м ²
Толщина, м	$344 \cdot 10^{-6}$	$1000 \cdot 10^{-6}$	$1160 \cdot 10^{-6}$	$2040 \cdot 10^{-6}$
Объемная плотность, кг/м ³	$0,378 \cdot 10^3$	$1,17 \cdot 10^3$	$0,155 \cdot 10^3$	$0,132 \cdot 10^3$
Пористость, %	–	–	89,3	90,9
Теплоемкость, Дж/моль К	1420	1550	1510	1510
Теплопроводность, Вт/м К	0,13	0,035	0,0272	0,0271

Результаты преобразования слоистого текстильного материала в однослойный представлены в таблице 5.3.

Таблица 5.3 – Результаты преобразования слоистого текстильного материала в однослойный

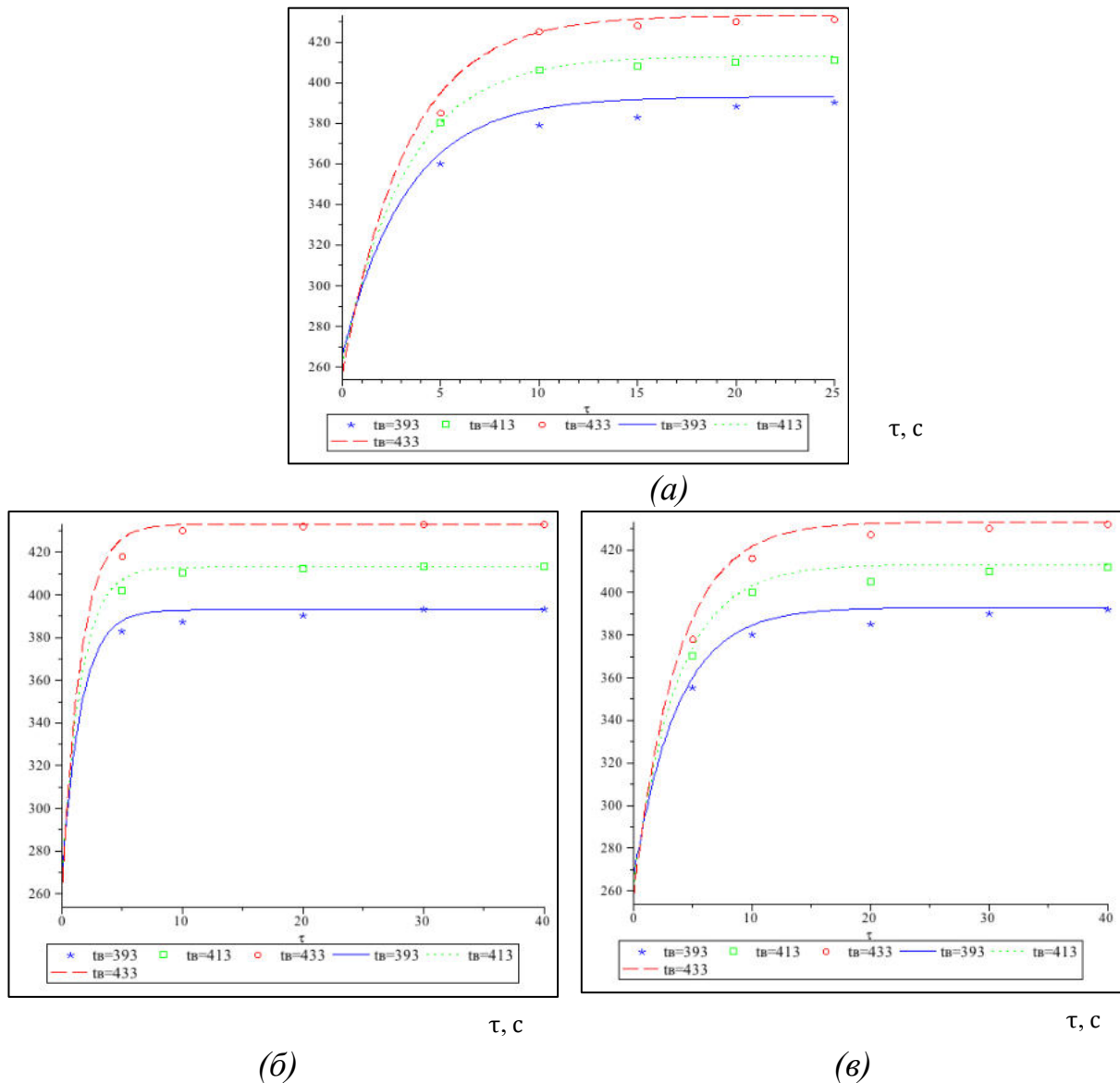
Название показателя	Значение показателя		
	слоистый ворсовой материал	слоистый с тканым покрытием	
		180 г/м ²	270 г/м ²
Толщина, м	$1144 \cdot 10^{-6}$	$1504 \cdot 10^{-6}$	$2384 \cdot 10^{-6}$
Объемная плотность, кг/м ³	$0,466 \cdot 10^3$	$0,103 \cdot 10^3$	$0,083 \cdot 10^3$
Теплоемкость, Дж/моль К	1511,0	1489,3	1497,2
Теплопроводность, Вт/м К	0,044	0,033	0,031
Коэффициент температуропроводности, м ² /с	$6,37 \cdot 10^{-8}$	$2,16 \cdot 10^{-7}$	$2,45 \cdot 10^{-7}$

Исходя из правила аддитивности рассчитаны объемная плотность и теплоемкость. Эквивалентный коэффициент теплопроводности $\lambda_{эkv}$ для преобразованного двухслойного материала в однослойный определим по формуле [151, 199]:

$$\lambda_{эkv} = \frac{\sum_{i=1}^n \delta_i}{\sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i}} \quad (5.30)$$

где δ_i – толщина i -ого слоя, м;
 λ_i – теплопроводность i -ого слоя, Вт/м ·К.

Для расчета прогревания слоистого текстильного материала составлена программа в системе компьютерной алгебры Maple (Приложение И). Экспериментальные и расчетные исследования кинетики нагрева представлены на рисунке 5.10 и в таблице 5.4 [1-А, 9-А, 27-А].



**(линиями обозначены расчетные значения, точками – экспериментальные)*

Рисунок 5.10 – Кинетика прогревания слоистого материала с ворсовым (а) и тканым покрытием 180 г/м^2 (б), 270 г/м^2 (в)

Таблица 5.4 – Расчетные и экспериментальные значения температуры в центре слоистого текстильного материала

Температура в центре слоистого текстильного материала, К							
Ворсовое покрытие, 140 г/м ²			Тканое полотно 120 г/м ²			Тканое полотно 270 г/м ²	
τ, с	расч.	эксп.	τ, с	расч.	эксп.	расч.	эксп.
Температура воздуха в сушильной камере, $t_e = 393$ К							
5	365,43	360	5	386,71	383	360,33	355
10	387,02	379	10	392,25	387	384,59	380
15	391,70	383	20	392,68	390	392,44	385
20	392,72	388	30	393,00	393	392,96	390
25	393,00	393	40	-	-	393,00	393
Температура воздуха в сушильной камере, $t_e = 413$ К							
5	379,92	380	5	405,45	402	373,80	370
10	405,82	406	10	412,62	410	402,91	400
15	411,44	408	20	412,99	412	412,33	405
20	412,66	410	30	413,00	413	412,95	412
25	413,00	413	40	-	-	413,00	413
Температура воздуха в сушильной камере, $t_e = 433$ К							
5	394,42	385	5	424,19	418	387,26	378
10	424,62	425	10	432,56	430	421,23	416
15	431,18	428	20	432,99	432	432,22	427
20	432,60	430	30	433,00	433	432,94	432
25	433,00	433	40	-	-	433,00	433

Исследования процесса прогревания проведены на предварительно высушенных образцах с целью исключения влияния испаряющейся влаги на распределение температуры.

Анализ кинетических кривых прогревания слоистых текстильных материалов позволяет сделать следующие выводы:

- с ростом температуры воздуха в сушильной камере прогревание слоистых материалов до заданной температуры протекает интенсивнее;
- с увеличением поверхностной плотности текстильного покрытия продолжительность прогревания возрастает;
- отклонение расчетных и экспериментальных значений не превышает 5%, что подтверждает правильность преобразования слоистого текстильного материала в эквивалентный однослойный и возможность использования математической модели (5.28) для расчета продолжительности периода прогревания слоистого текстильного материала;

- наибольшая погрешность в скорости прогревания слоистого текстильного материала наблюдается в начальный момент времени, время экспериментальное и расчетное достижения установившейся температуры совпадает.

От условий формирования слоистых текстильных материалов, в частности, от толщины клеевой пленки, концентрации раствора полимерного связующего зависит глубина его проникновения в текстильное полотно и соответственно начальная влажность материала. Как известно [151], влажность влияет и на теплофизические свойства текстильных материалов – теплопроводность, теплоемкость. Однако, исследования зависимости изменения температуры в плоскости соприкосновения слоев от начальной влажности (рисунок 5.11) показали незначительное влияние на режим прогревания, что связано, по-видимому, со значительно большей толщиной текстильного полотна по сравнению с пленкой полимерного связующего.

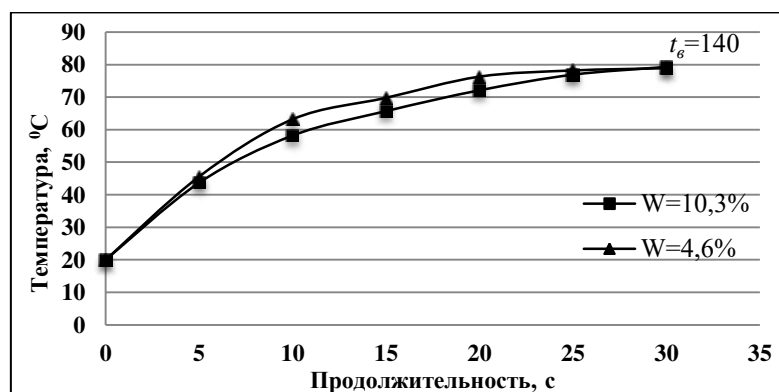


Рисунок 5.11 – Изменения температуры в плоскости соприкосновения слоев от начальной влажности в периоде прогревания слоистого текстильного материала

Результаты теоретических и экспериментальных исследований позволили предложить методику расчета оптимальной продолжительности процесса сушки слоистых текстильных материалов.

5.3. Методика расчета продолжительности сушки слоистых текстильных материалов

Результаты анализа экспериментальных и расчетных данных позволяют предложить следующую методику расчета продолжительности процесса сушки слоистых текстильных материалов:

1. Из условия (5.1) задается температура воздуха в сушильной камере t_g .
2. Задается начальная W_0 , равновесная W_p , критическая $W_{кр}$ и критическая приведенная $W_{кр.п.}$ влажность материала, скорость сушки в периоде постоянной скорости сушки N .

3. Задаются геометрические и теплофизические свойства слоев текстильного композита:

δ_1 – толщина материала основы, м;

δ_2 – толщина текстильного покрытия, м;

P – пористость текстильного материала, %;

ω_1 – доля материала основы;

ω_2 – доля текстильного материала;

λ_1 – теплопроводность материала основы, Вт/(м·град);

$\lambda_{\text{в}}$ – теплопроводность волокна, Вт/(м·град);

c_1 – теплоемкость материала основы, Дж/кг·град);

c_2 – теплоемкость материала основы, Дж/кг·град);

γ_1 – объемная плотность материала основы, кг/м³;

γ_2 – объемная плотность текстильного покрытия, кг/м³.

4. Расчет теплопроводности текстильного материала с учетом его пористости по формуле:

$$\lambda = 0,0259 \cdot \left[1 + \frac{(1 - P)}{\frac{P}{4} + \frac{0,0259}{\lambda_{\text{в}} - 0,0259}} \right]$$

5. Преобразование двухслойного материала в однослойный
- расчет эквивалентного коэффициента теплопроводности

$$\lambda_{\text{экв}} = \frac{\delta_1 + \delta_2}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2}}$$

- расчет теплоемкости

$$c = \omega_1 c_1 + \omega_2 c_2$$

- расчет объемной плотности

$$\gamma = \frac{\omega_1 \gamma_1 + \omega_2 \gamma_2}{2}$$

- расчет толщины

$$R = \delta_1 + \delta_2$$

- расчет коэффициента температуропроводности для преобразованного в однослойный слоистого материала

$$a = \frac{\lambda_{\text{эке}}}{c \cdot \gamma}$$

6. Расчет продолжительности периода прогревания слоистого текстильного материала по формуле:

$$t(0, \tau) = t_0 + 1,27(t_B - t_0) \cdot e^{-1,57 \frac{a\tau_0}{R^2}}$$

$$\tau_0 = \frac{-R^2}{1,57a} \ln \left(\frac{t - t_0}{1,27(t_B - t_0)} \right)$$

7. Расчет относительного коэффициента сушки

$$\chi = \frac{1,8}{W_0}$$

8. Расчет суммарной продолжительности первого (постоянной скорости) и второго (падающей скорости) периодов сушки

$$\tau_{1-2} = \frac{1}{N} \left[W_0 - W_{\text{кр.п.}} + \frac{1}{\chi} \ln \frac{W_{\text{кр.п.}} - W_p}{W_{\text{кр.}} - W_p} \right].$$

9. Расчет общей продолжительности сушки

$$\tau = \tau_0 + \tau_{1-2}$$

5.4. Исследование сушки и термообработки каркасных текстильных материалов

Каркасный текстильный материал формируемый способом пропитки тканого полотна водной дисперсией полимерного связующего в отличие от слоистых материалов, после отжима содержит влаги 40-70%. При сушке таких материалов расходуется большое количество тепловой энергии. Кроме того, важным является вопрос миграции дисперсных частиц полимерного связующего к поверхностным слоям, что приводит к неравномерности распределения по толщине и ухудшению свойств готового материала.

Анализируя кинетику сушки каркасных материалов (рисунок 5.6), можно выделить два характерные участка. На участке *AB* происходит быстрый подвод

влаги к поверхности материала и испарение. В этом периоде удаляется основная часть влаги (механически связанной), содержащейся в сквозных и межволоконных порах текстильного материала независимо от его сырьевого состава. В точке *B* начинается уменьшение скорости сушки, граница испарения перемещается к поверхности материала до тех пор пока не удалится капиллярная влага. Согласно классификации П.А. Ребиндера различают три вида капиллярной влаги [46, 196] :

- собственно капиллярная влага заполняет капилляры пористого материала;
- фуникулярная влага находится в капиллярах в виде сравнительно коротких разобщенных газовой фазой столбиков с менисками на концах;
- пендулярная влага присутствует в материале в виде разобщенных менисков в местах стыка волокон.

Как видно (рисунок 5.6), интенсивность сушки во втором периоде зависит от природы волокнистого материала. Для композиционных текстильных материалов из синтетических волокон наклон участка *BC* больше, чем для материалов из вискозных волокон. Для материалов из вискозных волокон общую продолжительность сушки определяет продолжительность периода падающей скорости (*BC*). На участке *CD* удаляется влага с физико-химической связью и скорость сушки зависит от скорости ее диффузии внутри вещества из которого состоит текстильный композит. Для материалов из синтетических волокон этом участке влажность материала практически достигла своего равновесного значения.

При сушке каркасных текстильных материалов особое значение имеет перемещение капиллярной влаги, количество которой зависит от природы волокнистого материала, пористости текстильного полотна и концентрации полимерного связующего. Результаты исследований влияния пористости волокнистого материала на общую продолжительность сушки представлены в работах [46, 123, 194]. Установлено, что с увеличением пористости скорость сушки в первом и втором периоде возрастает. Поэтому целью дальнейших исследований является исследование зависимости скорости сушки каркасных текстильных материалов от концентрации полимерного связующего.

5.4.1. Исследование зависимости скорости сушки каркасного текстильного материала от концентрации полимерного связующего

В зависимости от назначения каркасных текстильных материалов сушке подвергаются тканые полотна, пропитанные водной дисперсией полимерного связующего концентрация которого варьируется в диапазоне 50 – 500 г/л. Одновременно с сушкой волокнистого материала происходит сушка самой дисперсии.

Изучению сушки растворов и дисперсий на различных подложках проводились учеными научной школы профессора В.И. Коновалова ТГТУ [200]. Установлены основные типы температурных кривых при сушке дисперсий по характеру формирования температурных площадок [198]. Характер формирования температурных площадок зависит от физических изменений, происходящих при сушке дисперсии, таких как структурирование и кристаллообразование. Исследование кинетики нагревания каркасных материалов из полиамидных нитей, пропитанных водной дисперсией стирол-акрилата (рисунок 5.12) показали, что наблюдается формирование только одной температурной площадки, близкой по значению к температуре мокрого термометра t_m , независимо от концентрации полимерного связующего структурирования не происходит.

Пленкообразование при сушке дисперсии условно можно разделить на три стадии (рисунок 5.13). На *первой стадии* при испарении воды происходит сближение частиц дисперсии, усиление взаимодействия между ними и повышение вязкости. Сушка протекает с постоянной скоростью, содержание воды в дисперсии по окончании этого периода не превышает 30%. *Вторая стадия* характеризуется дальнейшим удалением воды, разрушением имеющихся на поверхности глобул адсорбционно-гидратных оболочек, конденсацией частиц, образование псевдопленки – плотно уложенных деформированных частиц в форме многогранников.

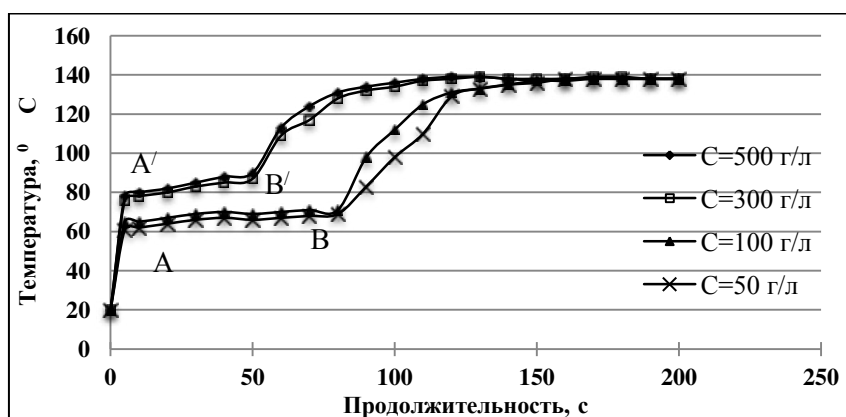


Рисунок 5.12 – Температурные кривые сушки каркасных текстильных материалов из полиамидных нитей ($t_m=140^{\circ}\text{C}$)

На *третьей стадии* происходит слияние глобул, полимерные частицы коалесцируют. Чем выше капиллярное давление и поверхностное натяжение полимерной дисперсии, тем выше скорость пленкообразования. При образовании пленки полимер должен находиться в высокоэластическом или вязкотекучем состоянии, т.е. при температуре стеклования (t_c).

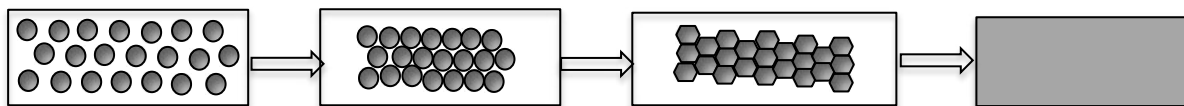


Рисунок 5.13 – Схема процесса пленкообразования

Анализ температурных кривых (рисунок 5.12) показывает, что в начальный момент времени происходит быстрое прогревание материала до температуры мокрого термометра. Далее уровень и наклон температурных площадок АВ и А'В' зависит от концентрации полимерной дисперсии.

Несмотря на то, что дисперсные частицы мало активны в смысле молекулярно-кинетического взаимодействия с водой, однако при увеличении концентрации дисперсии выше 100 г/л наблюдается повышение температуры кипения воды, снижение давления насыщенных паров воды над поверхностью материала p_n и соответственно интенсивность сушки в периоде постоянной скорости уменьшается, при этом увеличивается наклон температурной площадки в области t_m . При увеличении концентрации увеличивается поверхностное натяжение и капиллярное давление дисперсии, возрастает скорость пленкообразования во втором периоде сушки.

С целью определения влияния концентрации связующего на интенсивность и общую продолжительность проведены исследования сушки материалов из полиамидных и вязкозных нитей в первом и втором периоде при различных концентрациях полимерного связующего (рисунки 5.14, 5.15).

Кинетика в периоде постоянной скорости сушки описывается линейной зависимостью со скоростью N (%/с), в периоде падающей скорости сушки - экспонентной:

$$\ln W = b_2 x + a_2$$

где W – влажность каркасного текстильного материала, %;

x – продолжительность сушки, с;

b_2 – скорость убыли скорости сушки во втором периоде, с^{-1} ;

a_2 – коэффициент.

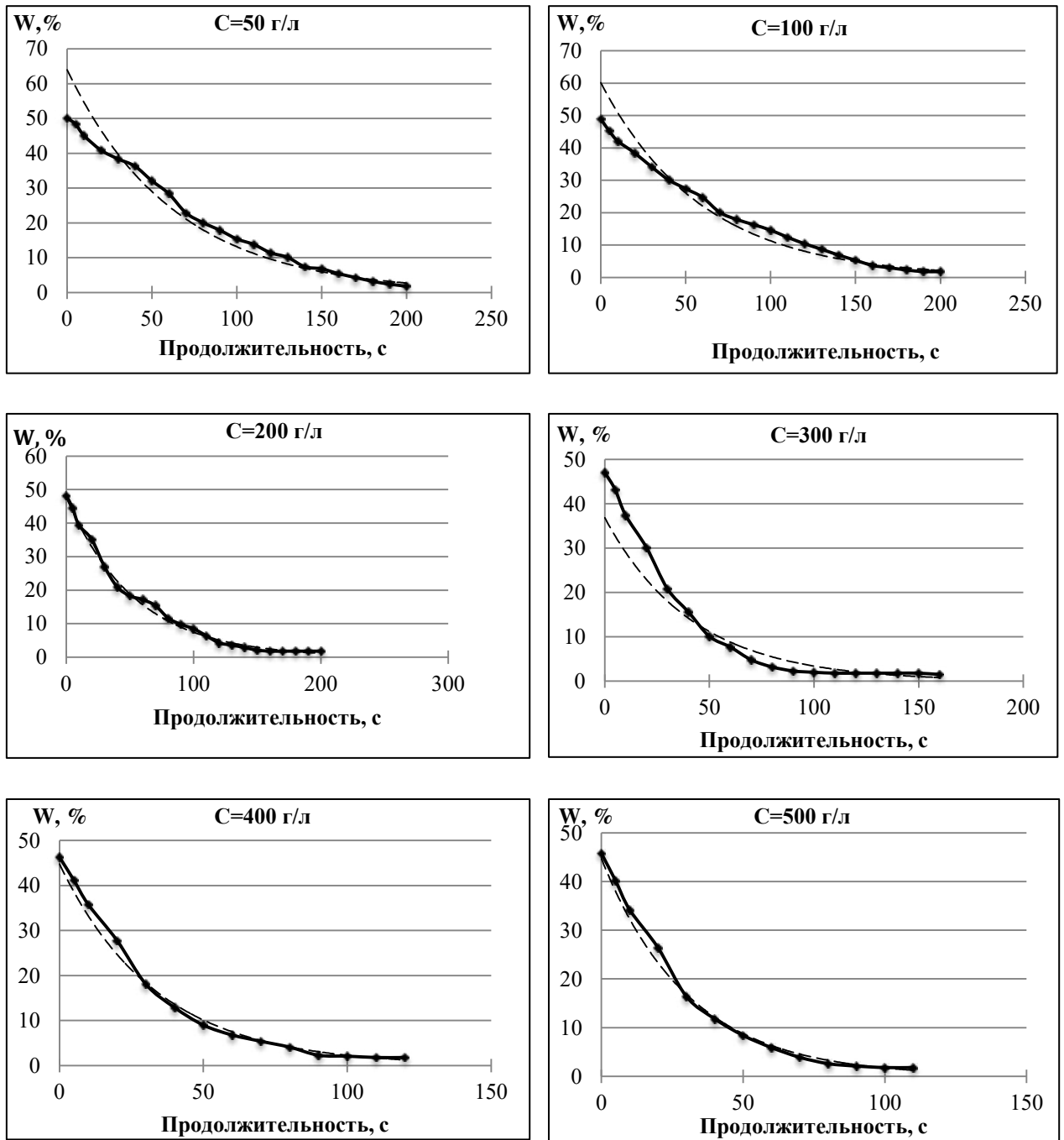


Рисунок 5.14 – Зависимость кинетики сушки каркасных текстильных материалов из полиамидных нитей от концентрации полимерного связующего ($t_s=140^{\circ}\text{C}$)

— экспериментальная
 - - - - - расчетная

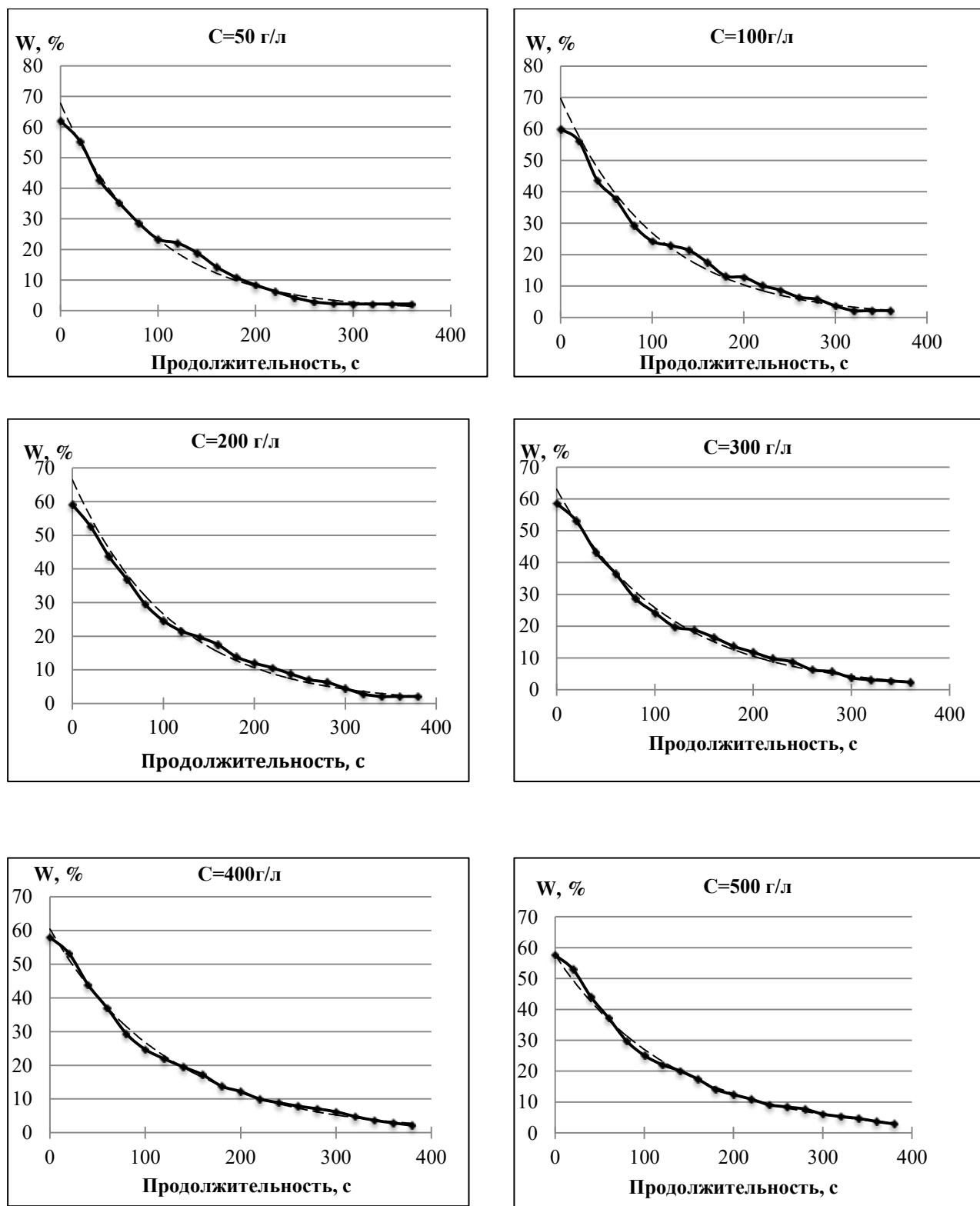


Рисунок 5.15 – Зависимость кинетики сушки каркасных текстильных материалов из вискозных нитей от концентрации полимерного связующего ($t_0=140^{\circ}\text{C}$)

— экспериментальная
 - - - - - расчетная

В таблице 5.5 представлены результаты исследования влияния концентрации дисперсии полимерного связующего на кинетику сушки каркасных текстильных материалов.

Изменение концентрации полимерного связующего влияет на начальную влажность материала W_0 , с увеличением концентрации водной дисперсии полимерного связующего уменьшается начальное влагосодержание.

Таблица 5.5 – Влияние концентрации полимерного связующего на кинетику сушки

Вид материала	Начальная влажность, W_0 , %	Скорость сушки		Продолжительность сушки до W_p , с	
		в периоде постоянной скорости, N %/с	в периоде падающей скорости, b_2 , с ⁻¹	расч. табл. И.1./расч. формула (5.8)	эксп.
Полиамидная ткань					
50 г/л	50,1	0,36	-0,021	223/226	215
100 г/л	48,9	0,38	-0,023	206/208	200
200 г/л	48,2	0,62	-0,024	172/162	165
300 г/л	47,1	0,75	-0,027	125/130	133
400 г/л	46,3	0,84	-0,029	107/114	110
500 г/л	45,8	0,86	-0,032	97/95	100
Вискозная ткань					
50 г/л	62,0	0,40	-0,011	311/305	310
100 г/л	60,0	0,38	-0,011	345/353	340
200 г/л	58,8	0,35	-0,01	377/375	370
300 г/л	58,6	0,34	-0,01	378/386	380
400 г/л	58,0	0,32	-0,009	414/406	400
500 г/л	57,4	0,31	-0,008	414/415	400

Так для материалов из гидрофобных полиамидных нитей начальная влажность W_0 уменьшается с 50,1% при концентрации дисперсии полимерного связующего 50 г/л до 45,8% при концентрации 500 г/л; для материалов из гидрофильных вискозных нитей с 62,0% при концентрации дисперсии стирол-акрилата 50 г/л до 57,6% при концентрации 500 г/л.

При увеличении концентрации водной дисперсии полимерного связующего скорость сушки в периоде постоянной скорости N увеличивается для материалов из гидрофобных полиамидных нитей и уменьшается для материалов из гидрофильных вискозных нитей.

Анализируя результаты по скорости во втором периоде и общей продолжительности сушки можно сделать вывод, что для материалов из гидрофобных синтетических нитей интенсивность испарения влаги во втором периоде с увеличением концентрации водной дисперсии увеличивается и общая продолжительность сушки уменьшается. И совсем обратная закономерность наблюдается для материалов из гидрофильных вязкозных нитей – с увеличением концентрации полимерной дисперсии интенсивность испарения влаги во втором периоде уменьшается, общая продолжительность сушки увеличивается. Это можно объяснить тем, что материалы из синтетических волокон обладают менее развитой пористостью и способностью удерживать влагу, чем целлюлозные и гидратцеллюлозные. Основная часть влаги, удаляется из сквозных пор и капилляров в периоде постоянной скорости сушки. Синтетические волокна практически не содержат осмотической влаги (влаги набухания). К началу второго периода сушки, когда для полимерной дисперсии увеличивается скорость пленкообразования, влагосодержание материала достигает 10% при концентрации полимерной дисперсии 50 г/л и 15% при концентрации дисперсии 500 г/л.

Вязкозные волокна и нити имеют развитую систему сквозных и тупиковых пор. При сушке сначала удаляется свободная влага, находящаяся в капиллярах и порах, осмотическая и влага в фуникулярном состоянии. Затем удаляется влага пещерная и влага с физико-химической формой связи. С увеличением концентрации дисперсии полимерного связующего повышается ее вязкость и скорость продвижения влаги из глубинных слоев к поверхности материала уменьшается. Кроме того, при увеличении концентрации возрастает скорость пленкообразования, что также затрудняет удаление влаги из мелких и тупиковых капилляров волокнистого материала.

В результате экспериментальных исследований кинетики сушки каркасных текстильных материалов из полиамидных и вязкозных нитей получены математические модели, позволяющие рассчитать продолжительность сушки до W_p при концентрации водной дисперсии 50 – 500 г/л (таблица 5.6).

Скорость сушки в периоде постоянной скорости N в диапазоне концентраций полимерного связующего 50 – 500 г/л имеет линейную зависимость от концентрации:

- для полиамидных материалов:

$$N = 0,0012 \cdot c + 0,3178 ; \quad (5.31)$$

- для вязкозных материалов:

$$N = -0,0002 \cdot c + 0,4178. \quad (5.32)$$

Таблица 5.6 – Математические модели сушки каркасных текстильных материалов

Концентрация полимерного связующего	Полиамидные материалы	Вискозные материалы
50 г/л	$W_{50} = 64,02 \cdot e^{-0,016 \cdot \tau}$ $R^2=0,97019$	$W_{50} = 67,71 \cdot e^{-0,011 \cdot \tau}$ $R^2=0,97325$
100 г/л	$W_{100} = 60,17 \cdot e^{-0,017 \cdot \tau}$ $R^2=0,96985$	$W_{100} = 69,73 \cdot e^{-0,01 \cdot \tau}$ $R^2=0,97719$
200 г/л	$W_{200} = 47,82 \cdot e^{-0,019 \cdot \tau}$ $R^2=0,97805$	$W_{200} = 66,50 \cdot e^{-0,009 \cdot \tau}$ $R^2=0,98219$
300 г/л	$W_{300} = 36,86 \cdot e^{-0,024 \cdot \tau}$ $R^2=0,91576$	$W_{300} = 63,00 \cdot e^{-0,009 \cdot \tau}$ $R^2=0,99175$
400 г/л	$W_{400} = 44,75 \cdot e^{-0,03 \cdot \tau}$ $R^2=0,98541$	$W_{400} = 60,44 \cdot e^{-0,008 \cdot \tau}$ $R^2=0,90218$
500 г/л	$W_{500} = 44,74 \cdot e^{-0,033 \cdot \tau}$ $R^2=0,98501$	$W_{500} = 59,63 \cdot e^{-0,008 \cdot \tau}$ $R^2=0,99651$

Обобщая результаты экспериментальных исследований процесса сушки каркасных текстильных материалов из химических нитей, можно сделать следующие выводы:

- при увеличении концентрации водной дисперсии стирол-акрилата уменьшается начальное влагосодержание материала W_0 ;
- при сушке материалов из гидрофобных полиамидных нитей с увеличением концентрации водной дисперсии стирол-акрилата 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.

5.4.2. Исследование процесса термофиксации каркасного текстильного материала

Каркасный текстильный материал, полученный способом пропитки тканого полотна подвергается процессу термообработки. Образованная после сушки пленка полимерного связующего характеризуется наличием нескоалисцированных глобул, неоднородной структурой, что не обеспечивает придание требуемых свойств готовому материалу. Последующая после сушки термообработка (термофиксация) необходима для структурирования полимерной пленки на поверхности волокнистого материала, что достигается при температуре 160 – 180⁰С.

В процессе термообработки материал приобретает такие важные свойства как необходимую жесткость и формоустойчивость, грязе-, водоотталкивание, огне-, термостойкость и другие в зависимости от используемого состава полимерной композиции. Выбор рациональных режимов термообработки (продолжительности, температуры) зависит от свойств каркасного текстильного материала. Критерием оценки оптимальной температуры формирования ориентировочно может служить температура стеклования полимерного связующего t_c .

После сушки материал нагревается до температуры воздуха в сушильных секциях и на входе в секции термофиксации имеет начальную температуру $t_m = t_g$. В непрерывном технологическом процессе материал проходит через секции термокамеры в течении заданного времени. Необходимо определить зависимость между температурой и временем термообработки, необходимого для прогревания материала до заданной температуры термофиксации t_t и завершения процессов структурообразования полимерной композиции.

Для выработки практических рекомендаций по определению рациональных режимов термофиксации воспользуемся формулой (5.28), которая для каркасных материалов имеет следующий вид [1-А, 7-А]:

$$t(0, \tau) = t_m + 1,27(t_t - t_m) \cdot e^{-1,57 \frac{a\tau_t}{R^2}}, \quad (5.33)$$

где $t(0, \tau)$ – температура в центре материала в момент времени τ , °С;
 t_t – температура термофиксации, °С;
 t_m – температура материала на выходе из сушильных секций, °С;
 a – коэффициент температуропроводности каркасного текстильного материала, м²/с;
 R – ½ толщины материала, м;
 τ_t – продолжительность термофиксации, с.

Для расчета тепловых полей в поперечном сечении комбинированного каркасного материала необходимо определить его теплофизические свойства после пропитки водной дисперсией полимерного связующего различной концентрации, последующей сушки в процессе которой дисперсные частицы распределились в объеме текстильного полотна, а также их зависимость от температуры.

Для гетерогенных систем, которыми являются комбинированные материалы, известна расчетная формула теплопроводности, полученная на основании теории Максвелла, рассчитавшего поле системы, состоящей из изотропной среды, в которую вкраплены посторонние частицы сферической формы [201, 202]:

$$\lambda_{\text{эфф}} = \lambda_1 \left(\frac{\lambda_2 + 2\lambda_1 - 2\omega(\lambda_1 - \lambda_2)}{\lambda_2 + 2\lambda_1 + \omega(\lambda_1 - \lambda_2)} \right), \quad (5.34)$$

где $\lambda_{\text{эфф}}$ – эффективная теплопроводность гетерогенной системы;
 λ_1 – теплопроводность непрерывной фазы;
 λ_2 – теплопроводность диспергированной фазы;
 ω – объемная концентрация диспергированной фазы.

Однако, комбинированные материалы являются анизотропными и формула (5.34) не пригодна для расчета коэффициента теплопроводности.

Известны формулы для полимерных композитов с волокнистым наполнителем, учитывающие пространственную ориентацию армирующих волокон по отношению к тепловому потоку [23].

- при расположении армирующих волокон вдоль теплового потока

$$\lambda = \lambda_{\text{в}}\omega_{\text{в}} + \lambda_{\text{м}}(1 - \omega_{\text{в}}) \quad (5.35)$$

- при перпендикулярном расположении армирующих волокон

$$\lambda = \lambda_{\text{м}} + \frac{2,54\omega_{\text{в}}\lambda_{\text{в}}}{1 - 1,27\omega_{\text{в}} + \frac{2,54\lambda_{\text{в}}}{\lambda_{\text{в}} - \lambda_{\text{м}}}} \quad (5.36)$$

где $\lambda_{\text{в}}$, $\lambda_{\text{м}}$ – коэффициенты теплопроводности армирующих волокон и полимерной матрицы;

$\omega_{\text{в}}$ $\omega_{\text{м}}$ – доля армирующих волокон и полимерной матрицы.

Другие модели, основанные на «парциальных» вкладах связующего и текстильного материала также не согласуются с экспериментальными данными. В процессе теплопереноса существенную роль играют не только свойства и относительные содержания компонентов материала, но и форма дисперсных частиц, их распределение в материале, агрегация частиц, изменение пористости.

Зависимость коэффициента теплопроводности каркасных текстильных материалов от температуры выражается формулой [131]:

$$\lambda(t) = \lambda_0 + \beta t, \quad (5.37)$$

где λ_0 – коэффициент теплопроводности при $t = 0^\circ\text{C}$, Вт/(м К);
 $\lambda(t)$ – коэффициент теплопроводности при текущей температуре материала, Вт/(м К);
 β – эмпирический коэффициент.

По данным работы [199] в интервале температур от 30 до 75 °С коэффициент теплопроводности изменяется незначительно и для инженерных расчетов его можно пренебречь, однако, при увеличении температуры выше 75 °С происходит заметное увеличение λ .

Теплоемкость каркасных текстильных материалов, в отличие от теплопроводности, в меньшей мере зависит от распределения дисперсных частиц и пористости, при расчетах применимо правило аддитивности:

$$C = \omega_B C_B + \omega_{CB} C_{CB} \quad (5.38)$$

Проведены экспериментальные исследования зависимости коэффициента теплопроводности, а также теплоемкости каркасных текстильных материалов из полиамидных и вискозных нитей от концентрации полимерного связующего и температуры. Измерение коэффициента теплопроводности и его зависимости от температуры проводились на калориметре ИТ – λ – 400 методом монотонного нагрева материала, для измерения коэффициента удельной теплоемкости и ее зависимости от температуры использовался калориметр ИТ – c – 400 методом монотонного нагрева материала в адиабатическом режиме. Объемная плотность материалов определялась весовым методом, толщина - в соответствии с ГОСТ 12023-2003 Материалы текстильные и изделия из них. Методы определения толщины. Исследования проведены в лаборатории кафедры «Экология и химические технологии» УО «ВГТУ». Результаты представлены в таблицах 5.7, 5.8 и на рисунке 5.16.

Так как, размер пор каркасного текстильного материала мал, влиянием процессов передачи тепла путем конвекции и излучения можно пренебречь [199].

Таблица 5.7 – Геометрические свойства каркасных текстильных материалов

Концентрация дисперсии полимерного связующего, г/л	Полиамидный		Вискозный	
	Объемная плотность, кг/см ³	Толщина, м	Объемная плотность, кг/см ³	Толщина, м
0	219	0,0021	218	0,00192
50	221	0,0019	220	0,00189
100	223	0,0020	221	0,0019
150	223	0,0020	222	0,0020
200	224	0,0020	226	0,0021
300	227	0,0022	229	0,0021
400	229	0,0022	234	0,0022
500	233	0,0024	238	0,0025

Таблица 5.8 – Изменение теплофизических свойств в зависимости от концентрации связующего и температуры воздуха

Температура, °С	Коэффициент теплопроводности $\lambda_{c,t}$, Вт/м К							
	<i>материал из полиамидных нитей</i>				<i>материал из вискозных нитей</i>			
	200 г/л	300 г/л	400 г/л	500 г/л	200 г/л	300 г/л	400 г/л	500 г/л
25	0,102	0,203	0,410	0,825	0,075	0,140	0,291	0,560
50	0,109	0,205	0,412	0,822	0,074	0,141	0,289	0,562
75	0,112	0,217	0,414	0,831	0,075	0,144	0,325	0,563
100	0,119	0,231	0,431	0,854	0,077	0,146	0,346	0,570
125	0,126	0,247	0,467	0,868	0,079	0,149	0,351	0,572
150	0,129	0,264	0,513	0,880	0,081	0,150	0,353	0,574
175	0,131	0,298	0,531	0,891	0,084	0,153	0,361	0,575
200	0,134	0,303	0,550	0,896	0,087	0,155	0,366	0,577
Коэффициент удельной теплоемкости C , Дж/ кг К								
25	1323	1327	1328	1331	1140	1142	1174	1181
50	1321	1329	1422	1465	1138	1140	1234	1238
75	1354	1348	1594	1598	1176	1192	1296	1310
100	1379	1412	1636	1675	1218	1224	1368	1396
125	1410	1468	1695	1715	1257	1272	1436	1445
150	1454	1491	1732	1744	1291	1314	1541	1568
175	1486	1554	1793	1812	1315	1327	1671	1683
200	1515	1567	1855	1865	1366	1393	1754	1792

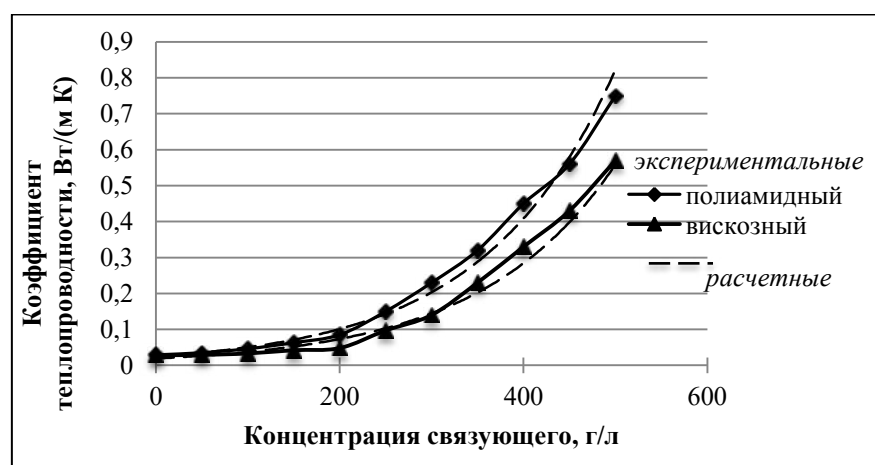


Рисунок 5.16 – Зависимость коэффициента теплопроводности от концентрации полимерного связующего при $t = 20^{\circ}\text{C}$

Анализ результатов показывает, что при увеличении концентрации полимерного связующего коэффициент теплопроводности возрастает, что можно объяснить уменьшением пористости каркасного текстильного материала.

При одинаковой концентрации связующего теплопроводность вискозного материала меньше, чем полиамидного, что объясняется большей долей аморфных областей вискозного волокна. В области концентраций от 50 до 200 г/л коэффициент теплопроводности монотонно возрастает, при увеличении концентрации выше 200 г/л происходит его резкое увеличение. Для инженерных расчетов уравнения зависимости коэффициента теплопроводности от концентрации полимерного связующего:

- материал из полиамидных нитей

$$\lambda_c = 0,025 \cdot e^{0,007 \cdot c}; \quad (5.39)$$

- материал из вискозных нитей

$$\lambda_c = 0,0189 \cdot e^{0,0068 \cdot c}. \quad (5.40)$$

Теплоемкость каркасных текстильных материалов при температуре 20 – 25 °С рассчитывается по формуле (5.38) и для материалов из вискозных нитей практически не зависит от концентрации полимерного связующего, так как для используемой дисперсии полимерного связующего и вискозной нити теплоемкость практически одинакова (1,5–1,6 кДж/кг К [203]). С уменьшением пористости материала за счет распределения частиц полимерного связующего теплоемкость увеличивается, что объясняется большей теплоемкостью материала по сравнению с теплоемкостью воздуха (0,94 кДж/кг К). Для материалов из полиамидных нитей теплоемкость изменяется незначительно, что связано с уменьшением доли полимерного связующего, обладающего меньшей теплоемкостью, и пористости материала.

С увеличением температуры теплопроводность и теплоемкость материалов из полиамидных и вискозных нитей возрастает. Значения коэффициентов λ_t и C_t при промежуточных температурах в интервале от 25 до 200 °С могут быть определены методом интерполяции [199]:

$$\lambda_{c,t} = \lambda_{c,min} + \frac{(\lambda_{c,max} - \lambda_{c,min}) \cdot (t_m - t_{min})}{t_{max} - t_{min}}, \quad (5.41)$$

$$C_t = C_{min} + \frac{(C_{max} - C_{min}) \cdot (t - t_{min})}{t_{max} - t_{min}}, \quad (5.42)$$

где λ_{max} , λ_{min} , C_{max} , C_{min} , t_{max} , t_{min} – граничные значения коэффициентов теплопроводности, удельной теплоемкости и температуры между которыми находится текущее значение t .

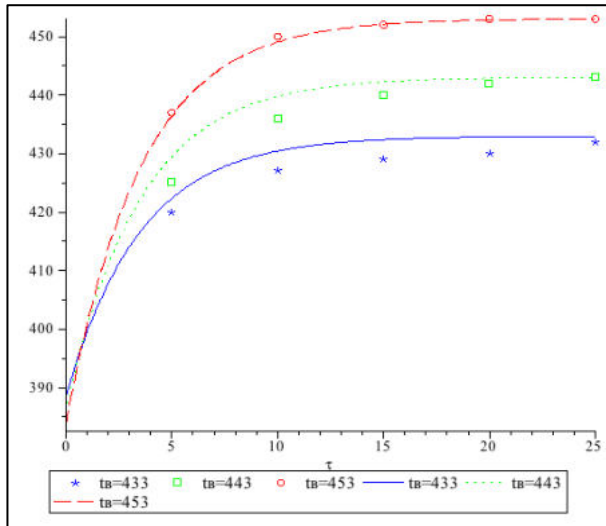
Коэффициент температуропроводности каркасных материалов при температуре t и концентрации связующего c определяется по формуле:

$$a_{c,t} = \frac{\lambda_{c,t}}{C_t \cdot \gamma} \quad (5.43)$$

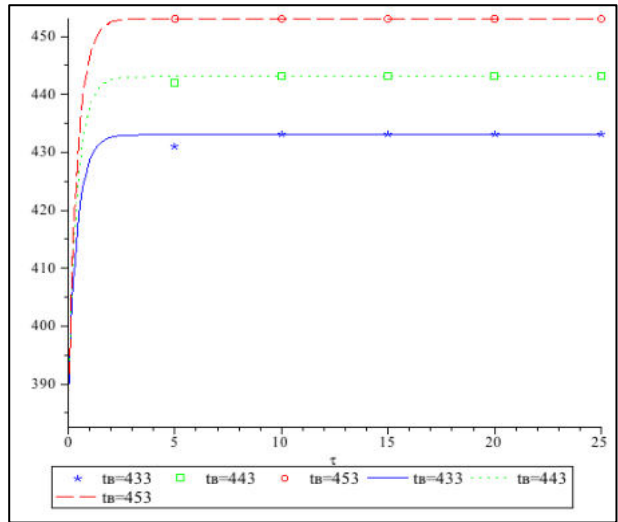
Для исследования прогревания материала составлена программа в системе компьютерной алгебры Maple, которая представлена в Приложении И [59-А]. Экспериментальные и расчетные результаты исследования кинетики нагрева каркасных текстильных материалов представлены на рисунке 5.17.

Каркасный текстильный материал из полиамидных нитей

Т, К *полимерное связующее 200 г/л*

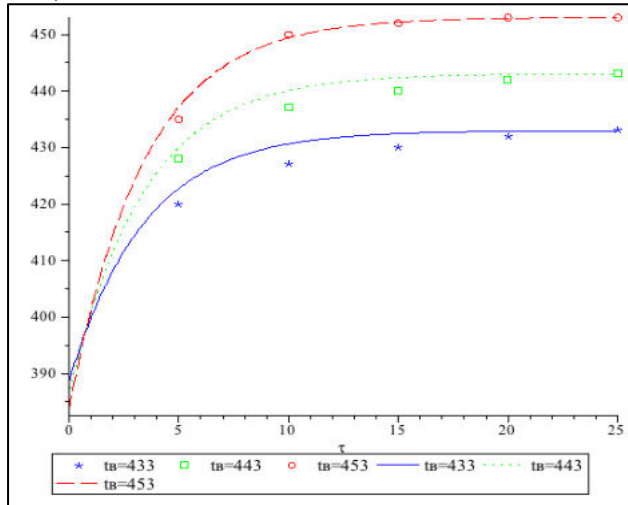


Т, К *полимерное связующее 500 г/л*



Каркасный текстильный материал из вискозных нитей

Т, К *полимерное связующее 200 г/л*



Т, К *полимерное связующее 500 г/л*

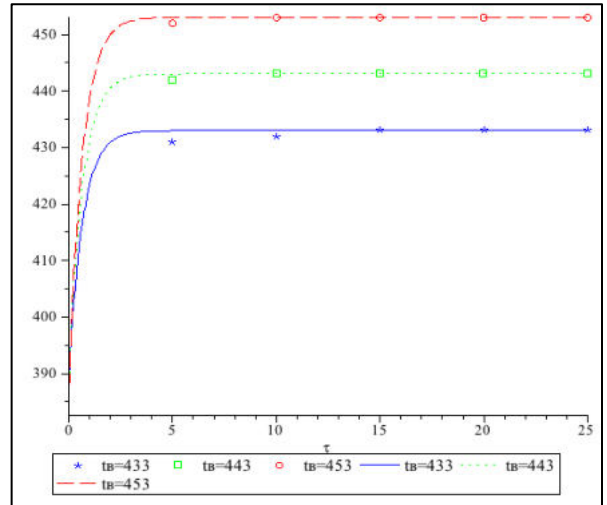


Рисунок 5.17 – Кинетика прогревания каркасных текстильных материалов (температура материала на выходе из сушильной камеры 125⁰С)

В результате исследований установлено, что продолжительность прогревания не зависит от сырьевого состава текстильного полотна, а также температуры материала после сушки и определяется концентрацией полимерного связующего, а также толщиной материала (рисунок 5.18). При концентрации полимерного связующего 50 – 200 г/л прогревание протекает в течении 20 – 25 сек., при увеличении концентрации продолжительность сокращается до 5 сек. Погрешность экспериментальных и расчетных данных не превышает 5 %, что позволяет использовать формулу (5.33) для определения продолжительности прогревания при производстве каркасных текстильных материалов способом пропитки водными дисперсиями полимерных связующих с размером частиц дисперсной фазы 100 – 200 нм.

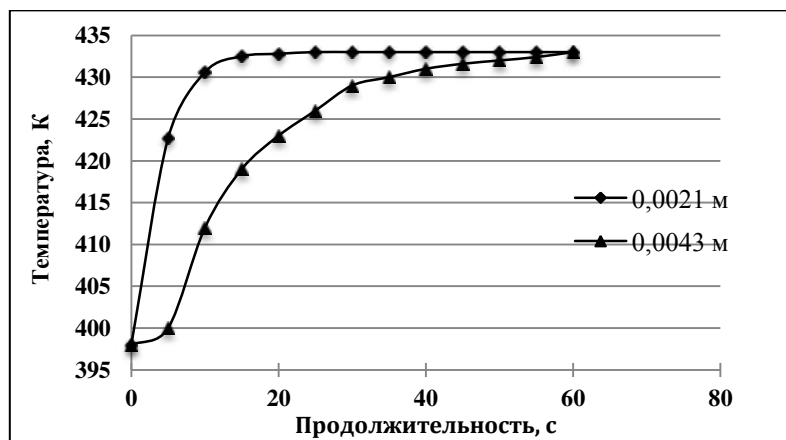


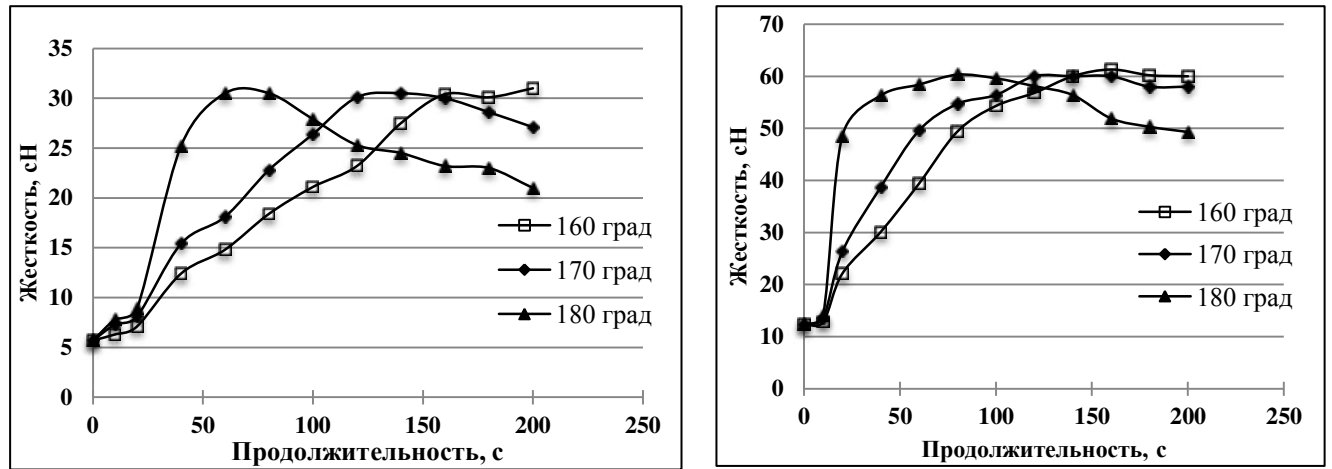
Рисунок 5.18 – Зависимость продолжительности прогревания от толщины каркасного текстильного материала из вязкозных нитей ($c=200$ г/л)

Для определения продолжительности процесса термофиксации и завершения пленкообразования проведены исследования зависимости показателя жесткости каркасного текстильного материала от продолжительности термообработки при температурах 160 – 180⁰С. Кинетические кривые пленкообразования представлены на рисунке 5.19.

Как видно, зависимости носят одинаковый для двух концентраций нелинейный характер и их можно условно разделить на три участка, различающихся углом наклона кривых. На первом участке показатель жесткости практически не изменяется. Этот участок соответствует прогреванию материала до температуры t_i и его продолжительность 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. Точка перегиба на кривых соответствует

завершению пленкообразования и оптимальному значению температуры и продолжительности термофиксации.



(а)

(б)

(а) – концентрация полимерного связующего 200 г/л;

(б) – концентрация полимерного связующего 500 г/л.

Рисунок 5.19 – Кинетические кривые процесса пленкообразования

При $t_f=170-180$ °С жесткость снижается после оптимального значения продолжительности. Это свидетельствует о протекании деструктивных процессов, что снижает качественные показатели и внешний вид готового материала. Установлена оптимальная продолжительность процесса термофиксации, которая составляет 60 с при $t_f=180$ °С, 120 с при $t_f=170$ °С и 180 с при $t_f=160$ °С. При этом необходимо учитывать продолжительность прогрева каркасного текстильного материала, которая зависит от его геометрических свойств и концентрации полимерного связующего.

Анализ результатов теоретических и экспериментальных исследований позволил предложить методику расчета оптимальной продолжительности процесса сушки и термообработки каркасных текстильных материалов.

5.4.3. Методика расчета продолжительности сушки и термообработки каркасных текстильных материалов

Методика расчета продолжительности сушки и термообработки каркасных текстильных материалов состоит из следующих этапов:

1. Из условия (5.1) задается температура воздуха в сушильной камере $t_{\text{в}}$, t_{min} , t_{max} ($t_{\text{min}} < t_{\text{в}} < t_{\text{max}}$) и в камере термофиксации t_f .
2. Задается начальная W_0 и равновесная W_p влажность материала.
3. Задаются геометрические и теплофизические свойства текстильного композита:

δ – толщина каркасного текстильного материала, $R=0,5\delta$ м;

ω_1 – доля тканого полотна;

ω_2 – доля полимерного связующего;

C_1 – теплоемкость тканого полотна, Дж/ кг·град);

C_2 – теплоемкость полимерного связующего, Дж/ кг·град);

$\lambda_{min}, \lambda_{max}$ – коэффициенты теплопроводности каркасного текстильного материала при t_{min} и t_{max} соответственно, Вт/м К (таблица 5.9);

C_{min}, C_{max} – коэффициенты теплоемкости каркасного текстильного материала при t_{min} и t_{max} соответственно, Дж/ кг К (таблица 5.9);

c – концентрация полимерного связующего, г/л

γ – объемная плотность каркасного текстильного материала, кг/м³.

4. Расчет скорости сушки N в первом периоде

- для полиамидных материалов:

$$N = 0,0012 \cdot c + 0,3178$$

- для вязкозных материалов:

$$N = -0,0002 \cdot c + 0,4178$$

5. Расчет относительного коэффициента сушки

$$\chi = \frac{1,8}{W_0}$$

6. Расчет суммарной продолжительности первого (постоянной скорости) и второго (падающей скорости) периодов сушки

$$\tau_{1-2} = \frac{1}{N} \left[W_0 - W_{кр.п.} + \frac{1}{\chi} \ln \frac{W_{кр.п.} - W_p}{W_{кр.п.} - W_p} \right]$$

7. Расчет теплопроводности каркасного текстильного материала при заданной концентрации полимерного связующего по формулам:

- материал из полиамидных нитей

$$\lambda_c = 0,025 \cdot e^{0,007 \cdot c}$$

- материал из вязкозных нитей

$$\lambda_c = 0,0189 \cdot e^{0,0068 \cdot c}$$

8. Расчет теплоемкости каркасного текстильного материала

$$C = \omega_1 C_1 + \omega_2 C_2$$

9. Расчет коэффициента теплопроводности каркасного текстильного материала на выходе из сушильной камеры при температуре $t_m = t_e$

$$\lambda_{c,t} = \lambda_{c,min} + \frac{(\lambda_{c,max} - \lambda_{c,min}) \cdot (t_m - t_{min})}{t_{max} - t_{min}}$$

10. Расчет коэффициента удельной теплоемкости C_t на выходе из сушильной камеры при температуре $t_m = t_e$

$$C_t = C_{min} + \frac{(C_{max} - C_{min}) \cdot (t - t_{min})}{t_{max} - t_{min}}$$

11. Расчет коэффициента температуропроводности каркасного текстильного материала на выходе из сушильной камеры

$$a = \frac{\lambda_{c,t}}{C_t \cdot \gamma}$$

12. Расчет продолжительности термофиксации при температуре t_t по формуле:

$$t(0, \tau) = t_m + 1,27(t_t - t_m) \cdot e^{-1,57 \frac{a\tau_t}{R^2}}$$

$$\tau_t = \frac{-R^2}{1,57a} \ln \left(\frac{t - t_m}{1,27(t_t - t_m)} \right)$$

13. Расчет суммарной продолжительности сушки и термообработки каркасного текстильного материала

$$\tau = \tau_{1-2} + \tau_t$$

ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 5

1. 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. Установлено, что для слоистых материалов клеевого способа формирования необходимо учитывать продолжительность периода прогревания материала до температуры начала испарения влаги, для каркасных материалов продолжительностью этого периода можно пренебречь. Получена математическая модель, позволяющая определять распределение температуры и продолжительность прогревания в слоистом текстильном материале различного сырьевого состава и толщины. Экспериментальные исследования прогревания слоистых текстильных материалов подтвердили адекватность математической модели.
2. Разработана методика расчета общей продолжительности сушки слоистых текстильных материалов с учетом различия сырьевого состава, геометрических и теплофизических свойств слоев, которая позволит управлять технологическими параметрами непрерывного процесса формирования готового материала.
3. В результате анализа кинетики сушки каркасных текстильных материалов установлена зависимость скорости первого и второго периодов сушки от концентрации водной дисперсии полимерного связующего, а также влияние природы волокнистого материала на общую продолжительность сушки. Разработаны и экспериментально подтверждены математические модели, позволяющие рассчитывать общую продолжительность сушки каркасных текстильных материалов полученных способом пропитки водной дисперсией полимерного связующего в диапазоне концентраций 50 – 500 г/л.
4. Проведены экспериментальные исследования и получены зависимости коэффициента теплопроводности и теплоемкости каркасных текстильных материалов из полиамидных и вискозных нитей от концентрации полимерного связующего и температуры, позволяющие определять распределение температуры при термофиксации и управлять режимными параметрами. Экспериментальные исследования кинетики термофиксации подтверждают разработанные математические модели. Разработана методика расчета общей продолжительности сушки и термообработки каркасных текстильных материалов.

ГЛАВА 6. ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ФОРМИРОВАНИЯ КОМБИНИРОВАННЫХ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ В УСЛОВИЯХ СВЧ-ОБРАБОТКИ

Важнейшее влияние на качество комбинированных текстильных материалов оказывает равномерность распределения полимерного связующего в объеме волокнистого материала, что определяется во-первых, полнотой пропитки, во-вторых, условиями сушки.

При погружении текстильного материала в полимерное связующее часть порового пространства остается незаполненным. Это связано с присутствием в волокнах замкнутых пор и капилляров в которых содержится «защемленный» воздух. Для гидрофобных волокон объем незаполненных пор и капилляров может составлять более 60 % от общего объема порового пространства в материале. Для повышения эффективности процесса пропитки необходимо обеспечивать максимальное снижение давления в порах текстильного материала на момент начала процесса пропитки [204]. Уменьшение давления в порах материала перед его пропиткой за счет полного или частичного удаления из них «защемленного» воздуха может быть реализовано в результате вакуумирования, пропаривания или нагрева материала перед пропиткой.

Основными способами повышения эффективности пропитки текстильных материалов полимерным связующим являются:

- повышение гидрофильности текстильного материала;
- повышение смачивающей способности полимерного связующего;
- принудительная фильтрация раствора полимерного связующего через толщу текстильного полотна;
- удаление воздуха из материала перед пропиткой (вакуумирование).

Равномерность распределения полимерного связующего также во многом определяется условиями и режимами сушки пропитанного тканого полотна. При соприкосновении поверхности пропитанного водной дисперсией полимерного связующего, текстильного полотна с горячим воздухом происходит испарение влаги, в результате чего возникает градиент концентрации влаги и ее перемещение из слоев с большей концентрации к слоям с меньшей концентрацией как в виде жидкости, так и в виде пара. Влага, содержащаяся в волокнистых материалах перемещается в основном в виде жидкости под влиянием капиллярных сил. Вода поднимается по капиллярам к поверхности материала медленно и к моменту закипания практически испаряется. Поэтому вместе с влагой в виде жидкости в процессе сушки также мигрируют дисперсные частицы полимерного связующего и отлагаются на поверхности текстильного полотна, что является нежелательным процессом. Для уменьшения миграции

влаги в виде жидкости к поверхности волокнистого материала необходимо создать условия для диффузии капиллярной влаги в виде пара, тогда все вещества, растворенные или взвешанные в жидкости, будут равномерно распределяться по толщине материала [46]. Известные современные способы сушки текстильных материалов [116, 124, 127] позволяют создавать такие условия за счет воздействия электромагнитных волн инфракрасного или высоко-, сверхвысокочастотного диапазона.

Высокие скорости транспортирования тканого полотна на линии формирования текстильных композитов способом пропитки с последующей сушкой и термофиксацией не всегда позволяют достигнуть высокого качества готового материала, особенно при использовании полимерных связующих высокой концентрации и материалов большой толщины, поэтому необходимость интенсификации является актуальной задачей.

Для интенсификации пропитки тканых полотен и сушки готовых комбинированных текстильных материалов применяют инфракрасный (ИК), высокочастотный (ВЧ) и сверхвысокочастотный (СВЧ), вакуумный, плазменный, ультразвуковой и другие способы [113, 114, 115, 116, 127, 22-А]. В настоящей работе выбран диэлектрический способ интенсификации, который может быть реализован по разработанной технологии на линии пропитки и сушки фирмы «Ontec» без существенной ее модернизации.

6.1. Теоретические основы диэлектрического нагрева текстильных материалов в электромагнитном поле сверхвысокой частоты (СВЧ)

Наиболее значимые исследования в области применения высокоэффективных методов обработки текстильных материалов представлены в работах отечественных и зарубежных авторов: А.В. Лыкова, Б.Н. Мельникова, Г.С. Княжевской, Ю.Л. Кавказова, В.В. Красникова, В.С. Сажина, В.В. Сафонова, В.С. Побединского, М.С. Губермана, А.Л. Никифорова, О.Г. Циркиной, Л.В. Шарниной и др. Авторами исследованы диэлектрические свойства текстильных материалов и произведена их систематизация, установлены зависимости диэлектрических характеристик текстильных материалов от различных факторов и разработаны математические модели, учитывающие условия обработки тканей на различных этапах их отделки, в том числе нанесения полимерных покрытий, доказана эффективность и энергетическая выгодность процесса обработки текстильных материалов в условиях СВЧ - воздействия.

Под СВЧ-нагревом понимают процесс, в котором энергия с частотой от 300 МГц до 300 ГГц проникает в нагреваемый материал в качестве электромагнитной волны с длиной волны в диапазоне от 1 м до 1 мм, а затем преобразуется в тепло.

Текстильные материалы и полимерные связующие относятся к

диэлектрикам, которые делятся на полярные и неполярные. Когда диэлектрик помещают в электромагнитное поле, то в нем развиваются поляризационные процессы – *деформационная (электронная)* для неполярных диэлектриков и *релаксационная (дипольная)* для полярных [124, 127].

Диэлектрический нагрев происходит при воздействии на диэлектрик переменного электромагнитного поля, в котором происходит преобразование энергии электромагнитного поля в тепловую за счет диэлектрических потерь [205, 206]. Величина диэлектрических потерь зависит от электрофизических свойств, влагосодержания и строения материала.

При воздействии электромагнитных волн СВЧ-диапазона на текстильный материал из полярного волокнообразующего полимера происходит его дипольная поляризация, вследствие чего макромолекулы приобретают вращательный момент. Для перемещения макромолекул, совершающих колебательные движения в электромагнитном поле затрачивается энергия, которая из-за наличия межмолекулярного трения выделяется в материале в форме теплоты [205, 207].

При расчете мощности, выделяющейся в виде тепла в единице объема диэлектрика, используется фундаментальная зависимость, описываемая формулой [127, 205]:

$$P_{y\partial} = 0,55 \cdot 10^{-12} \cdot \varepsilon \cdot \operatorname{tg} \delta \cdot E^2 \cdot f, \quad (6.1)$$

где $P_{y\partial}$ – удельная мощность, Вт/м³;
 ε – диэлектрическая проницаемость;
 $\operatorname{tg} \delta$ – тангенс угла диэлектрических потерь;
 E – напряженность электромагнитного поля, В/м;
 f – частота поля, Гц.

Эффективность диэлектрического нагрева не зависит от теплопроводности текстильного материала, что позволяет увеличить его скорость по сравнению с традиционными способами подвода тепла.

При пропитке тканого полотна в условия СВЧ-обработки удельная мощность, подводимая к генератору СВЧ-волн расходуется на нагрев полимерного связующего и ее величина может быть рассчитана по формуле [123, 124]:

$$P_{y\partial} = 4,18 \frac{\rho \cdot c}{\eta_t} \cdot \frac{\Delta T}{\Delta \tau}, \quad (6.2)$$

где ρ – плотность нагреваемого вещества, г/см³;
 c – удельная теплоемкость вещества, Дж/(кг·град);

$\Delta T/(\Delta \tau)$ – скорость нагрева вещества, град/с;
 η_t – термический КПД процесса, учитывающий потери тепла в окружающую среду.

При сушке комбинированного текстильного материала удельная мощность, подводимая к генератору СВЧ волн расходуется на нагрев материала (6.2) и испарение из него влаги:

$$P_{уд} = 4,18 \cdot r \frac{\Delta M}{\Delta t}, \quad (6.3)$$

где r – скрытая теплота испарения при данной температуре нагрева, Дж/кг;
 $\Delta M/(\Delta t)$ – скорость испарения, кг/(м³·с).

Для расчёта удельной мощности сверхвысокочастотного генератора предложено использовать балансовое уравнение, учитывающее расход тепла на нагрев материала и испарение влаги [123, 124]:

$$P = \rho/\tau [c(t_2 - t_1) + r \cdot G_{вл.}/G], \text{ Вт/м}^3, \quad (6.4)$$

где τ – продолжительность нагрева, с;
 t_2 – конечная температура материала, К;
 t_1 – начальная температура материала, К;
 r – удельная теплота парообразования, Дж/кг влаги;
 $G_{вл.}$ – масса удалённой влаги, кг;
 G – масса материала, кг.

Тогда, потребляемая мощность генератора с учётом КПД установки определяется по уравнению:

$$P_{ген.} = PV/1000 \cdot \eta_{с.к.} \cdot \eta_{ген.}, \quad (6.5)$$

где $\eta_{с.к.}$ – КПД СВЧ камеры, учитывающий потери теплоты в окружающую среду, %;

$\eta_{ген.}$ – КПД генератора, %.

В работе [126] произведен расчет мощности генератора СВЧ для пропитки и сушки текстильных материалов с учетом расхода тепла на нагрев материала, полимерного связующего и испарения из него влаги, рекомендуемые значения 300 – 850 Вт при частоте 2450 МГц.

Диэлектрическая проницаемость ε и тангенс угла диэлектрических потерь $\operatorname{tg}\delta$ являются основными электрофизическими характеристиками комбинированного текстильного материала, а их произведение $\varepsilon \cdot \operatorname{tg}\delta$ представляет собой коэффициент диэлектрических потерь материала k , который определяется его влагосодержанием, температурой и частотой, электрического поля [124, 126, 208, 209].

Таким образом, эффективность СВЧ-нагрева зависит от частоты электромагнитного поля f , квадрата напряженности электрического поля E и от диэлектрических свойств материала, характеризуемых величиной $\varepsilon \cdot \operatorname{tg}\delta$.

Увеличение напряженности поля ограничивается электрической прочностью обрабатываемого материала, поэтому повышение эффективности может быть достигнуто повышением частоты электромагнитного поля, чем выше частота, тем больше выделяемая удельная мощность. Для промышленного использования выделены частоты 915 МГц и 2450 МГц.

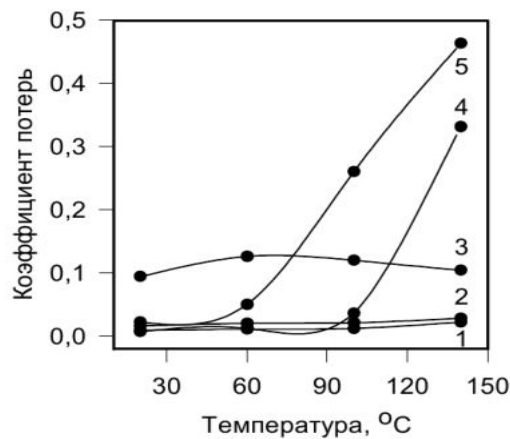
При выборе длины волны источника СВЧ-энергии надо учитывать то обстоятельство, что с увеличением частоты уменьшается глубина проникновения электромагнитной волны в диэлектрик с потерями [116, 127, 210]. Глубина проникновения электромагнитных волн СВЧ диапазона варьируется от нескольких сантиметров до 1 – 2 метров в зависимости от длины волны и диэлектрических свойств обрабатываемого материала. Одним из условий равномерного СВЧ нагрева текстильного материала является превышение глубины проникновения электромагнитной волны над его толщиной [116]. Низкая частота 915 МГц имеет определенные технические затраты, которые лишь в определенных случаях оправдывают свое применение. Большинство промышленных СВЧ-установок для обработки текстильных материалов, имеют экономичную “частоту” 2450 ± 50 МГц.

Следующим фактором, влияющим на эффективность СВЧ-обработки текстильных материалов являются его диэлектрические свойства – диэлектрическая проницаемость (ε) и диэлектрические потери ($\operatorname{tg}\delta$). Диэлектрические свойства текстильного материала зависят от вида волокна, присутствия полярных веществ и электролитов, влажности материала, температуры и частоты внешнего электромагнитного поля. Основной электрофизической характеристикой материала, определяющей возможность его нагрева в электромагнитном поле токов высокой частоты является тангенс угла диэлектрических потерь – $\operatorname{tg}\delta$ [123, 124, 127].

Коэффициент $\operatorname{tg}\delta$ является диэлектрической характеристикой нагреваемого материала, который определяет отношение активной мощности P_a , преобразующейся в тепло, к отражающей мощности P_o . При этом полная мощность электромагнитного поля, подведенная к магнетрону, равна:

$$P = P_a + P_o. \quad (6.6)$$

Произведение $\varepsilon \cdot \operatorname{tg} \delta$ представляет собой коэффициент диэлектрических потерь материала k . Неполлярные материалы, к которым относится полиэфирное, полипропиленовое, а также жесткоцепные не термопластичные волокна – хлопок, лен, вискоза, обладают низким значением коэффициента диэлектрических потерь и в СВЧ поле нагреваются слабо. Полярные полиамидные и полиакрилонитрильные материалы имеют на порядок выше коэффициент диэлектрических потерь и поэтому в электромагнитном поле нагреваются сильнее [127, 211]. Зависимость коэффициента диэлектрических потерь различных тканей от температуры (рисунок 6.1) с равновесным влагосодержанием в электромагнитном поле мощностью 5,5 КВт частотой 15 МГц представлена в работе [127, 2-А].



1 – лавсан; 2 – триацетат; 3 – хлопок; 4 – полиакрилонитрил; 5 – полиамид

Рисунок 6.1 – Зависимость коэффициента диэлектрических потерь тканей от температуры

Таким образом, эффективный нагрев текстильного материала в СВЧ-поле происходит в случае, если он состоит из полярного волокнообразующего полимера, либо содержит полярное вещество, например воду. Разогрев текстильного материала обеспечивается быстрым нагреванием полярного вещества. С ростом температуры эффективность СВЧ-нагрева повышается.

При формировании комбинированных материалов способом пропитки водными дисперсиями связующих систему «волокнистый материал – вода» можно рассматривать как полярный диэлектрик, электрофизические характеристики которого близки к воде, а теплофизические – к текстильному материалу. Анализ зависимости коэффициента диэлектрических потерь от влажности волокнистого материала, представленной в таблице 6.1 [127, 211], показывает, что при 100 %-ной влажности вид волокнообразующего полимера практически не влияет на диэлектрические свойства [127].

Таблица 6.1 – Зависимость фактора диэлектрических потерь волокнистых материалов от влагосодержания

Волокно	Фактор потерь при содержании воды в тканях, %			
	0,4	2	8	100
Хлопок	0,062	0,075	0,13	1,4
Полиамидное	0,015	0,020	0,5	1,5
Полиакрилонитрильное	0,007	0,016	–	–

Целью исследований, представленных в данной главе, является доказательство интенсифицирующего действия СВЧ-излучения на процессы формирования комбинированных текстильных материалов, установить зависимость оптимальных режимов СВЧ обработки от мощности излучения в рабочем диапазоне 300 – 850 Вт при частоте 2450 Гц, продолжительности воздействия электромагнитного излучения при концентрации полимерного связующего 100 – 300 г/л, провести сравнительный анализ физико-механических свойств комбинированных текстильных материалов при традиционном способе формирования и с использованием СВЧ-обработки, рекомендовать рациональные режимы СВЧ-обработки для промышленного освоения.

6.2. Исследование пропитки при формировании комбинированных текстильных материалов в условиях интенсифицирующего действия электромагнитных волн СВЧ диапазона

Эффективность пропитки тканых полотен водной дисперсией полимерного связующего определяется скоростью и полнотой пропитки. Традиционными способами интенсификации процессов жидкостной обработки текстильных материалов является увеличение температуры, давления, изменение концентрации реагентов. Указанные способы могут приводить к нежелательным изменениям как волокнистого материала, так и полимерного связующего.

Так как скорость и полнота пропитки в основном лимитированы такими факторами как смачивание, вязкость и наличие заземленного воздуха в поровом пространстве волокнистого материала, то интенсифицирующее воздействие должно быть направлено на уменьшение влияния этих факторов на пропитку. При исследовании процесса пропитки в условиях СВЧ-обработки поставлены следующие задачи:

- провести экспериментальные исследования влияния режимов СВЧ-обработки на скорость и полноту пропитки;
- исследовать влияние мощности и продолжительности воздействия СВЧ-излучения на физико-химические свойства полимерного связующего;
- установить влияние параметров СВЧ-обработки на изменение эффективного

радиуса капилляров;

- оптимизировать режимные параметры процесса пропитки тканых полотен из химических нитей водной дисперсией полимерного связующего в условиях воздействия СВЧ-излучения.

Для проведения экспериментальных исследований процессов пропитки и сушки при формировании комбинированных текстильных материалов разработана лабораторная установка схема которой представлена в Приложении К. В качестве объекта исследования выбран каркасный текстильный материал из вискозных нитей, полученный способом пропитки водной стирол-акрилатной дисперсией.

6.2.1. Изучение влияния параметров СВЧ обработки на свойства водной дисперсии полимерного связующего

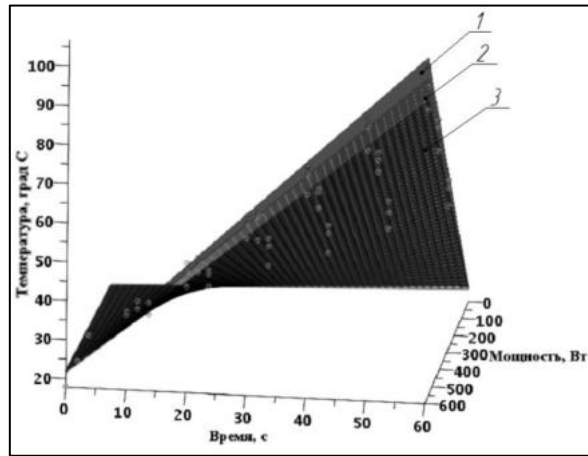
При пропитке тканого полотна в условиях СВЧ-обработки удельная мощность, подводимая к генератору СВЧ волн расходуется на нагрев полимерного связующего. Рабочий диапазон температур 20 – 50⁰С. Исследована зависимость температуры (t) дисперсии связующего концентрации (c) 100, 200, 300 г/л от мощности СВЧ-излучения (P) в диапазоне 300 – 600 Вт (удельная мощность 0,3 – 0,6 Вт/см³) [2-А, 37-А, 97-А]. Обработка экспериментальных данных и определение регрессионных коэффициентов проведены с использованием системы компьютерной алгебры Maple и представлены в Приложение К. Анализ математической модели (6.7) и графической зависимости (6.2) позволяет сделать следующие выводы:

$$t = (0,00423\tau + 0,0139) \cdot (0,0172P + 0,476) \cdot (-0,02c + 32,9) + 17,6 \quad (6.7)$$

$$(R^2 = 0,99)$$

- с увеличением концентрации водной дисперсии полимерного связующего уменьшается скорость его нагрева в условиях СВЧ-воздействия и уменьшается максимальная температура нагрева в исследуемом диапазоне мощностей;
- увеличение мощности позволяет ускорить процесс нагрева полимерного связующего до необходимой температуры, для водной дисперсии полимерного связующего $t \leq 45-50^0\text{C}$.

Повышение температуры полимерного связующего под воздействием электромагнитных волн СВЧ диапазона приводит к изменению его технологических свойств: вязкости, поверхностного натяжения и смачивающей способности.

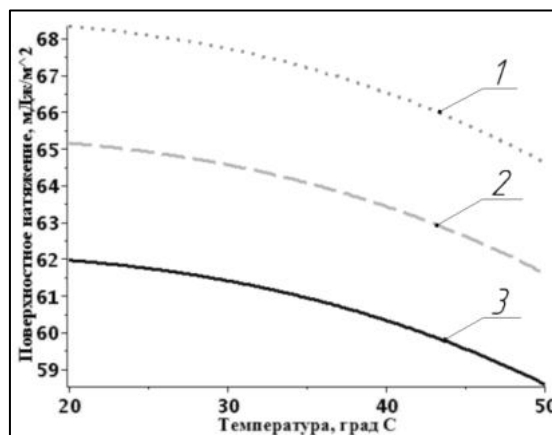


концентрация водной дисперсии стирол-акрилата 1 – 100 г/л, 2 – 200 г/л, 3 – 300 г/л

Рисунок 6.2 – Зависимость температуры полимерного связующего от СВЧ-режимов

Проведены экспериментальные исследования вышеперечисленных свойств водной дисперсии стирол-акрилата концентрации 100, 200, 300 г/л в условиях СВЧ-обработки [37-А]. В результате обработки экспериментальных данных (Приложение К) получены регрессионные модели и построены графические зависимости поверхностного натяжения, краевого угла смачивания и вязкости от мощности электромагнитных волн в диапазоне 300 – 600 Вт и продолжительности обработки полимерного связующего. Удельная мощность СВЧ-обработки составляла 0,3 – 0,6 Вт/см³.

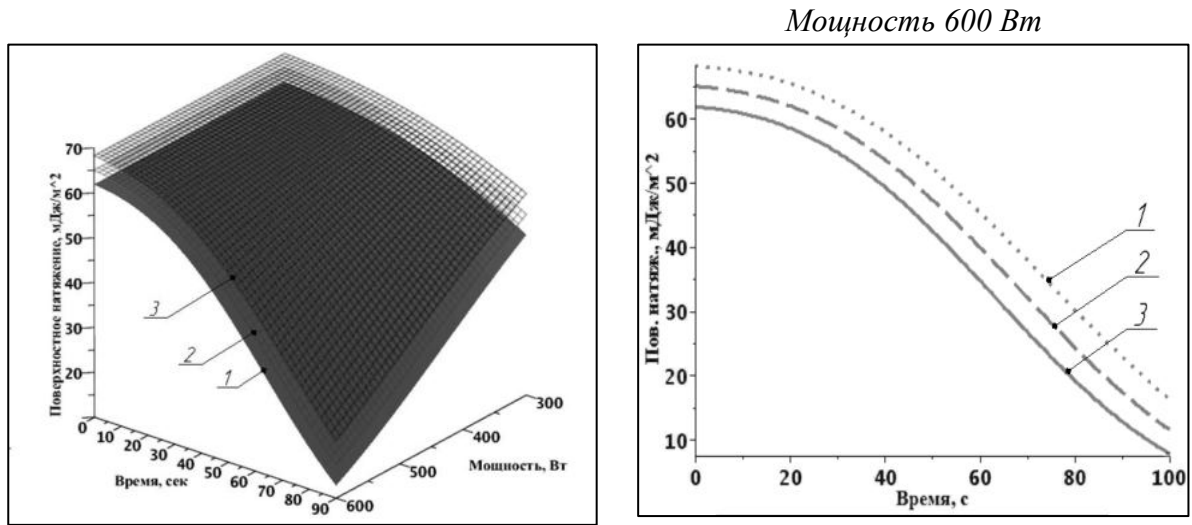
Поверхностное натяжение большинства жидкостей с увеличением температуры падает [161]. Исследование зависимости поверхностного натяжения водной дисперсии стирол-акрилата концентрации 100 – 300 г/л от температуры в диапазоне 20 – 50⁰С показало незначительное уменьшение σ (рисунок 6.3).



концентрация водной дисперсии стирол-акрилата 1 – 300 г/л; 2 – 200 г/л; 3 – 100 г/л

Рисунок 6.3 – Зависимость поверхностного натяжения связующего от температуры

Результаты определения поверхностного натяжения в условиях СВЧ-обработки (рисунок 6.4) доказывают уменьшение σ при тех же температурах, что может объясняться изменением структуры дисперсии под воздействием СВЧ-излучения, в частности повышением дисперсности и однородности [213].

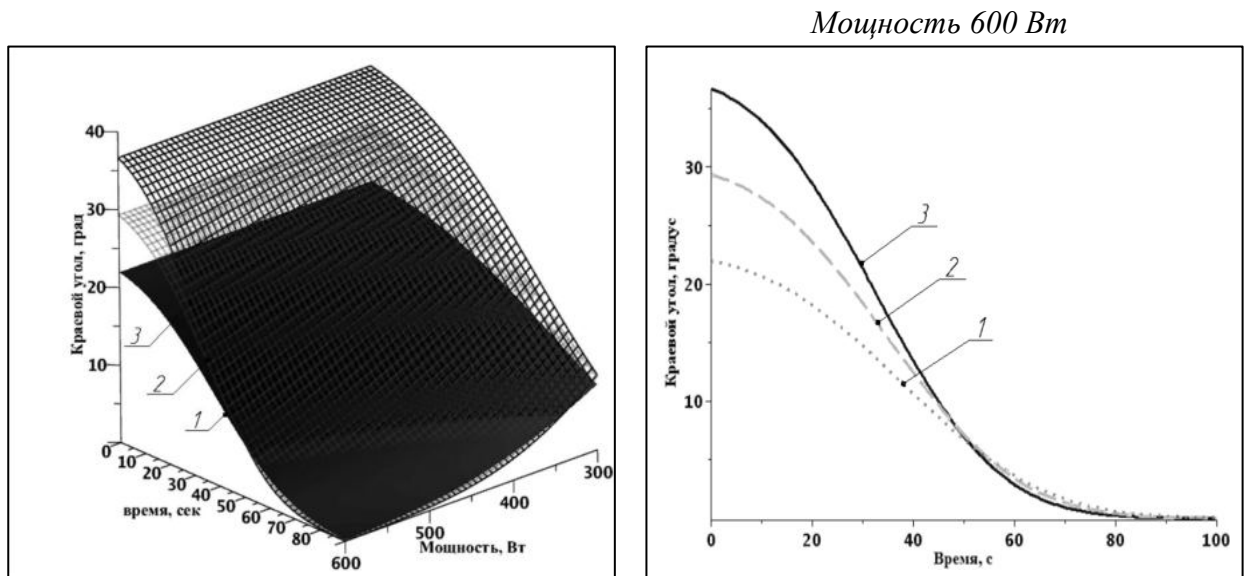


концентрация водной дисперсии стирол-акрилата 1 – 300 г/л; 2 – 200 г/л; 3 – 100 г/л

Рисунок 6.4 – Зависимость поверхностного натяжения полимерного связующего от режимов СВЧ-обработки

Краевой угол смачивания определялся через максимальную высоту капиллярного подъема h_{max} для эталонного капилляра известного радиуса R , выражаемого из уравнения Жюрена [37-А].

На рисунке 6.5 представлены графические зависимости краевого угла смачивания от параметров СВЧ-обработки.



концентрация водной дисперсии 1 – 300 г/л; 2 – 200 г/л; 3 – 100 г/л

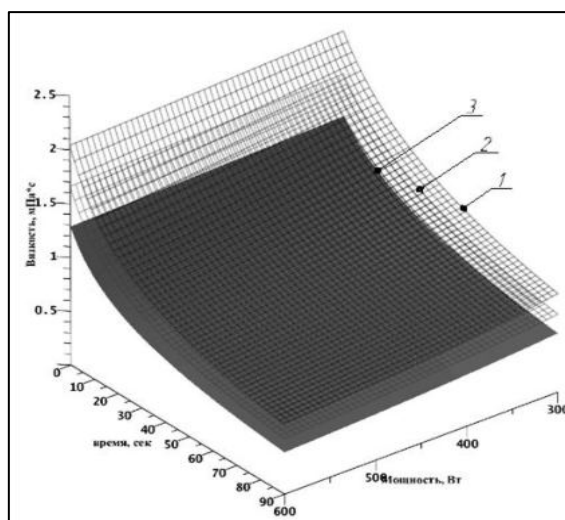
Рисунок 6.5 – Зависимость краевого угла смачивания полимерного связующего от режимов СВЧ обработки

Как видно, смачивающая способность водной дисперсии стирол-акрилата незначительно зависит от мощности излучения и определяется продолжительностью СВЧ-обработки. Для всех исследуемых концентраций обработка в течении 70 – 80 с при мощности 450 – 600 Вт приводит к полному смачиванию. Однако, это утверждение носит условный характер, так как при смачивание волокнистых материалов водными дисперсиями имеет место явление гистерезиса смачивания, а при пропитке в условиях СВЧ- динамический гистерезис смачивания, т.е. изменение краевого угла смачивания от начального до конечного значения в процессе обработки [46].

Повышение дисперсности полимерного связующего в процессе СВЧ-обработки оказывает существенное влияние на его смачивающую способность. Но улучшение смачивающей способности не может являться единственным условием, обеспечивающим высокую пропитывающую способность дисперсии.

Водные стирол-акриловые дисперсии относятся к маловязким жидкостям ($\eta \sim 10^{-3}$ Па с). По Эйнштейну [161, 170] вязкость дисперсной системы прямолинейно зависит от содержания в ней дисперсной фазы и не зависит от дисперсности. По результатам экспериментальных исследований получена регрессионная модель (6.11), позволяющая установить зависимость вязкости водной дисперсии от мощности СВЧ-излучения и продолжительности воздействия, графическая интерпретация представлена на рисунке 6.6 [37-А].

$$\eta_{свч} = \frac{0,853(-6,55 \cdot 10^{-12} P + 5,39)(5,52 \cdot 10^{-3} c + 1,42)}{\tau^{0,63}} \quad (6.8)$$



концентрация водной дисперсии 1 – 300 г/л; 2 – 200 г/л; 3 – 100 г/л

Рисунок 6.6 – Зависимость вязкости связующего от режимов СВЧ-обработки

Анализируя полученные зависимости можно сказать, что вязкость водной дисперсии полимерного связующего зависит от концентрации и

продолжительности СВЧ-обработки и практически не зависит от мощности излучения. С увеличением продолжительности СВЧ обработки вязкость водной дисперсии стирол-акрилата уменьшается. При продолжительности обработки 40-50 с вязкость дисперсии концентрации 100 – 300 г/л $\eta_{свч} = 0,5 – 0,8$ мПа с приближается к вязкости дисперсионной среды – воды 0,47 – 0,65 мПа с при температуре 40 – 50⁰С [214].

Снижение вязкости при СВЧ-обработке связано с увеличением теплового движения частиц, а увеличение продолжительности воздействия не дает возможности протекания релаксационных процессов. Это подтверждается графической зависимостью (рисунок 6.6). При постоянной продолжительности обработки и увеличении мощности СВЧ-излучения вязкость дисперсии практически не изменяется, а при постоянной мощности увеличение продолжительности приводит к снижению вязкости полимерной дисперсии.

Обобщив результаты экспериментальных исследований, можно утверждать, что СВЧ обработка водной дисперсии полимерного связующего улучшает ее смачивающую способность, в том числе за счет повышения дисперсности полимера в объеме связующего на водной основе.

Следующим этапом исследований является изучение влияния СВЧ-обработки на скорость и полноту пропитки тканых полотен при формировании комбинированных текстильных материалов.

6.2.2. Исследование влияния параметров СВЧ - обработки на скорость пропитки при формировании комбинированных текстильных материалов

Исследование высоты капиллярного подъема в условиях СВЧ поля проводилось на лабораторной СВЧ-установке. В ходе эксперимента варьировались следующие факторы: концентрация полимерного связующего, мощность СВЧ-излучения, продолжительность обработки. Уровни варьирования факторов представлены в таблице 6.2.

Таблица 6.2 – Уровни варьирования факторов

Фактор	Уровни варьирования
Мощность СВЧ, Вт	300, 450, 600
Время, сек	0..180
Концентрация дисперсии стирол-акрилата, г/л	100, 200, 300

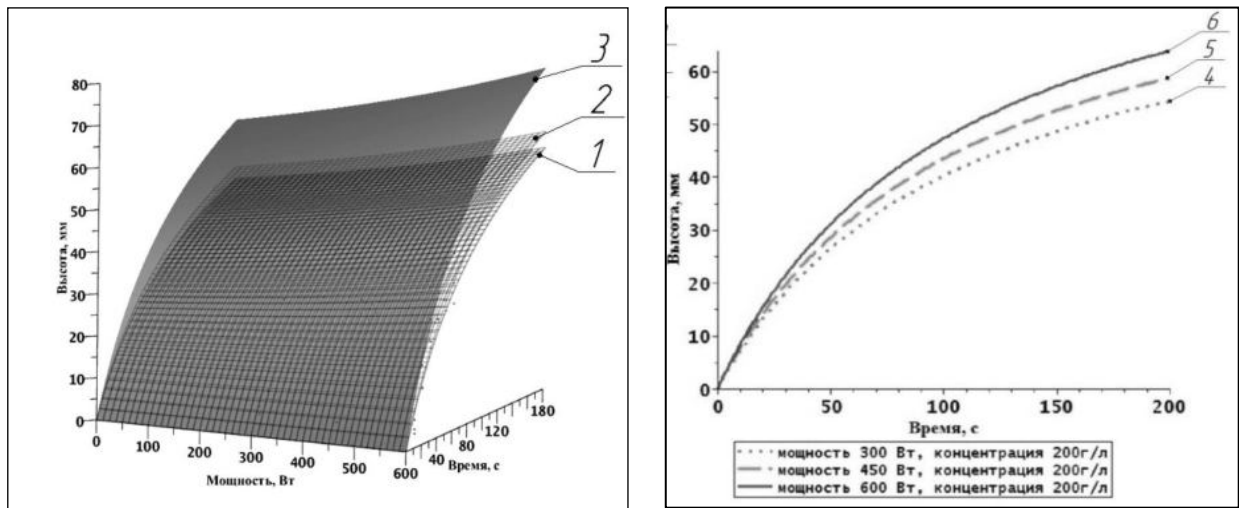
Обработка результатов экспериментальных исследований проводилась с использованием системы компьютерной алгебры Maple (Приложение К). Графическая зависимость высоты капиллярного подъема полимерного

связующего от режимных параметров обработки при пропитывании тканого полотна из вискозных нитей в условиях воздействия электромагнитного излучения СВЧ-диапазона представлена на рисунке 6.7.

Анализ типовых функций, имеющих асимптоту $h = \text{const}$ и проходящие через начало координат, а также сравнение с экспериментальными данными позволили подобрать модель зависимости высоты капиллярного подъема от режимов обработки [2-А, 13-А, 67-А, 98-А]:

$$h_{\text{свч}} = \frac{\tau \cdot c}{(0,763\tau + 82,5) \cdot (-0,12P + 281) \cdot (7,68 \cdot 10^{-5}c - 2,55 \cdot 10^{-3})}, \text{мм} \quad (6.9)$$

$$R^2 = 0,97$$



концентрация водной дисперсии стирол-акрилата 1 – 300 г/л; 2 – 200 г/л; 3 – 100 г/л;
мощность СВЧ излучения 4 – 300 Вт; 5 – 450 Вт; 6 – 600 Вт.

Рисунок 6.7 – Зависимость высоты капиллярного подъема от режимов СВЧ-обработки

Как видно, с увеличением мощности СВЧ-излучения максимальная высота капиллярного подъема возрастает, но в большей степени оказывает влияние концентрация полимерного связующего. Повышение концентрации более 200 г/л значительно снижает максимальную высоту подъема.

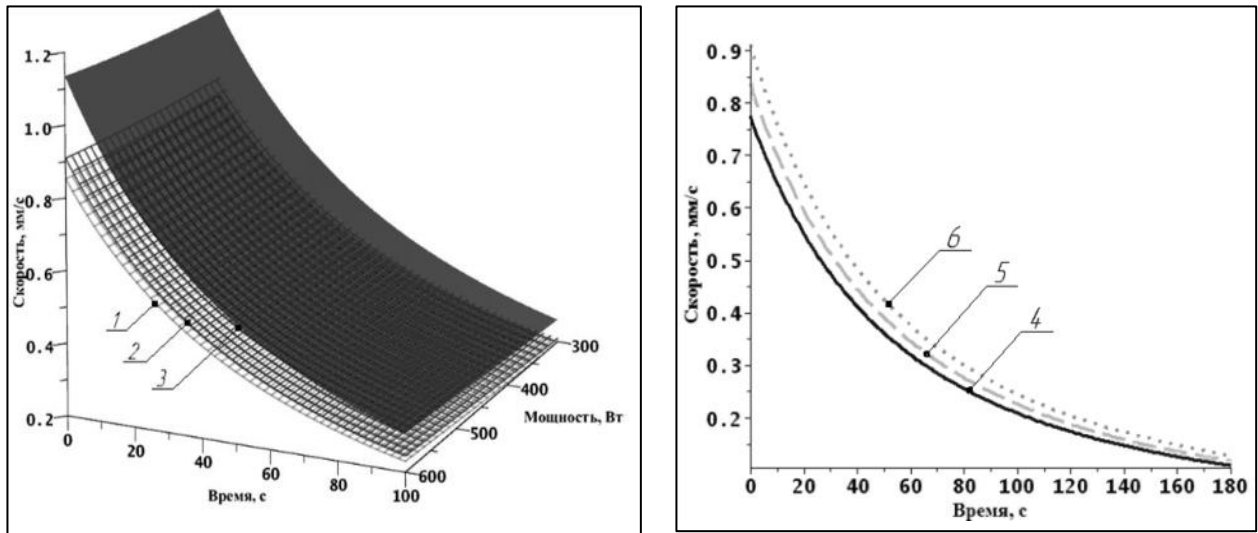
Продолжительность пропитки до равновесного значения высоты капиллярного подъема сокращается в 15 – 20 раз по сравнению с традиционным способом, что подтверждает эффективность СВЧ обработки.

Дифференцированием (6.9) по времени получим уравнение зависимости скорости пропитки от режимов СВЧ-обработки и концентрации полимерного связующего [13-А]:

$$\frac{dh}{d\tau} = \frac{c}{(0,763\tau + 82,5) \cdot (-0,12P + 281) \cdot (7,68 \cdot 10^{-5}c - 2,55 \cdot 10^{-3})} \quad (6.10)$$

$$= \frac{0,763 \cdot \tau \cdot c}{(0,763\tau + 82,5)^2 \cdot (-0,12P + 281) \cdot (7,68 \cdot 10^{-5}c - 2,55 \cdot 10^{-3})} \frac{мм}{с}$$

На рисунке 6.8 представлена графическая интерпретация полученной зависимости (6.10). Анализируя графические зависимости, можно отметить, что скорость пропитки практически не зависит от мощности СВЧ-излучения и незначительно уменьшается с увеличением концентрации полимерного связующего. Важным является факт значительного ускорения процесса СВЧ-пропитки тканого полотна полимерным связующим при формировании каркасного текстильного материала по сравнению с традиционным способом.



*концентрация водной дисперсии 1 – 300 г/л; 2 – 200 г/л; 3 – 100 г/л;
мощность СВЧ излучения 4 – 300 Вт; 5 – 450 Вт; 6 – 600 Вт.*

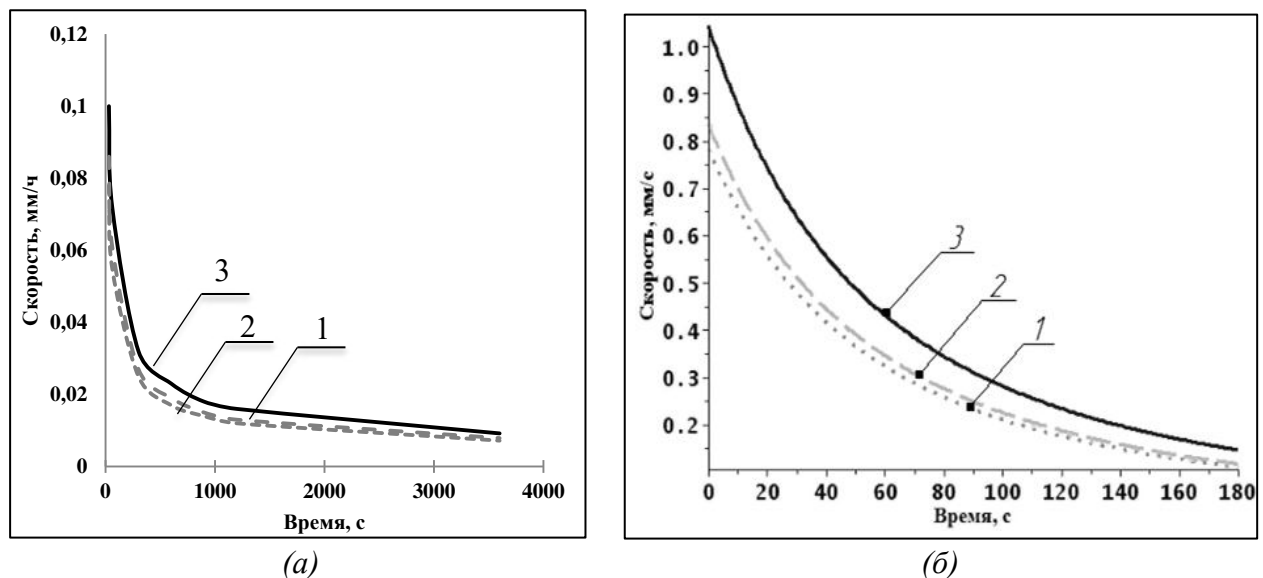
Рисунок 6.8 – Зависимость скорости пропитки от режимных параметров СВЧ-обработки:

В процессе пропитки тканого полотна традиционным способом при температуре полимерного связующего 20 – 50 °С можно выделить два периода, которые отсутствуют на кинетических кривых при пропитке в условия СВЧ-воздействия при мощности 300 – 600 Вт (рисунок 6.9):

- быстрая стадия пропитки, которая в традиционном способе продолжается 300 – 360 с и определяется вязким сопротивлением полимерного связующего, на этой стадии происходит заполнения сквозных легкодоступных пор тканого материала;

- медленная – диффузионная, которая контролируется диффузионным сопротивлением, на этой стадии происходит заполнение тупиковых пор и капилляров, содержащих «защемленный» воздух.

В непрерывном технологическом процессе тканое полотно проходит через пропиточную ванну за короткое время, поэтому успевают заполниться полимерным связующим исключительно сквозные поры, продолжительность пропитки определяется скоростью быстрой стадии.



концентрация водной дисперсии стирол-акрилата 1 – 300 г/л; 2 – 200 г/л; 3 – 100 г/л;

Рисунок 6.9 – Изменение скорости пропитки при традиционном способе (а) и в условиях СВЧ-обработки (б)

Для ускорения второго периода пропитки рекомендуется повышать температуру. Но для термолабильных дисперсий связующего этот способ не приемлем, поэтому использование СВЧ-обработки является эффективным. В отличие от традиционного способа при СВЧ-обработке происходит выравнивание скорости, стирается грань между быстрой и медленной стадией. Можно предположить, что происходит одновременное заполнение сквозных и тупиковых пор, а также капилляров, содержащих защемленный воздух. Для подтверждения этого предположения необходимо исследовать полноту пропитки и равномерность распределения связующего в объеме тканого материала.

6.2.3. Исследование полноты пропитки и равномерности распределения полимерного связующего в объеме материала в условия СВЧ - обработки

Для предварительной оценки полноты пропитки тканого полотна полимерным связующим была использована формула 3.67, полученная в разделе

3.3, позволяющая рассчитать содержание адсорбированной дисперсии в волокнистом материале. В результате установлено значительное отклонение экспериментальных и расчетных значений при пропитке тканого материала в условиях СВЧ-обработки. Это позволило предположить, что при пропитке в условиях интенсификации процесса необходимо учесть заполнение полимерным связующим тупиковых пор и капилляров, содержащих заземленный воздух [77-А].

Совместно с проф. А.Г. Коганом, проф. В.И. Ольшанским, научными сотрудниками А.Н. Бизюком и С.В. Жерносеком разработана методика и проведены экспериментальные исследования полноты пропитки и равномерности распределения полимерного связующего в объеме тканой основы [37-А] в условиях СВЧ-обработки. Методика определения полноты пропитки основана на измерении количества связующего, поглощенного волокнистым материалом при СВЧ-пропитке за определенное время. При этом будем считать, что дисперсные частицы полимера, размеры которых много меньше размера пор и капилляров волокнистого материала, перемещаются силами вязкого трения вместе с дисперсионной средой [161, 170]. Введен коэффициент пропитки, характеризующий относительное содержание полимерного связующего в единице объема волокнистого материала [37-А]:

$$k_{\text{прон}} = \frac{V_{\text{св}}}{V_{\text{прон}}}, \quad (6.11)$$

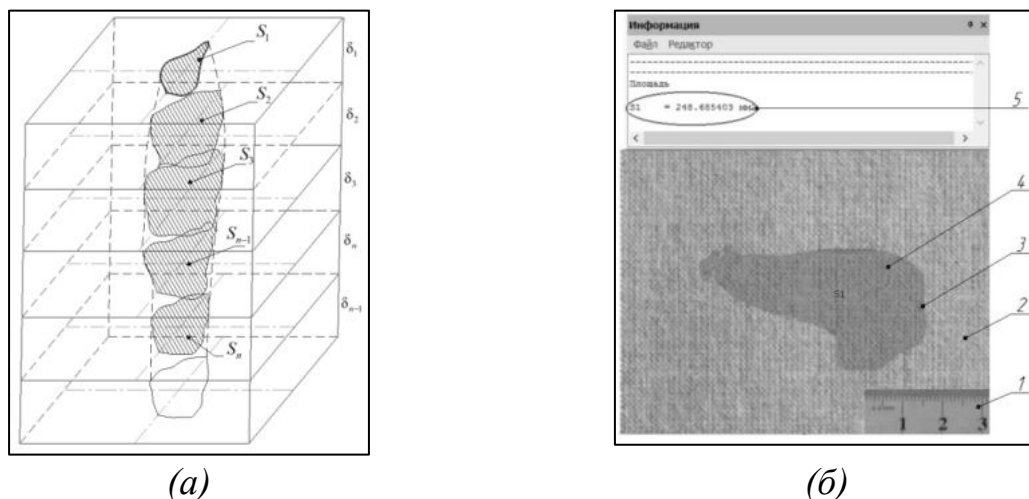
где $V_{\text{св}}$ – исходный объем полимерного связующего, мм³;

$V_{\text{прон}}$ – объем распространения полимерного связующего в материале после обработки, мм³.

При $V_{\text{св}} = \text{const}$, чем больше объем пропитанного текстильного материала, тем меньше коэффициент пропитки и, соответственно, более полно протекает процесс пропитки [37-А].

В качестве модельного использован многослойный материал, состоящий из n слоев тканых полотен из вискозных нитей. На поверхность многослойного материала наносился заданный объем полимерного связующего ($V_{\text{св}} = 0,5$ мл), далее образцы подвергались воздействию СВЧ-излучения при различных режимах. После полного высыхания в естественных условиях, образцы разделялись на слои и подвергались фотосъемке (рисунок 6.10). Фотографии загружались в приложение Ascon Компас-3D и на каждом слое с помощью инструментального аппарата приложения обводился контур видимой границы полимерного связующего и определялась площадь его распространения.

Для тарирования значений в процессе получения снимков применялась измерительная линейка. Суммарный объем распространения полимерного связующего определяется умножением суммарной площади распространения полимерного связующего на толщину одного слоя тканого полотна. Толщина ткани δ определялась согласно ГОСТ 12023–2003 [215].



а – схема распространения полимерного связующего в многослойном материале;
б – определение площади распространения полимерного связующего с помощью приложения Ascon Kompas–3D:

1 – линейка; 2 – тканое полотно; 3 – контурная граница; 4 – пропитанный участок; 5 – численное значение площади в окне измерений

Рисунок 6.10 – Схема определения объема распространения связующего

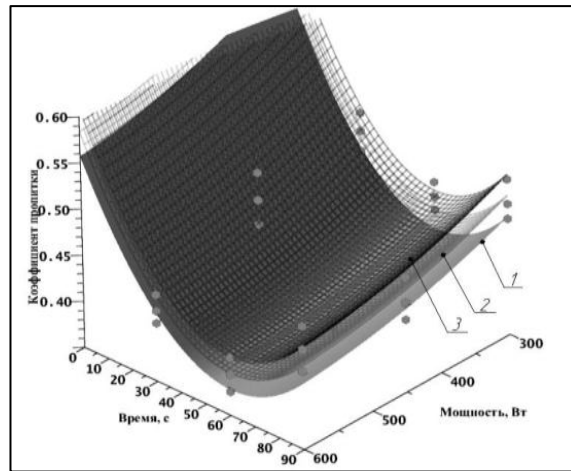
Для исследования зависимости коэффициента пропитки тканого полотна водной дисперсией полимерного связующего от режимов СВЧ обработки проведен полный факторный эксперимент, уровни и интервалы варьирования факторов представлены в таблице 6.3. План и результаты эксперимента представлены в таблице К.1 (Приложение К).

Таблица 6.3 – Уровни и интервалы варьирования факторов эксперимента

Наименование фактора	Обозначение	Уровни варьирования			Интервал варьирования
		-1	0	+1	
Мощность, Вт	P	300	450	600	150
Продолжительность, с	τ	30	60	90	30
Концентрация стирол-акрилата, г/л	c	100	200	300	100

В результате статистической обработки экспериментальных данных получена регрессионная модель (6.12) и графическая интерпретация рисунок 6.11) зависимости коэффициента пропитки от концентрации связующего (c), мощности (P) и продолжительности (τ) СВЧ-обработки [37-А]:

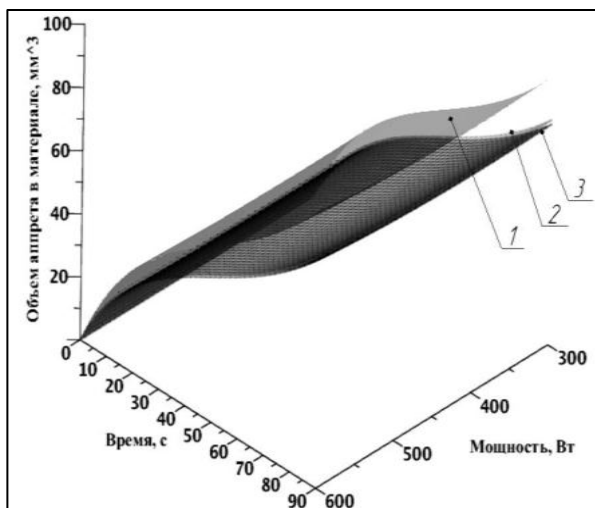
$$k_{\text{проп}} = (0,021\tau^2 - 2,54\tau + 238) \cdot (-2,79 \cdot 10^{-3}P^2 + 3,59P - 4170) \cdot (-3,91 \cdot 10^{-10}c - 7,78 \cdot 10^{-7}) \quad (6.12)$$



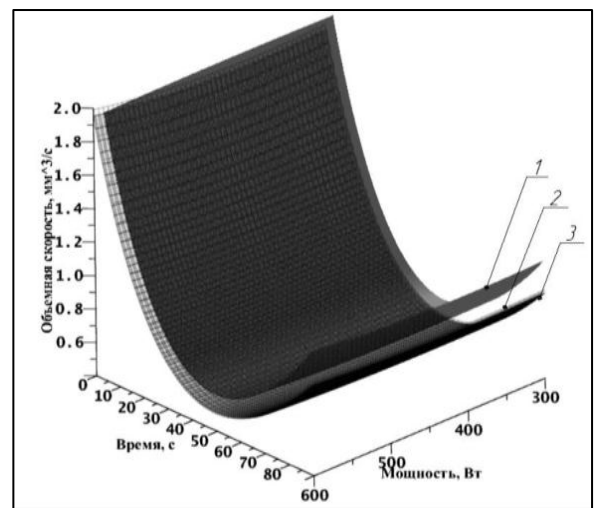
концентрация полимерного связующего: 1 – 100 г/л; 2 – 200 г/л; 3 – 300 г/л.

Рисунок 6.11 – Зависимость коэффициента пропитки тканого полотна от мощности и продолжительности СВЧ обработки

При увеличении мощности СВЧ-излучения эффективность пропитки возрастает, что подтверждается уменьшением коэффициента пропитки, оптимальная продолжительность обработки, которая соответствует минимуму функциональной зависимости (6.12) составляет 60 с.



(а)



(б)

концентрация полимерного связующего: 1 – 100 г/л; 2 – 200 г/л; 3 – 300 г/л

Рисунок 6.12 – Зависимость объема полимерного связующего в поровом пространстве (а) и объемной скорости пропитки (б) от параметров СВЧ-обработки

Зная коэффициент пропитки, его зависимость от мощности СВЧ-излучения и продолжительности обработки возможно определить объем связующего

содержащегося в поровом пространстве тканого полотна, а также объемную скорость пропитки. Объем пропитанного участка тканого полотна $V_{проп}$ равен произведению высоты капиллярного поднятия полимерной композиции на толщину материала. На рисунке 6.12а представлена зависимости объема полимерного связующего содержащегося в поровом пространстве тканого полотна из вискозных нитей, которая определялась как произведение коэффициента пропитки $k_{проп}$ (6.11) на объем пропитанного участка $V_{проп}$. Объемная скорость v_v определена как производная объема впитанного полимерного связующего по времени (рисунок 6.12 б).

Для характеристики капиллярно-пористой структуры используем эффективный радиус капилляра $r_{эфф}$. Существует ряд приближенных соотношений, позволяющих рассчитывать эффективный радиус в зависимости от схемы укладки волокон и нитей [137].

В данной работе для определения эффективного радиуса капилляра и его зависимости от параметров СВЧ обработки использована формула Пуазейля [46]:

$$v_v = \frac{\pi \cdot r_{эфф}^4}{8\eta \cdot l_k} \left(\frac{2\sigma \cdot \cos\theta}{r_{эфф}} - \rho_{св} \cdot g \cdot l_k \cdot \sin\alpha_k \right) \quad (6.13)$$

где v_v – объемная скорость течения полимерного связующего, м³/с;

g – ускорение свободного падения, м/с²;

$r_{эфф}$ – эффективный радиус, м;

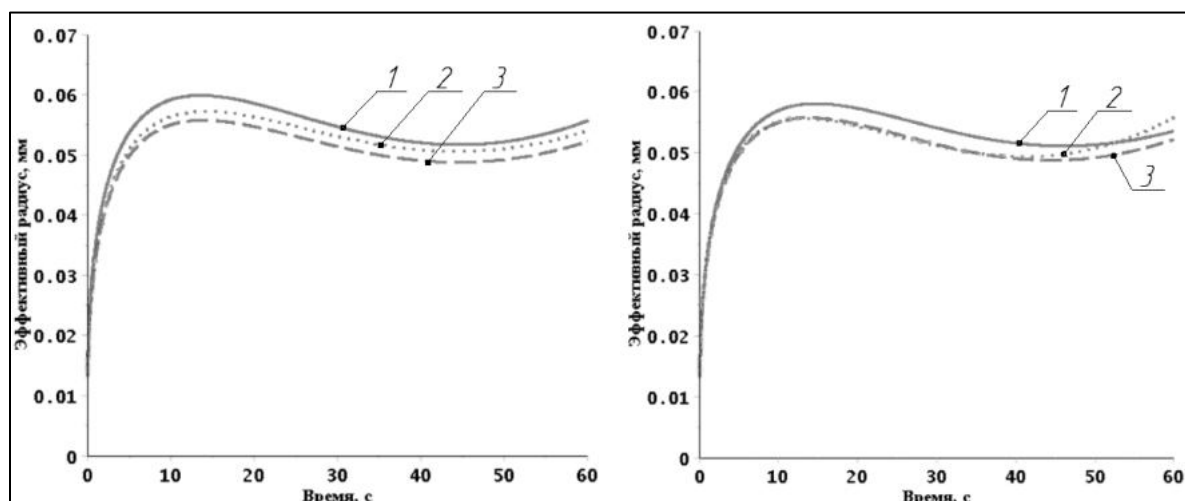
$\rho_{св}$ – плотность полимерного связующего, кг / м³;

l_k – длина впитывания полимерного связующего в капилляр, м;

α_k – угол наклона капилляра к поверхности полимерного связующего, град.

С использованием зависимости для объемной скорости и свойств водной дисперсии полимерного связующего установлена математическая зависимость эффективного радиуса капилляров тканого материала из вискозных нитей от мощности и продолжительности СВЧ-обработки, графическое изображение которой представлено на рисунке 6.13 [37-А]. Как видно, за 10 с СВЧ обработки эффективный радиус капилляра увеличивается в 3 раза.

С использованием полученных математических моделей зависимости капиллярного подъема (6.9) и коэффициента пропитки (6.12) от режимов обработки проведен расчет объема водной дисперсии полимерного связующего $V_{св}$ содержащегося в поровом пространстве тканого полотна (таблица 6.4). Отклонение расчетных значений $V_{св}$ от экспериментальных составляет не более 5 %, поэтому разработанные математические модели можно использовать для расчета рациональных режимов СВЧ-обработки при формировании каркасных текстильных материалов способом пропитки.



(а)

(б)

а – мощность СВЧ-излучения 450 Вт, концентрация полимерного связующего: 1 – 100 г/л; 2 – 200 г/л; 3 – 300 г/л; б – мощность СВЧ-излучения: 1 – 300 Вт; 2 – 450 Вт; 3 – 600 Вт

Рисунок 6.13 – Зависимость эффективного радиуса от концентрации полимерного связующего и режимов СВЧ-обработки

Таблица 6.4 – Расчетные и экспериментальные значения объема связующего, содержащегося в поровом пространстве тканого полотна

Концентрация дисперсии, с, г/л	Высота подъема, h (формула 6.9), мм	Объем $V_{\text{прон}}$, мм ³	Коэффициент пропитки, $k_{\text{прон}}$ (формула 6.12)	Объем расч. $V_{\text{св}}$, мм ³	Объем эксп. $V_{\text{св}}$, мм ³
$\tau=60$ с, $P=300$ Вт					
100	37,21	186,07	0,4404	81,95	80,9
200	29,80	149,03	0,4615	68,77	66,4
300	27,95	139,76	0,4826	67,45	64,6
$\tau=60$ с, $P=450$ Вт					
100	40,16	200,83	0,4108	82,49	81,4
200	32,16	160,85	0,4305	69,24	67,9
300	30,16	150,80	0,4502	67,89	68,3
$\tau=60$ с, $P=600$ Вт					
100	43,62	218,10	0,3978	86,76	86,0
200	34,94	174,70	0,4168	72,81	69,4
300	32,76	163,80	0,4359	71,40	70,4

Результаты экспериментальных исследований подтверждают эффективность интенсификации процесса пропитки способом воздействия электромагнитных волн СВЧ-диапазона. С увеличением мощности СВЧ-

обработки объем порового пространства, заполняемого полимерным связующим увеличивается.

6.2.4. Оптимизация режимных параметров пропитки тканых полотен в технологии формирования комбинированных текстильных материалов в условиях СВЧ-обработки

С целью разработки рекомендаций и выбора рациональных режимов совместно с проф. Коганом А.Г., Ольшанским В.И., асп. Бизюком А.Н. и Жерносеком С.В. проведена оптимизация процесса пропитки при формировании комбинированных каркасных текстильных материалов в условиях СВЧ-обработки [14-А, 16-А, 38-А]. Критериями оптимизации выбраны:

- температура полимерного связующего при пропитке тканого полотна t ;
- высота капиллярного подъема полимерного связующего $h_{свч}$;
- расход энергии на единицу объема полимерного связующего $E_{свч}$.

Для оптимизации многокритериальной задачи использована обобщенная функция желательности Харрингтона, которая учитывает значения всех результирующих показателей [216, 65-А]:

$$D_{opt} = (d_1 * d_2 * \dots * d_k)^{1/k_{opt}}, \quad (6.14)$$

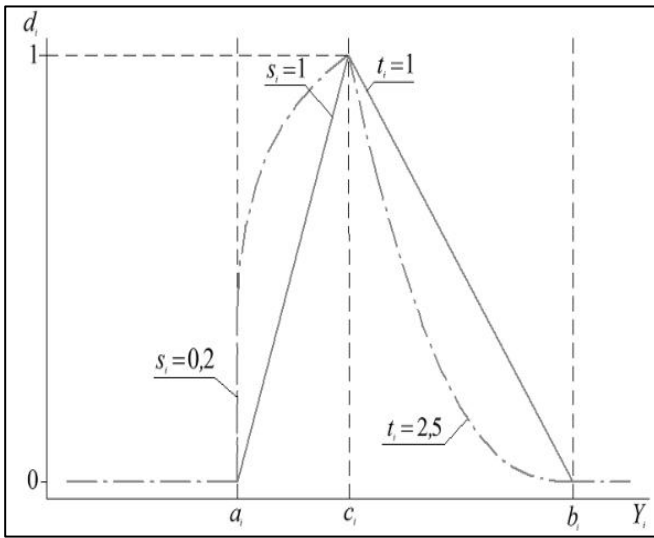
где d_i – частные функции желательности;

k_{opt} – количество частных функций желательности.

Значения d_i лежат в пределах от 0 до 1, причем значению 0 соответствуют наименее, а 1 – наиболее желательные значения результирующих функций Y_i [216]. Значения при которых обобщенная функция желательности максимальна являются оптимальными [216]. В качестве нормализующих функций выбраны функции желательности Дерринжера, графические изображения которых и соответствующие им формулы (6.15) - (6.17), представлены на рисунке 6.14.

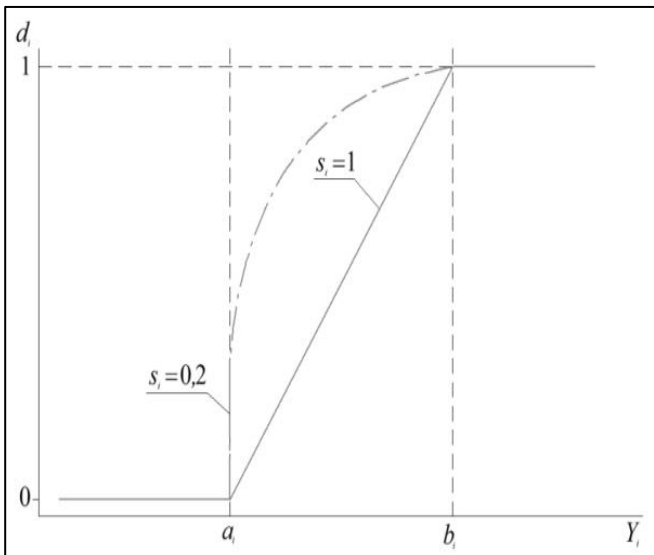
Значения границ интервала желательности a_i, b_i, c_i результирующего показателя, используемые при построении функций желательности d_i , определялись с помощью экспертных оценок [216]. Для результирующего показателя существует одно наиболее желательное значение c_i , а значения ниже, чем a_i , и выше, чем b_i , не желательны.

Рабочий диапазон температуры полимерного связующего 20 – 50⁰С.



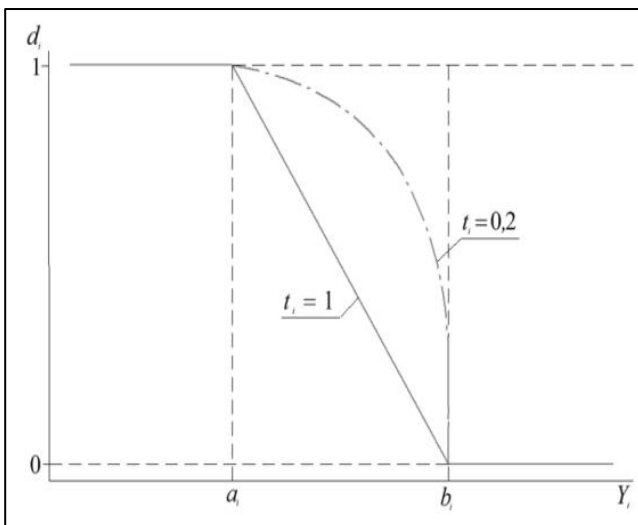
$$d_i(Y_i) = \begin{cases} 0, & Y_i < a_i \\ \left(\frac{Y_i - a_i}{c_i - a_i}\right)^{s_i}, & a_i \leq Y_i \leq c_i \\ \left(\frac{Y_i - b_i}{c_i - b_i}\right)^{t_i}, & c_i < Y_i \leq b_i \\ 0, & Y_i > b_i \end{cases}$$

(6.15)



$$d_i(Y_i) = \begin{cases} 0, & Y_i < a_i \\ \left(\frac{Y_i - a_i}{b_i - a_i}\right)^{s_i}, & a_i \leq Y_i \leq b_i \\ 1, & Y_i > b_i \end{cases}$$

(6.16)



$$d_i(Y_i) = \begin{cases} 1, & Y_i < a_i \\ \left(\frac{Y_i - b_i}{a_i - b_i}\right)^{t_i}, & a_i \leq Y_i \leq b_i \\ 0, & Y_i > b_i \end{cases}$$

(6.17)

Рисунок 6.14 – Графические изображения функций желательности

Для определения функции желательности d_1 для температуры полимерного связующего использована формула (6.15), а также регрессионная модель (6.7) зависимости температуры от продолжительности обработки (τ), концентрации полимерного связующего (c) и мощности (P) СВЧ-излучения. Наилучшие смачивающие свойства полимерного связующего достигаются при температуре 45°C , поэтому она взята в качестве наиболее желательной.

Высота капиллярного подъема полимерного связующего $h_{свч}$ должна принимать максимальное значение, для определения функции желательности d_2 использована формула (6.16) и регрессионная модель (6.9) зависимости высоты от режимов СВЧ-обработки и концентрации полимерного связующего. Нижняя граница $h_{свч}=0$, а верхняя граница $h_{свч}=70$ мм.

Зависимость затраченной энергии $E_{свч}$ от продолжительности и мощности излучения в пересчете на единицу объема полимерного связующего определяется по формуле:

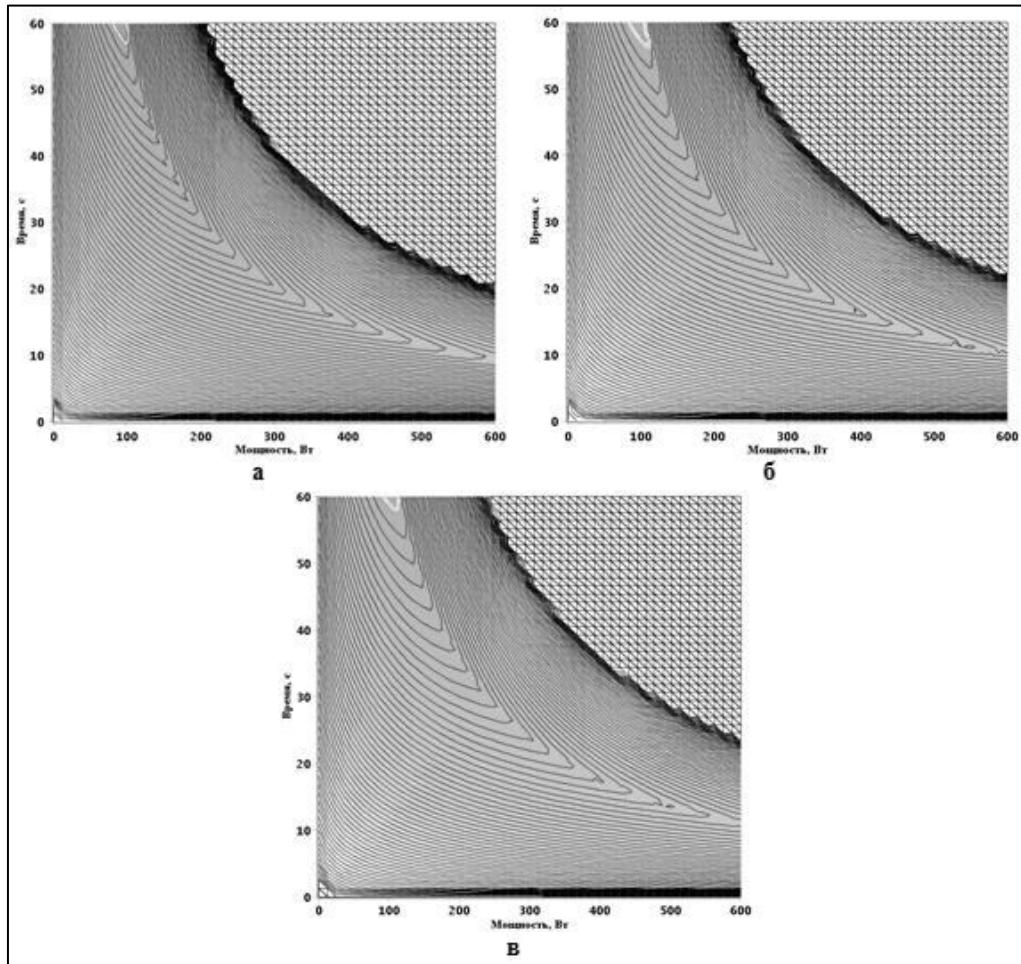
$$E_{свч} = 3,3 * 10^{-6} P * \tau \quad (6.18)$$

Функция желательности для расхода энергии d_3 при пропитке в условиях СВЧ-обработки на единицу объема полимерного связующего $E_{свч}$ определена по формуле (6.17) с использованием модели (6.18). В качестве нижней границы диапазона желательности выбрано $E_{свч}=0$, верхняя граница $E_{свч}=0,05$ Дж/мм³.

Построение частных и обобщенной функций желательности проведено с использованием системы компьютерной алгебры Maple (Приложение К).

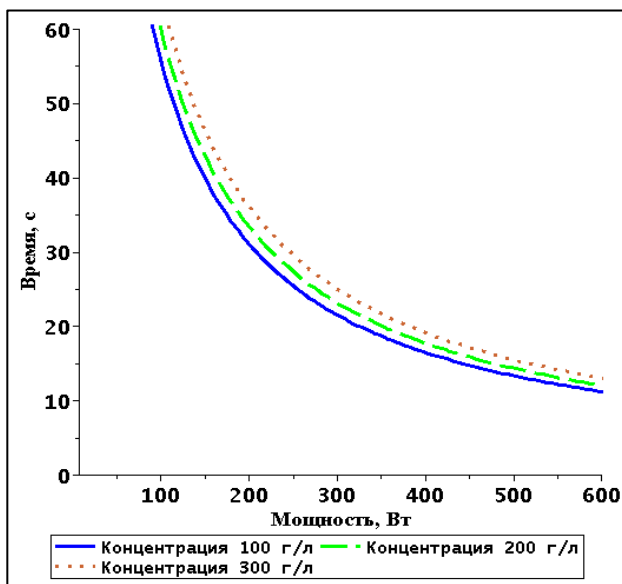
Контурные диаграммы обобщенной функции желательности D_{opt} (6.14) для процесса пропитки в условиях СВЧ-обработки представлены на рисунке 6.15, где отмечены области оптимальных значений мощности СВЧ-излучения и продолжительности воздействия, соответствующие максимальной обобщенной желательности. Анализ полученной обобщенной функции желательности позволил определить оптимальные комбинации мощности и продолжительности СВЧ-воздействия для достижения максимальной высоты капиллярного подъема связующего при концентрации 100, 200, 300 г/л (рисунок 6.16). Как видно, оптимальные режимные параметры практически не зависят от концентрации дисперсии связующего. Таким образом, в результате исследования и оптимизации процесса пропитки тканых полотен водной дисперсией полимерного связующего в условиях СВЧ-обработки в диапазоне мощностей 300 – 600 Вт и частоте 2450 МГц получена простая для технологических расчетов эмпирическая модель расчета оптимальной комбинации режимных параметров СВЧ-обработки [14-А]:

$$\tau_{свч} = \frac{6400 + 6,36c}{25 + P} \quad (6.22)$$



a – 100 г/л, б – 200 г/л, в – 300 г/л

Рисунок 6.15 – Контурные диаграммы обобщенной функции желательности для пропитки в условиях СВЧ-обработки



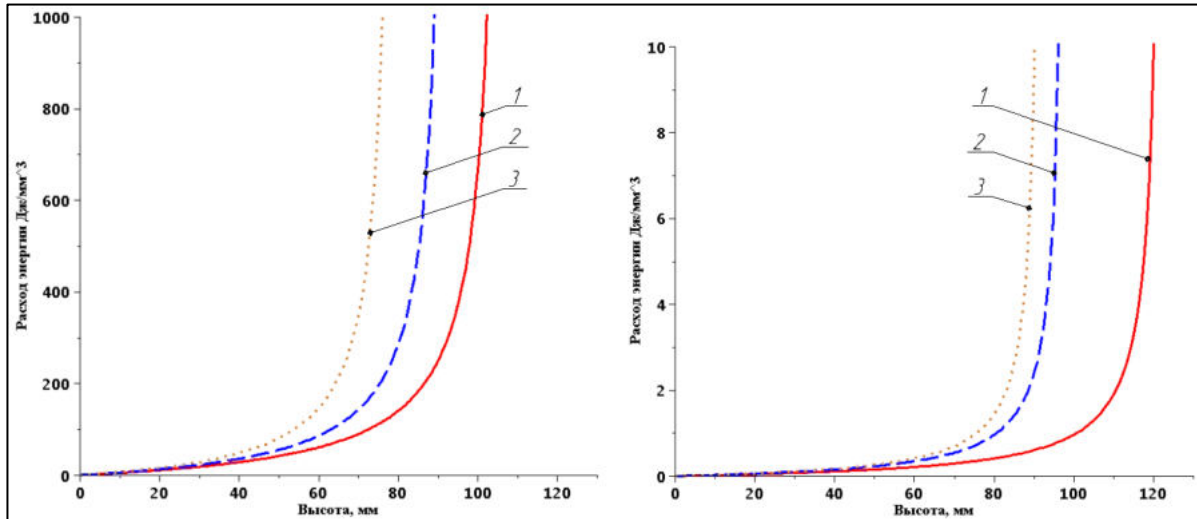
$$\tau_{100} = \frac{6980}{24,8 + P} \quad (6.19)$$

$$\tau_{200} = \frac{7520}{25,1 + P} \quad (6.20)$$

$$\tau_{300} = \frac{8130}{25,2 + P} \quad (6.21)$$

Рисунок 6.16 – График оптимальных комбинаций режимных параметров процесса пропитывания в условиях СВЧ

Сравнение традиционной пропитки тканых полотен при формировании каркасных текстильных материалов в условиях нагрева полимерного связующего до температуры 45°C с СВЧ пропиткой по затратам энергии доказывают эффективность последней (рисунок 6.17).



(a)

(б)

*а – пропитывание в условиях конвективного нагрева полимерного связующего;
б – пропитывание в условиях воздействия СВЧ-излучения при мощности 600 Вт.
концентрация полимерного связующего: 1 – 100 г/л; 2 – 200 г/л; 3 – 300 г/л.*

Рисунок 6.17 – Зависимость энергозатрат от высоты капиллярного подъема водной дисперсии полимерного связующего

В результате экспериментальных исследований процесса пропитки тканых полотен из химических нитей при формировании комбинированных каркасных текстильных материалов подтверждена эффективность СВЧ-обработки [16-А, 38-А]: улучшается смачивающая способность водной дисперсии полимерного связующего, увеличивается объем порового пространства, заполняемого полимерным связующим.

6.2.5. Исследование процессов сушки и термофиксации при формировании комбинированных текстильных материалов в условиях СВЧ-нагрева

Следующими после пропитки операциями формирования комбинированных текстильных материалов являются сушка и термофиксация. Поэтому, логическим продолжением исследований является изучение эффективности использования электромагнитных волн СВЧ-диапазона в вышеуказанных операциях.

В результате ранее проведенных исследований, установлено, что для завершения процессов сушки и термофиксации комбинированных текстильных

материалов при использовании в качестве теплоносителя горячего воздуха (120 – 180⁰С) требуется 2 – 7 мин, в зависимости от сырьевого состава тканого полотна и концентрации полимерного связующего. Причем, продолжительность термофиксации определяется лишь концентрацией полимерного связующего.

Сушка комбинированных текстильных материалов в условиях СВЧ-излучения основана на диэлектрическом нагреве воды, содержащейся в полимерном связующем. Известно, что при влажности материала, приближающейся к 100 %, вид волокнистого материала не оказывает влияние на электрофизические свойства материала и эффективность диэлектрического нагрева [127]. Система текстильный материал - водная дисперсия полимерного связующего представляет собой диэлектрик, электрофизические характеристики которого близки к воде, а теплофизические к тканому материалу. В работе [126] получена упрощенная зависимость тангенса угла диэлектрических потерь $\text{tg}\delta$ от влагосодержания и температуры комбинированных каркасных текстильных материалов из вискозных нитей (рисунок 6.18).

Основное отличие СВЧ-сушки от конвективной состоит в следующем. В процессе конвективной сушки температура на поверхности материала выше, чем в центре, что препятствует перемещению влаги от центра к поверхности. Перемещение влаги к поверхности и ее испарение происходит за счет концентрационного градиента. При СВЧ-сушке температура в центре выше, чем на поверхности материала, термодиффузия направлена от центра к поверхности, но при этом влагосодержание на поверхности выше, чем в центре, т.е. концентрационная диффузия влаги направлена в обратном направлении и оказывает сопротивление перемещению влаги.

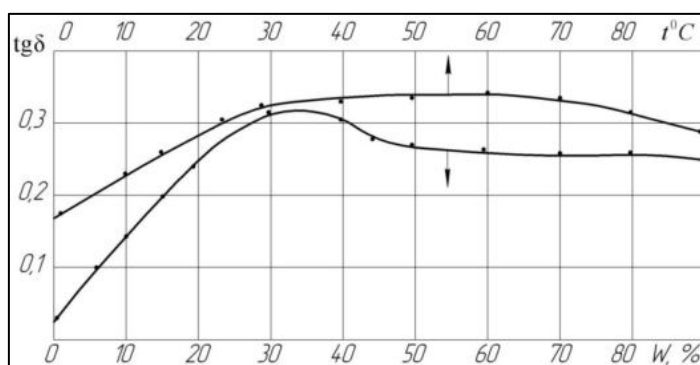


Рисунок 6.18 – Зависимость тангенса угла диэлектрических потерь $\text{tg}\delta$ от влагосодержания и температуры для комбинированных текстильных материалов

Испарение влаги в центре материала больше, чем на поверхности, так как температура в центре выше, чем на поверхности. Возникающий градиент давления является движущей силой переноса влаги в виде пара в объеме комбинированного материала [122, 123].

Проведены экспериментальные исследования процесса СВЧ-сушки комбинированных каркасных текстильных материалов из полиамидных и вискозных нитей и сравнение с кинетикой сушки тех же материалов в условиях конвективного нагрева [25-А]. Сушка в условиях СВЧ-излучения проводилась при мощности генератора 300, 600 и 850 Вт частоте 2450 МГц. Кинетические кривые СВЧ-сушки представлены на рисунке 6.19.

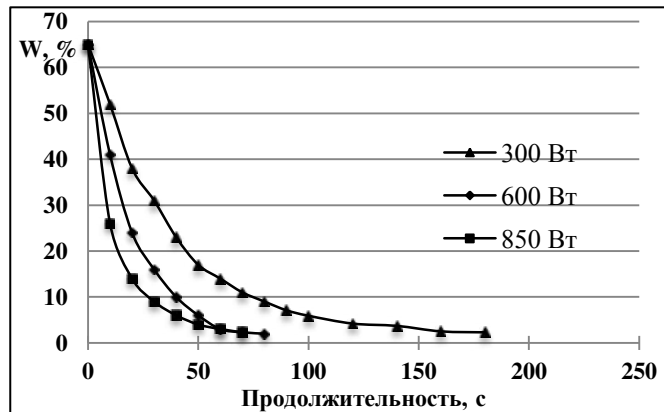


Рисунок 6.19 – Кинетические кривые сушки комбинированных текстильных материалов в условиях СВЧ нагрева

В начале процесса СВЧ-обработки влажный текстильный материал быстро нагревается и скорость испарения влаги увеличивается, достигая максимального значения. Испарение влаги происходит при температуре близкой к 100°C — температуре кипения воды. После достижения максимального значения происходит снижение интенсивности испарения и температура материала повышается. На кривых сушки практически не наблюдается периода постоянной скорости, сушка протекает в периоде падающей скорости. Эта особенность СВЧ-сушки характерна для тонких материалов [123].

Анализируя и сравнивая конвективную и СВЧ сушку комбинированных каркасных текстильных материалов можно сделать следующие выводы:

- при одинаковой мощности СВЧ-излучения $P_{ген}$ и начальном влагосодержании W_0 кривые сушки для полиамидных и вискозных материалов практически совпадают, изменение концентрации полимерного связующего также не изменяет зависимости, что можно объяснить высокой скоростью испарения влаги с объема комбинированного материала, толщина которого не превышает $4 \cdot 10^{-3}$ м;
- с увеличением мощности генератора СВЧ излучения интенсивность испарения влаги возрастает и продолжительность сушки до равновесного влагосодержания сокращается;
- СВЧ сушка обеспечивает достижение равновесного влагосодержания материала за 70 – 90 с при мощности $P_{ген} = 600 – 850$ Вт, в то время как

конвективная сушка за 130 – 200 с для полиамидных материалов и 340 – 380 с для вискозных при $t_b = 120 – 140^{\circ}\text{C}$ и концентрации полимерного связующего 100 – 300 г/л;

В работе [217] доцентом А.И. Ольшанским и профессором В.И. Ольшанским установлено, что сокращение продолжительности СВЧ сушки пропорционально возрастанию мощности генератора СВЧ, а также получена формула для расчета продолжительности СВЧ обработки тонких текстильных материалов до заданного влагосодержания:

$$\tau = -\frac{1}{k} \lg \frac{W - W_p}{W_0 - W_p}, \quad (6.23)$$

где k – коэффициент независящий от параметров процесса обработки выражается линейной зависимостью $k = 4 \cdot 10^{-5} P_{\text{ген}}$ [217].

С использованием формулы (6.23) рассчитана требуемая продолжительность СВЧ обработки для достижения равновесного влагосодержания комбинированных каркасных текстильных материалов из вискозных и полиамидных нитей (таблица 6.5.).

Из приведенных данных следует, что по сравнению с конвективной СВЧ-сушка позволяет сократить продолжительность в 2 – 3 раза для полиамидных материалов и 4 – 5 раз для вискозных материалов.

Таблица 6.5 – Расчетные и экспериментальные значения продолжительности СВЧ-сушки комбинированных текстильных материалов

<i>Каркасные текстильные материалы из вискозных и полиамидных нитей</i>					
$P_{\text{ген}} = 300 \text{ Вт}$					
$W_p, \%$	2,3	5	10	20	30
$\tau_{\text{эксн}}, \text{с}$	190	108	77	43	31
$\tau_{\text{расч.}}, \text{с}$	193	110	75	45	29
$P_{\text{ген}} = 600 \text{ Вт}$					
$\tau_{\text{эксн}}, \text{с}$	92	54	35	21	16
$\tau_{\text{расч.}}, \text{с}$	95	55	37,5	23	15
$P_{\text{ген}} = 850 \text{ Вт}$					
$\tau_{\text{эксн}}, \text{с}$	72	41	26	14	11
$\tau_{\text{расч.}}, \text{с}$	68	39	26	16	10

Следующей важнейшей задачей, решаемой в данном разделе является исследование распределения дисперсии полимерного связующего в объеме тканого полотна после сушки. При сушке каркасных текстильных материалов,

толщина которых составляет более 1 мм возникает проблема миграции частиц дисперсной фазы полимерного связующего к поверхности тканого полотна при высушивании. В результате миграции на поверхности образуется пленка, а глубинные слои обедняются связующим. Это приводит к ухудшению физико-механических и эксплуатационных свойств готового материала: уменьшается воздухопроницаемость, возрастает способность к расслаиванию, повышается жесткость. Кроме того, возникают проблемы при термофиксации, так как образующаяся на поверхности пленка при высоких температурах (170 – 180⁰С) начинает разрушаться, что также приводит к ухудшению свойств и внешнего вида материалов декоративно-отделочного назначения.

Для исследования использован метод послойного анализа, позволяющий судить о равномерности распределения дисперсии по объему ткани [46]. Тканое полотно из вискозных нитей, пропитывалось водной дисперсией стирол-акрилата – 100 и 500 г/л, продолжительность пропитки – 10 минут температура пропитки – 20 °С. Затем одна часть образцов подвергалась конвективной сушке при температуре 120⁰С в течении 340 – 400 с, другая часть СВЧ-сушке при мощности 600 Вт в течении 90 с.

Количество отложившейся дисперсной фазы определялось на уточных нитях длиной 10 см, взятых из различных слоев пропитанного полотна, путем их взвешивания и вычитания из найденного значения веса таких же нитей, взятых из непропитанного тканого полотна. Взвешивание нитей осуществлялось на лабораторных аналитических весах с точность 0,0001г.

Результаты проведенных экспериментов представлены на рисунках 6.20, 6.21 [2-А] .

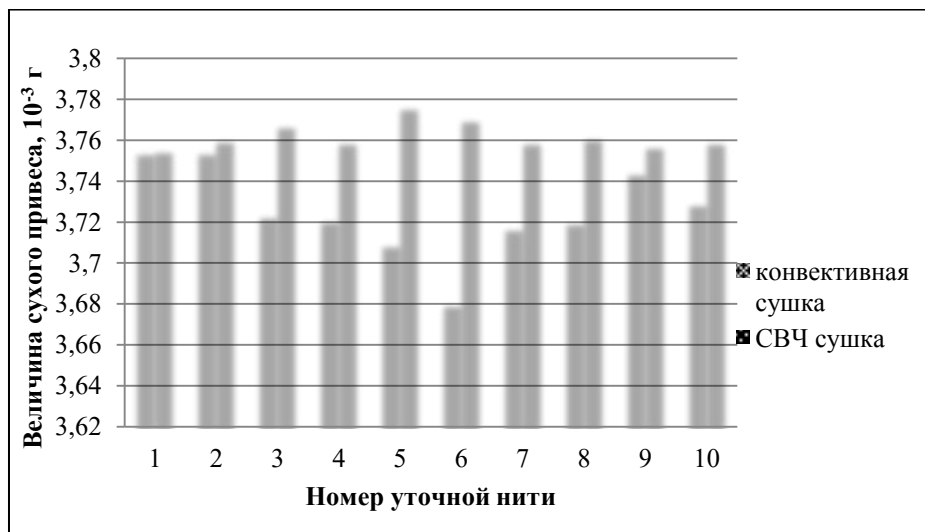


Рисунок 6.20 – Величина сухого привеса нитей утка тканого полотна комбинированного материала при концентрации дисперсии стирол-акрилата 100 г/л

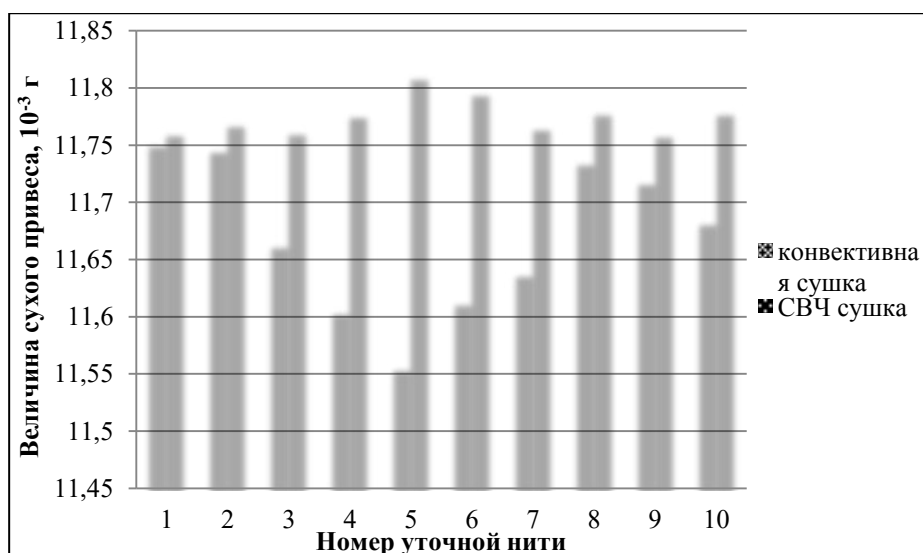


Рисунок 6.21 – Величина сухого привеса нитей утка тканого полотна комбинированного материала при концентрации стирол-акрилата 500 г/л

Как видно из представленных диаграмм, в случае конвективной сушки количество отложившейся дисперсной фазы в глубинных слоях меньше, чем в поверхностных. Это подтверждает миграцию частиц полимерного связующего к поверхностным слоям вместе с удаляемой при конвективной сушке влагой. При СВЧ-сушке влага удаляется в виде пара, не увлекая дисперсную фазу к поверхности материала.

Так как сушка осуществляется изнутри наружу, поверхность материала остается «холодной» и влажной до тех пор, пока изнутри больше не добавиться пара и поверхность не начнет сохнуть. Это предотвращает, во-первых, преждевременное образование полимерной пленки, которая препятствует сушке глубинных слоев, во-вторых, длительное действие высоких температур на волокнообразующий полимер и частицы полимерного связующего, которое вызывает деструкцию волокна и связующего в результате чего происходит ухудшение свойств готового материала.

Результаты, характеризующие эффективность СВЧ обработки представлены в таблице 6.6:

Анализируя результаты исследований можно сделать следующие выводы:

- продолжительность сушки в условиях СВЧ-нагрева не зависит от концентрации полимерного связующего и сокращается в 4 раза;
- при пропитке тканого полотна в условиях СВЧ-обработки повышается степень полезного использования водной дисперсии полимерного связующего, так как количество дисперсной фазы отложившейся на волокне немного ниже ее содержания в количестве дисперсии, соответствующей привесу нитей;

- в условиях СВЧ-сушки значительно снижается миграция дисперсной фазы к поверхностным слоям материала, о чем свидетельствует коэффициент вариации величины сухого привеса уточных нитей по слоям.

Таблица 6.6 – Сравнительный анализ конвективной и СВЧ сушки комбинированных текстильных материалов из вискозных нитей

Наименование показателя	Концентрация дисперсии 100 г/л		Концентрация дисперсии 500 г/л	
	конвективная сушка	СВЧ сушка (600 Вт)	конвективная сушка	СВЧ сушка (600 Вт)
Продолжительность сушки, с	340	90	400	90
Содержание дисперсной фазы в количестве дисперсии, соответствующей привесу нитей, %	16,2		35,5	
Общее количество адсорбированной дисперсии на нитях при традиционной пропитке, % от массы сухих нитей	9,5	9,6	29,8	30,0
Общее количество адсорбированной дисперсии на нитях при СВЧ пропитке, % от массы сухих нитей	-	14,3	-	32,8
Относительный прирост количества адсорбированной дисперсии, %	-	48,9	-	9,3
Коэффициент вариации величины сухого привеса уточных нитей по слоям, %	0,65	0,17	0,54	0,12

Заключительной операцией технологического процесса формирования комбинированных текстильных материалов является термофиксация, в результате которой они приобретают необходимую жесткость.

Для подтверждения эффективности использования СВЧ-излучения при термофиксации проведены экспериментальные исследования зависимости жесткости от продолжительности СВЧ-нагрева пропитанного полимерным связующим тканого полотна и сравнение с эталонным образцом. Эталонный образец подготовлен по технологии, разработанной в разделе 5.4.

В таблице 6.7 представлена последовательность операций и режимы формирования эталонного образца и объекта исследований. Продолжительность сушки и термообработки горячим воздухом выбрана в зависимости от концентрации полимерного связующего.

Таблица 6.7 – Последовательность операций при формировании комбинированных каркасных текстильных материалов

Классическая технология	Формирование в условиях СВЧ обработки
Пропитка раствором полимерного связующего (200 г/л) $t=40^{\circ}\text{C}$, $\tau=600$ с	
Отжим 60 – 80 %	
Сушка $t=140^{\circ}\text{C}$; $\tau=360$ с	СВЧ обработка $P_{ген} = 600$ Вт, $\tau=90$ с
Термофиксация $t=170^{\circ}\text{C}$, $\tau=120$ с	-

Графическая зависимость показателя жесткости комбинированных каркасных текстильных материалов от продолжительности термофиксации представлена на рисунке 6.22. Вид полученных зависимостей показателя жесткости от продолжительности СВЧ-нагрева свидетельствует о том, что процесс СВЧ-обработки протекает в две стадии. Как видно, на начальном этапе обработки происходит сушка текстильного композиционного материала и показатель жесткости изменяется незначительно. Продолжительность этой стадии составляет 25 – 50 с в зависимости от мощности СВЧ-излучения.

Сушка происходит в режиме запаривания, что облегчает диффузию полимерного связующего в волокнистый материал за счет пластифицирующего действия водяного пара.

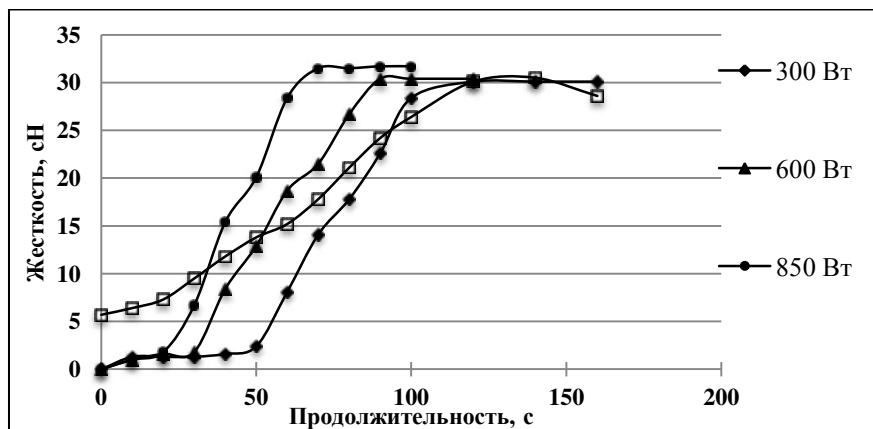


Рисунок 6.22 – Зависимость показателя жесткости комбинированных текстильных материалов от продолжительности термофиксации

Вторая стадия соответствует операции термофиксации. Скорость изменения показателя жесткости при СВЧ-нагреве значительно выше, чем при термообработке в среде горячего воздуха. Это можно объяснить большей скоростью диффузии полимерного связующего в структуру волокнистого материала и значительным разогревом в СВЧ-поле по всему объему.

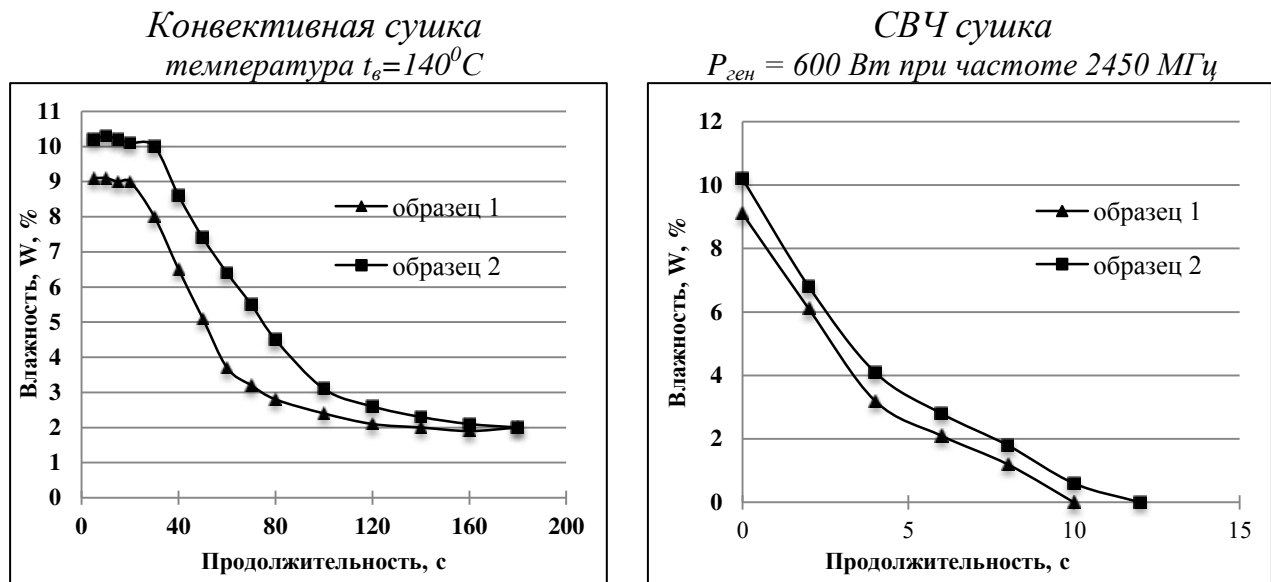
Использование СВЧ-нагрева в технологии формирования комбинированных каркасных текстильных материалов позволяет совместить операции сушки и

термофиксации, сократить продолжительность теплового воздействия на материал.

Проведено исследование СВЧ-сушки при формировании комбинированных слоистых текстильных материалов. В качестве объектов исследования выбраны: слоистый текстильный материал флизелин – льняная ткань 180 г/м^2 ; слоистый текстильный материал флизелин – льняная ткань 270 г/м^2 . При соединении полотна основы (флизелин) и декоративной льняной ткани использовано полимерное связующее следующего состава:

- поливиниловый спирт (4 %) – 99,6-99,8 %
- ортофосфорная кислота (85 %) – 0,2-0,4 %

Кинетические кривые сушки слоистых текстильных материалов в условиях СВЧ и сравнение с конвективной сушкой представлены на рисунке 6.23.



*образец 1 – слоистый материал (нетканое полотно - льняная ткань 180 г/м^2);
образец 2 – слоистый материал (нетканое полотно - льняная ткань 270 г/м^2).*

Рисунок 6.23 – Кинетические кривые сушки слоистых текстильных материалов

Из полученных графиков изменения влагосодержания слоистого текстильного материала в процессе сушки видно, что при конвективной сушки 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. Отсутствие воздействия высокой температуры на текстильный материал положительно влияет на его свойства.

6.3. Исследование влияния СВЧ-обработки на свойства комбинированных текстильных материалов

Степень воздействия СВЧ-излучения на структуру и свойства волокнистого материала зависит от диэлектрических свойств волокнообразующего полимера и от влагосодержания материала в процессе диэлектрического нагрева. При СВЧ-нагреве полярных волокон происходит дипольная поляризация, сопровождающаяся сегментальной подвижностью макромолекул, разрыв межмолекулярных связей и образование новых, более энергетически выгодных, релаксация внутренних напряжений [127]. При воздействии электромагнитных волн на неполярные волокна эффективность процесса определяется наличием полярного компонента – воды. Релаксационные процессы протекают в волокне в результате создающегося при закипании воды эффекта запаривания, при этом повышаются прочностные свойства, стабилизируются линейные размеры текстильного материала [10-А, 12-А].

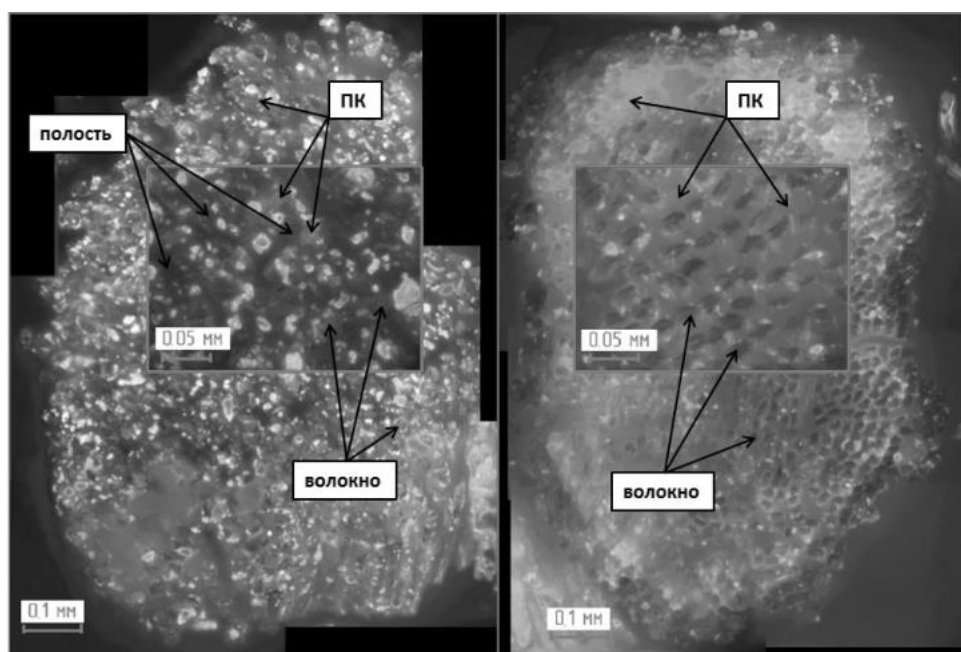
В ходе исследования пропитки, сушки и термообработки комбинированных текстильных материалов в условиях СВЧ-обработки установлено следующее:

- происходит более полное и равномерное заполнение капиллярно-пористой структуры волокнистого материала полимерным связующим;
- отсутствует миграция дисперсной фазы полимерного связующего к поверхностным слоям материала;
- мягкие условия воздействия высоких температур на волокно, так как СВЧ-излучение нагревает не волокнообразующий полимер, а воду, содержащуюся в связующем.

Следствием вышеуказанных преимуществ должно являться улучшение их свойств [10-А, 17-А, 25-А]. Поэтому проведено сравнение некоторых физико-механических свойств комбинированных каркасных текстильных материалов из вискозных нитей, полученных по традиционной и с использованием СВЧ-поля технологиям формирования.

Исследование микроструктуры готового материала проведено с использованием инвертированного микроскопа. На рисунке 6.24 представлены снимки срезов материала из вискозных нитей полученных по традиционной и СВЧ технологиям с 50-кратным увеличением. Полученные изображения доказывают во-первых, более полное и равномерное распределение связующего в объеме тканого полотна, во-вторых, отсутствие нескоалицированных глобул.

Сравнение технологий проведено по некоторым значимым показателям качества комбинированных материалов для всех классификационных групп: жесткость, устойчивость к истиранию, разрывная нагрузка, водоотталкивающие свойства [10-А, 12-А]. Рекомендуемые значения показателей зависят от конкретного назначения материала.



(a)

(б)

а – традиционная технология; б – СВЧ технология

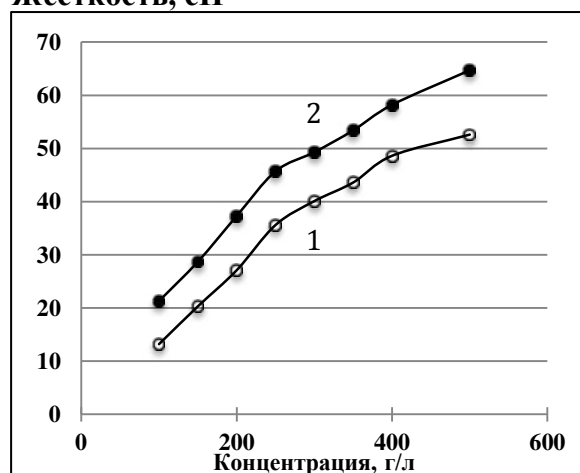
Рисунок 6.24 – Микрофотографии комбинированного каркасного текстильного материала из вискозных нитей

Полученные экспериментальные данные (рисунок 6.25) свидетельствуют о том, что под воздействием электромагнитного поля СВЧ-диапазона происходит улучшение физико-механических свойств при меньшей концентрации водной дисперсии полимерного связующего и продолжительности тепловых обработок.

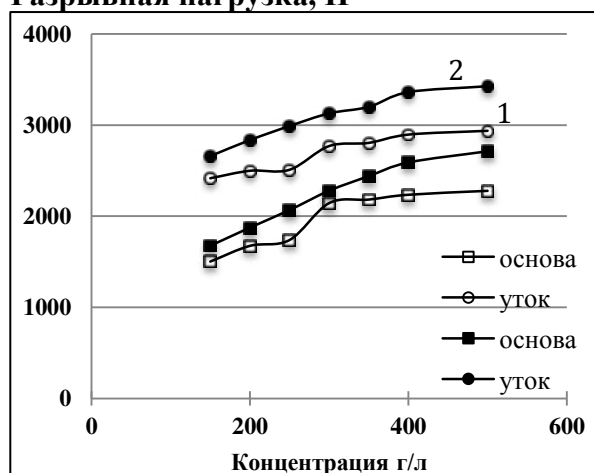
Использование СВЧ-нагрева позволило в увеличить жесткость комбинированных каркасных текстильных материалов в среднем на 25 – 30 %, стойкость к истиранию в 1,5-1,7 раза, прочность на 15 – 20 %.

Результаты исследования процесса придания комбинированным текстильным материалам 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. Образующаяся на поверхности пленка, даже в случае значительной миграции дисперсной фазы, создает требуемые показатели водоотталкивания. Однако, необходимый эффект достигается при значительном сокращении продолжительности термообработки.

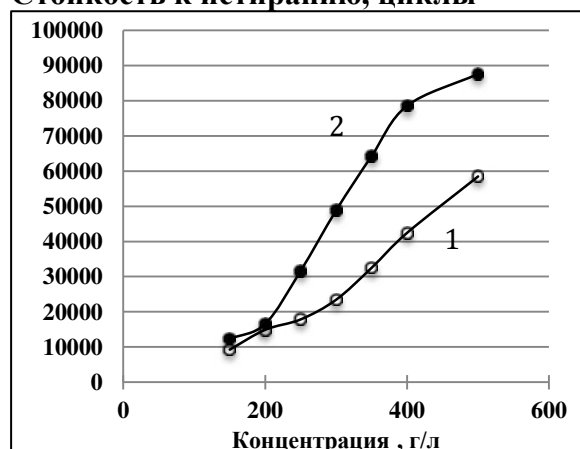
Жёсткость, сН



Разрывная нагрузка, Н



Стойкость к истиранию, циклы



Краевой угол смачивания, град



Концентрация препарата Nuva FHN:

1 – 20 г/л; 2- 30 г/л; 3 - 40 г/л;

4 - 50 г/л; 5 - 60 г/л.

1 – традиционная технология; 2 – СВЧ технология

Рисунок 6.25 – Результаты сравнения физико-механических свойств комбинированных каркасных текстильных материалов из вискозных нитей

Для комбинированных 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. Объектами исследования являлись:

- слоистый текстильный материал, состоящий из полотна основы (бумага/флизелин) и льняной ткани (270 г/м^2), полимерного связующего - поливиниловый спирт (4 - 6 %);
- слоистый ворсовой материал, состоящий из полотна основы (бумага/флизелин/ткань), декоративное покрытие из полиамидного ворса, полимерного связующего – поливинилацетатная дисперсия, поливиниловый спирт (90/10).

Результаты исследований представлены на рисунках 6.26, 6.27.

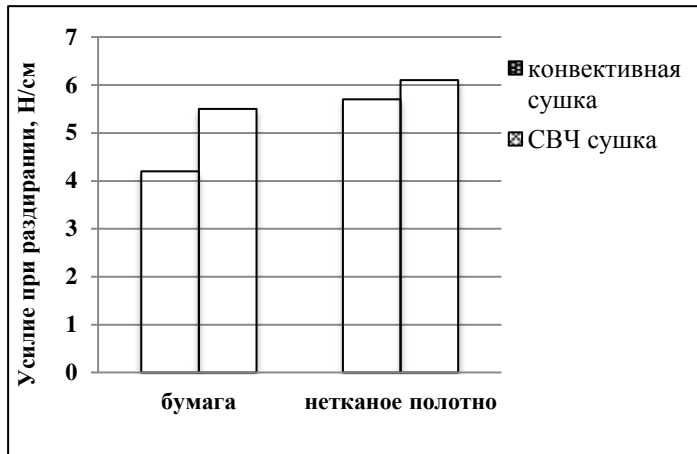


Рисунок 6.26 – Результаты сравнения физико-механических свойств слоистых текстильных материалов

Конвективная сушка

- температура - 140 °С;
- продолжительность – 180 с

СВЧ сушка

- мощность - 600 Вт;
- продолжительность – 12 с

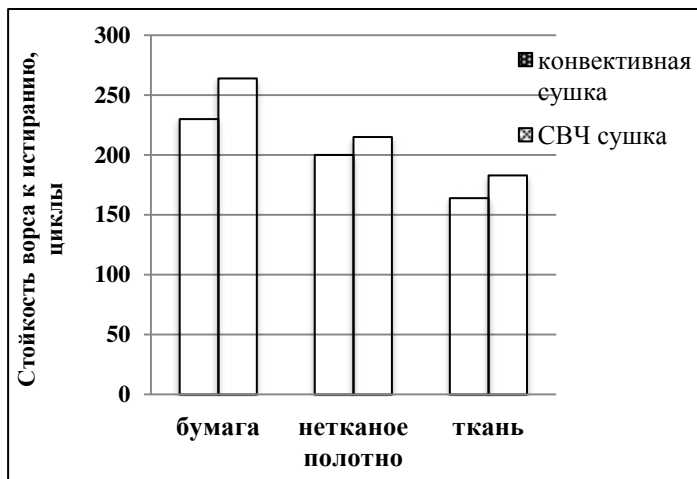


Рисунок 6.27 – Результаты сравнения физико-механических свойств слоистых материалов с ворсовым покрытием

Конвективная сушка

- температура – 140 °С;
- продолжительность – 90 с

СВЧ сушка

- мощность - 600 Вт;
- продолжительность – 10 с

Таким образом, использование СВЧ-обработки при формировании комбинированных текстильных материалов позволяет решать следующие задачи:

- интенсифицировать процессы пропитки и сушки: скорость пропитки возрастает в 10 – 12 раз по сравнению с традиционным способом, продолжительность сушки сокращается в 3 – 5 раз для каркасных и 15 – 20 раз для слоистых текстильных материалов;
- уменьшить расход водной дисперсии полимерного связующего при формировании каркасных текстильных материалов на 10 – 15 % по сравнению с традиционным способом при достижении аналогичной жесткости;
- получать материалы с улучшенными свойствами: для каркасных текстильных материалов повысить стойкость к истиранию в 1,5-2 раза, прочность на 10 – 20 % ; для слоистых материалов увеличить прочность связи между слоями на 30 – 40% (бумажная основа, 3 – 5% (флизелиновая основа); для слоистых ворсовых увеличить устойчивость ворса к истиранию на 5 – 15 %.

ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 6

1. В результате исследований доказано интенсифицирующее действие СВЧ-излучения в рабочем диапазоне 300 – 850 Вт при частоте 2450 Гц на процессы формирования комбинированных текстильных материалов.
2. Установлено повышение смачивающей способности водных стирол-акрилатных дисперсий в диапазоне концентраций 100 – 300 г/л, используемых при формировании комбинированных каркасных текстильных материалов. Получены регрессионные модели зависимости температуры и физико-химических свойств полимерного связующего от мощности и продолжительности воздействия электромагнитных волн СВЧ-диапазона.
3. Проанализирована зависимость скорости пропитки от режимов СВЧ-обработки. Установлено, что скорость не зависит от мощности СВЧ-излучения, но значительно увеличивается по сравнению с традиционным способом, происходит ускорение в 10 – 12 раз.
4. Получена математическая модель зависимости коэффициента пропитки от концентрации полимерного связующего, мощности и продолжительности СВЧ-обработки. Экспериментально доказано увеличение объема порового пространства текстильного материала, заполняемого полимерным связующим.
5. В результате оптимизации с использованием обобщенной функции желательности, учитывающей температуру, высоту капиллярного подъема и расход энергии на единицу объема полимерного связующего, получена эмпирическая модель расчета оптимальной комбинации режимных параметров СВЧ-обработки.
6. Проведен сравнительный анализ конвективной и СВЧ-сушки материалов и экспериментально определено сокращение продолжительности процесса, повышение степени полезного использования полимерного связующего и снижение миграции дисперсной фазы к поверхностным слоям материала.
7. Произведена оценка влияния СВЧ-обработки на физико-механические характеристики комбинированных текстильных материалов, экспериментально подтверждено улучшение основных показателей их качества .

ГЛАВА 7. АПРОБАЦИЯ РАЗРАБОТАННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ФОРМИРОВАНИЯ КОМБИНИРОВАННЫХ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЕКОРАТИВНО-ОТДЕЛОЧНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

7.1. Рекомендации по промышленному применению и апробация технологии формирования слоистых материалов с ворсовым покрытием

Для формирования ворсового покрытия аэродинамическим способом разработаны:

- мобильное аэродинамическое устройство для нанесения ворсового покрытия на изделия различной формы, а также с использованием трафаретов на различные поверхности [102-А];
- устройство аэродинамического нанесения ворсового покрытия на рулонные материалы [103-А].

Апробация мобильного аэродинамического устройства и технологии нанесения ворса на штучные изделия проводилась в условиях РУП ФХИ «Купава» (г. Витебск) для декоративной отделки швейных изделий, а также на ООО «Спецпожтехника» (г. Витебск) при декорировании мебельных фасадов. Ворсовое покрытие наносилось в соответствии с заранее определенными формой и размером (рисунок 7.1). Свойства и состав используемых материалов и параметры работы устройства представлены в таблице 7.1, 7.2.

Таблица 7.1 – Состав и свойства исходных материалов

Наименование материала	Состав	
	швейное изделие	мебельный фасад
Основа	100% лен	древесно-стружечная плита
Ворс	100% нитрон (длина 1 мм)	
Полимерное связующее	ПВА – 90 % ПВС (6 %-ный) - 5 % Пластификатор (глицерин) - 2 % Метазин – 3 %	ПВА – 90 % ПВС (10 %-ный) - 10 %

Таблица 7.2. – Технологические параметры формирования ворсового покрытия

Параметры	Значение
Рабочее давление, МПа	0,2
Ячейка сита, мм	8
Насадка	Прямоугольное сечение (0,5×9) мм
Расстояние до основы, м	0,050
Угол положения диффузора, град.	7

Наработка изделий проводилась в соответствии с разработанным проектом технологического регламента (Приложение Л) в следующем порядке: подготовка кроя выбранного вида изделия; проработка рисунка; изготовление трафарета; подготовка мобильного аэродинамического устройства; нанесение полимерного связующего через трафарет; нанесение ворса; сушка деталей кроя; удаление лишнего ворса; пошив изделия и ВТО (для швейных изделий).



(a)



(б)

Рисунок 7.1 – Образцы декоративной отделки штучных изделий (а – жакет женский артикул 8с98-266, б – мебельный фасад)

Образцы изделий с декоративной отделкой исследованы на основные показатели, характеризующие качество ворсового рисунка (таблица 7.3).

Таблица 7.3 – Свойства ворсового рисунка

Показатель	Значение	
	швейное изделие	мебельный фасад
Устойчивость к свету, баллы	6	
Поверхностная плотность ворса, г/м ²	110	140
Устойчивость ворса к истиранию, число циклов	230	110
Жесткость, сН	15	-

Для декоративного оформления швейных изделий используются различные способы. Среди всего многообразия можно выделить часто используемую на предприятиях вышивку, которая является дорогостоящим видом отделки. Замена вышивки гладью на технологический процесс получения такого же рисунка аэродинамическим напылением позволит значительно снизить себестоимость готового изделия за счет снижения стоимости используемого сырья и временных затрат. Кроме того, структура ворсового покрытия дает возможность расширить виды отделки швейных изделий.

Расчет отпускной цены одной единицы изделия с декоративной отделкой ворсом и экономической эффективности использования технологии ворсового покрытия аэродинамическим способом представлен в Приложении Л. Отпускная цена составила 43389 руб. с учетом НДС в ценах на апрель 2008г. Экономический эффект от замены вышивки на изготовление рисунка с волокнистым покрытием при объеме производства 100 единиц изделий в год составляет 9267100 руб. (102,7 тыс. российских рублей) по ценам 2008 г.

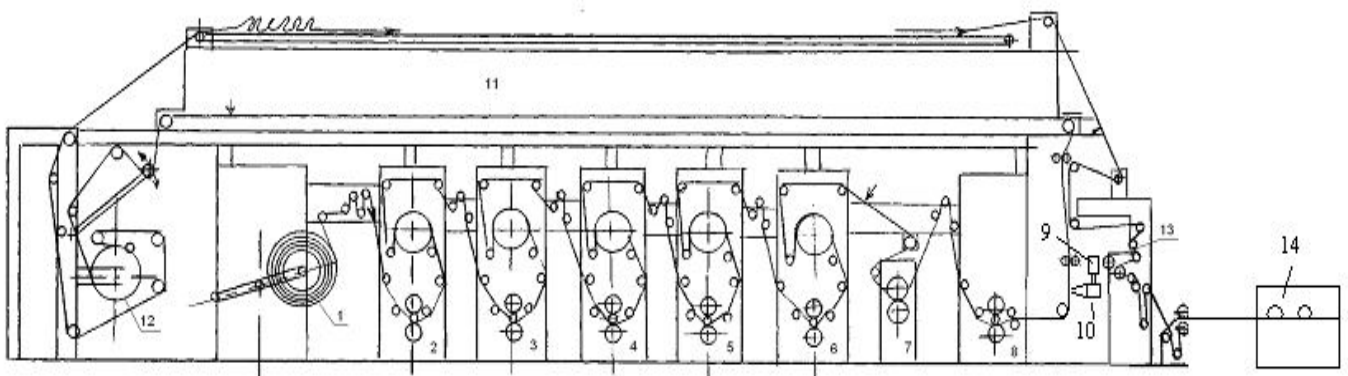
Расчет произведен в ценах на 01.04.2008 г. Национальным банком Беларуси с 24 марта 2008 года установлен курс российского рубля равный 90,25 белорусских рублей за один российский рубль.

Акты о внедрении разработанной технологии и проект технологического регламента представлены в Приложении Л.

7.2. Рекомендации по промышленному применению и апробация технологии формирования рулонных слоистых материалов с ворсовым покрытием

Технология формирования рулонных слоистых ворсовых материалов с использованием нового устройства для нанесения ворсового покрытия аэродинамическим способом апробирована в производственных условиях филиала холдинга «Белорусские обои» «Гомельобои». Акт производственных испытаний устройства для нанесения ворсового покрытия представлен в Приложении Л.

Наработка опытной партии текстильных обоев с ворсовым покрытием осуществлялась на технологической линии «Fisher & Krekker» с использованием нового аэродинамического устройства (рисунок 7.2).



1 – раскатное устройство; 2-6 – печатные секции; 7 – секция гофрирования; 8 – печатная секция для нанесения полимерного связующего; 9 – устройство для дозирования ворса; 10 – аэродинамическая форсунка; 11 – сушильная камера; 12 – охлаждающий барабан; 13 – узел обрезки кромки; 14 – размоточный станок

Рисунок 7.2 – Технологический процесс формирования обоев текстильных ворсовых (линия «Fisher & Krekker» с узлом для нанесения ворсового покрытия)

Технологические параметры формирования обоев текстильных ворсовых на линии «Fisher & Krekker» представлены в таблице 7.4. В качестве материала основы использована бумага для обоев (80 г/м²) производства ЗАО «Выборгский ЦБК».

Предварительно подготовленный ворс из смеси полиэфирных и нитроновых волокон (1 – 1,2 мм) помещался в дозирующий бункер аэродинамического устройства.

Полимерное связующее следующего состава:

<i>Поливинилацетатная дисперсия</i>	90
<i>Поливиниловый спирт (10%-ный)</i>	5-10
<i>Пластификатор (глицерин)</i>	2-5

Таблица 7.4 – Технологические параметры формирования обоев текстильных ворсовых

Параметр	Значение
Рабочее напряжение машины, В	380 ± 5%, 3-х фазное
Потребляемая мощность главного двигателя, кВт	15
Ширина обойного полотна (обычная), мм	530,0±3,0
Ширина обойного полотна (максимальная), мм	1000,0±3,0
Расстояние от полотна основы до диффузора аэродинамического устройства, м	0,35 – 0,45
Скорость движения полотна основы, м/с	0,4 – 0,6
Частота вращения шнека дозирующего устройства, мин ⁻¹	60,0
Давление сжатого воздуха, МПа	0,15 – 0, 20
Расход полимерного связующего, г/м ²	150
Расход волокнистого материала, г/м ²	100
Температура сушки, °С	120

В таблице 7.5 представлены свойства обоев текстильных ворсовых, полученных с использованием нового устройства для нанесения ворсового покрытия по разработанной в диссертационной работе технологии [33-А]. Показатели качества обоев текстильных ворсовых соответствуют разработанным техническим условиям (Приложение Л).

Расчет отпускной цены проводился с учетом объема планируемого выпуска в количестве 1000 условных кусков. Площадь условного куска составляет 3 м², площадь одной трубки составляет 5,34 м² (Приложение Л). Цена с НДС для одной трубки обоев составляет 13140 рублей. Сравнивая отпускную цену обоев текстильных ворсовых с импортным аналогом – обои бельгийские стоимостью 40340 рублей, видно, что цена обоев белорусского производителя в три раза ниже.

Таблица 7.5 – Свойства текстильных обоев с ворсовым покрытием

Показатель	Значение	Метод контроля
Марка обоев	С (устойчивые к сухому истиранию)	ГОСТ 6810-2002
Устойчивость к свету, баллы	6	ГОСТ 9733.3-83
Устойчивость к истиранию, число циклов	Более 40	ГОСТ 9913-90 ГОСТ 6810-2002
Отслаивание волокон при 40 циклах	нет	ГОСТ 9913-90
Жесткость, Н	23	ГОСТ 10550-93
Удельное поверхностное электрическое сопротивление, кВ/м	3,7	ГОСТ 19616-74
Поверхностная плотность, г/м ²	170	ГОСТ 3811-72
Усадка, %	0,5 - 1	ГОСТ 12057-81

Планируемый экономический эффект при освоении новой технологии обоев текстильных ворсовых, заключающийся в получении дополнительной прибыли при выпуске 100000 у.к обоев составит 21393,820 тыс. рублей (237,1 тыс. российских рублей) по ценам 2008 г.

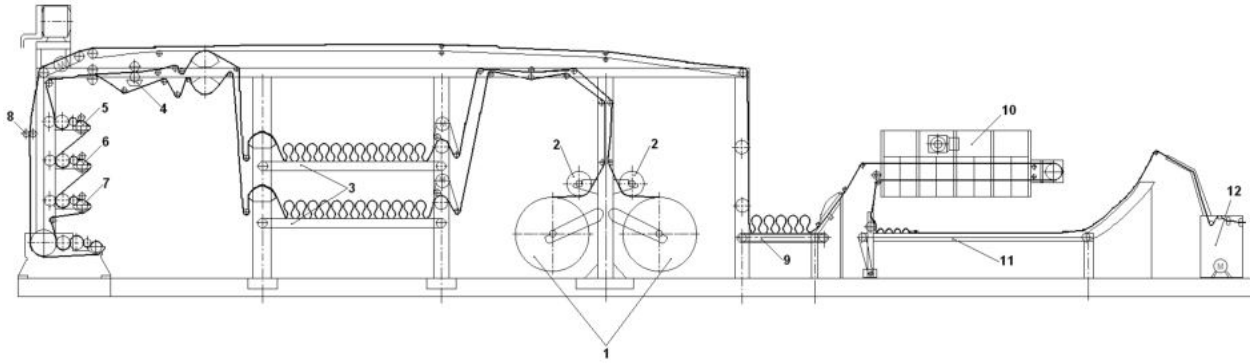
Расчет произведен в ценах на 01.04.2008 г. Национальным банком Беларуси с 24 марта 2008 года установлен курс российского рубля равный 90,25 белорусских рублей за один российский рубль.

Акт внедрения технологии формирования рулонных слоистых ворсовых материалов (обои ворсовые) представлен в Приложении Л.

7.3. Рекомендации по промышленному применению и апробация технологии формирования слоистых материалов с тканым покрытием – текстильных настенных покрытий

Апробация технологии формирования слоистых материалов с тканым покрытием и выпуск промышленной партии осуществлялся на ОАО «Белорусские обои» (г. Минск). Нарботка производилась на линии дуплексных обоев «Ламипринт-5», схема которой представлена рисунке 7.3.

Декоративная ткань и нетканое полотно (бумага или флизелин) с рулонной установки 1 поступают в узел для нанесения полимерного связующего 4. Полимерное связующее наносится на бумажное полотно и далее под воздействием давления прижимных валиков 5, 6, 7 соединяются, образуя слоистый текстильный материал. Сушка слоистого материала осуществляется в многосекционной сушильной камере 10 с возможностью регулирования температуры по секциям. После сушки и охлаждения 11 готовое слоистое полотно формируется в потребительские рулончики 12.



1 – рулонная установка; 2 – устройство натяжения; 3 – столы-накопители; 4 – узел нанесения полимерного связующего; 5, 6, 7 – прижимные валики; 8 – узел обрезки кромки; 9 – стол-накопитель; 10 – сушильная камера; 11 – стол-накопитель; 12 – автомат для формирования потребительские рулончики

Рисунок 7.3 – Схема технологической линии «Ламипринт-5»

Для наработки промышленной партии использовались ткань льняная декоративная (270 г/м^2) и нетканое полотно (флизелин 70 г/м^2). В качестве полимерного связующего использована композиция следующего состава:

поливиниловый спирт (4 %) – 99,6-99,8 %;
ортофосфорная кислота (85 %) – 0,2-0,4 %.

Текстильные настенные покрытия изготавливаются по разработанному «Технологическому регламенту производства текстильных обоев» (Приложение М). Технологические параметры формирования представлены в таблице 7.6.

Таблица 7.6 – Технологические параметры формирования текстильных настенных покрытий

Параметр	Значение
Рабочее напряжение машины, В	$380 \pm 5\%$, 3-х фазное
Потребляемая мощность главного двигателя, кВт	15
Ширина (обычная), мм	$530,0 \pm 3,0$
Ширина (максимальная), мм	$1000,0 \pm 3,0$
Скорость движения полотна, м/мин	0,5
Давление прижимных валов, кПа	25 - 28
Угол подачи материалов в узел склеивания, град	15
Температура сушки, °С	140

Внешний вид и показатели качества текстильных настенных покрытий представлены на рисунке 7.4. и в таблице 7.7 [83-А, 108-А, 109-А].



Рисунок 7.4 – Текстильные настенные покрытия

Таблица 7.7 – Показатели качества текстильных настенных покрытий

Наименование показателя	Характеристика	Метод контроля
Линейные размеры рулонов	51,0см±1,5мм 110,0см±1,5%	ГОСТ 6749-2005
Устойчивость окраски к свету, баллы	5,0	ГОСТ 9733.3-83
Устойчивость к истиранию, число циклов	более 1000	ГОСТ 6810-2002
Удельное поверхностное электрическое сопротивление, кВ/м	2,0	ГОСТ 19616-74
Разрушающее усилие во влажном состоянии, кН	0,8	ГОСТ 6810-2002
Прочность связи между слоями, Н/см	5,3	ГОСТ 13648.6-86
Жесткость, Н	23	ГОСТ 10550-93
Усадка, %	0,7	ГОСТ 30157.1-95

Готовые текстильные настенные покрытия должны отвечать требованиям ГОСТ 6810-2002, по физико-механическим показателям соответствовать нормам, указанным в разработанном проекте ТУ ВУ 300031282.040-2010 «Обои Текстильные. Технические условия».

Так как технология текстильных настенных покрытий впервые осваивается предприятиями Республики Беларусь, расчет ожидаемого экономического эффекта произведен при сравнении цены импортных аналогов с отпускной ценой разработанных текстильных настенных покрытий.

Расчет полной себестоимости и отпускной цены текстильных настенных покрытий с использованием в качестве текстильного полотна декоративной льняной ткани, в качестве основы – бумаги, представлены в Приложении М. Расчет производился по состоянию на ноябрь 2008 года.

В таблице 7.8 представлен сравнительный анализ свойств и цены разработанных текстильных настенных покрытий и импортных аналогов.

Для потребителя отпускная цена тысячи условных кусков текстильных

настенных покрытий составит 15014,7 тыс. бел. руб. (166,4 тыс. российских рублей), отпускная цена одного условного куска (трубки) – 26,7 тыс. бел. руб. (296 российских рублей) по ценам 2008 г., что в 2,5 – 4,0 раза дешевле импортных аналогов.

Таблица 7.8 – Сравнительная характеристика текстильных настенных покрытий различных производителей

Показатель	Разработанные текстильные настенные покрытия	Льняные обои ФГУП ЦНИИЛКА, (Россия)	Льняные обои фирмы Rash, (Германия)	Льняные обои фирмы DECORI&DECORI (Италия)
Лицевая сторона	ткань льняная	ткань льняная	ткань льняная	ткань льняная
Основа	бумага	бумага	бумага	бумага
Масса, г/м ²	350	310	200	220
Жесткость, сН	21,6	25,9	20,5	19,7
Гигроскопичность, %	5,6	6,6	3,1	3,4
Влагоотдача, %	4,7	5,1	2,3	2,5
Светостойкость, балл	5,0	4,0	3,5	3,5
Стоимость 1 трубки, руб.	26 726	60 350	99 540	94 300

Экономический эффект выражается в дополнительной прибыли, которую может получить предприятие при выпуске данного вида продукции. Расчетный экономический эффект от внедрения технологии и производства 1000 условных кусков составил 4343,4 тыс. руб (48,1 тыс. российских рублей) по ценам на 01.10.2008 г. Национальным банком Беларуси с 24 марта 2008 года установлен курс российского рубля равный 90,25 белорусских рублей за один российский рубль.

Акт внедрения технологии формирования текстильных настенных покрытий представлен в Приложении М.

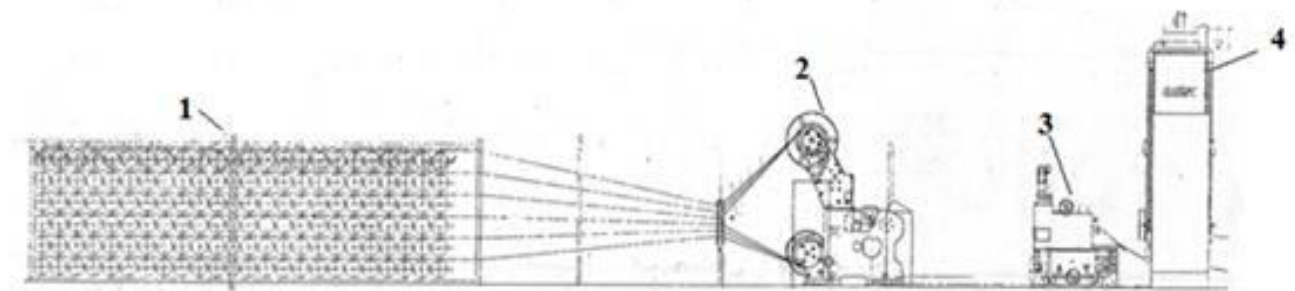
7.4. Рекомендации по промышленному применению и апробация технологии формирования комбинированных каркасных текстильных материалов со специальными свойствами

Апробация сокращенной технологии формирования комбинированных каркасных текстильных материалов со специальными свойствами способом пропитки тканых полотен проводилась на ОАО «Витебский комбинат шелковых

тканей».

Формирование осуществлялось на поточной линии, состоящей из ткацкого станка PTS 4/S16 фирмы «Dornier» и линии пропитки и сушки фирмы «Ontec». Данная поточная линия предназначена для выпуска геосеток. Однако, геотекстильная продукция является сезонной, поэтому важной задачей является исключение простоев дорогостоящего оборудования за счет выработки другого ассортимента продукции.

Линия для формирования комбинированного материала при подаче нитей основы со шпулярника представлена на рисунке 7.5. Тканое полотно имеет разреженную структуру.



1 – шпулярник; 2 – ткацкий станок; 3 – плюсовка; 4 – сушильная камера

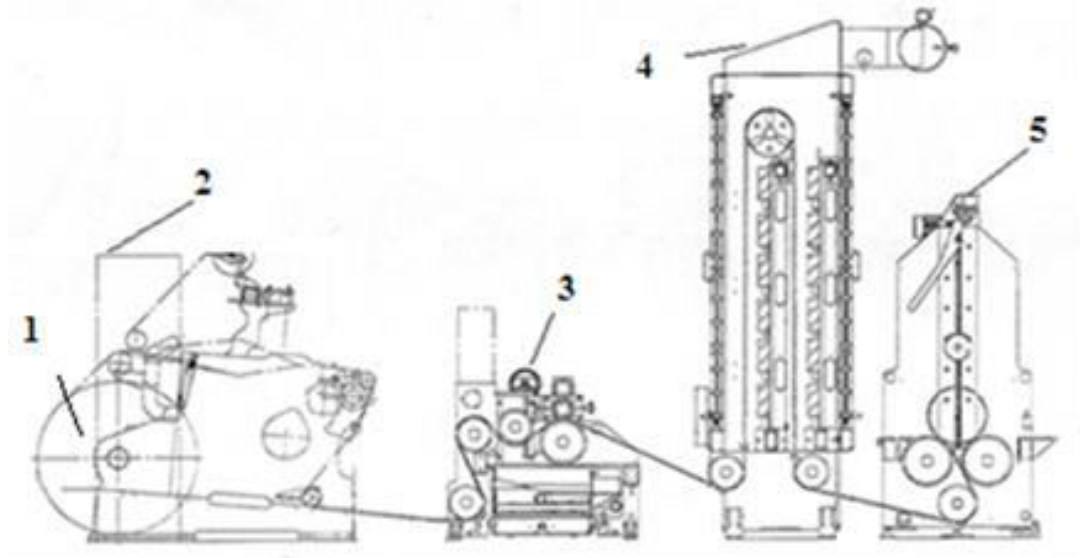
Рисунок 7.5 – Линия для производства каркасных текстильных материалов

Нити основы сматываются со шпулярника 1 непосредственно на рапирный ткацкий станок 2, где происходит формирование разреженного тканого полотна. С ткацкого станка полотно поступает в плюсовку 3, где пропитывается полимерным связующим и отжимается на отжимных валах. Пропиточная ванна подогревает связующее до необходимой температуры (20-50 °С). Для сушки и фиксации структуры готовый материал подается в сушильную камеру 4.

Секционный шпулярник включает 930 бобин, что дает возможность получать разреженное тканое полотно и не позволяет вырабатывать тканое полотно на возможную ширину ткацкого станка – 300 см. Поэтому была осуществлена частичная модернизация, позволяющая нарабатывать тканое полотно максимально возможной ширины с ткацкого навоя.

Технологическая схема частично модернизированной линии для формирования каркасного текстильного материала по второй схеме представлена на рисунке 7.6.

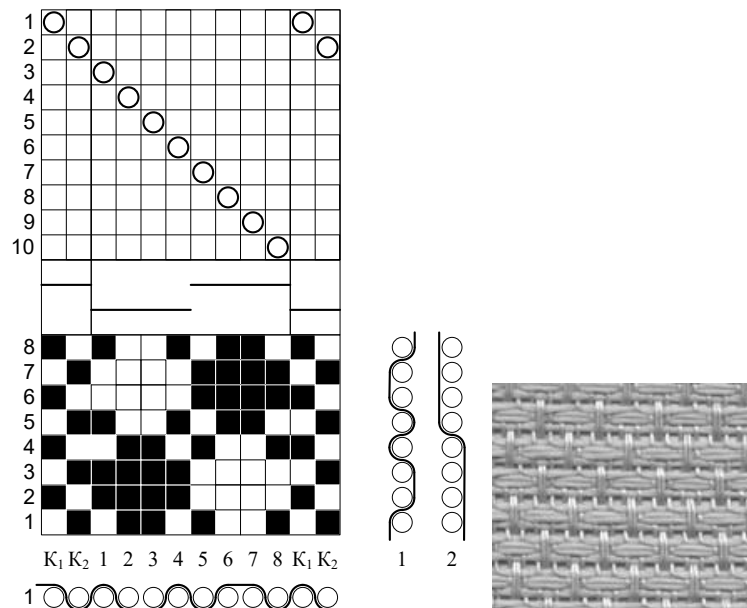
Нити основы поступают на ткацком навое 1 и крепятся на рапирный станок 2, где нарабатывается тканое полотно. С ткацкого станка полотно подается в плюсовку 3, где пропитывается полимерной композицией определенного состава и отжимается при помощи отжимных валов. Сушка слоистого текстильного материала осуществляется в сушильной камере 4. Готовый материал наматывается на накатное устройство 5.



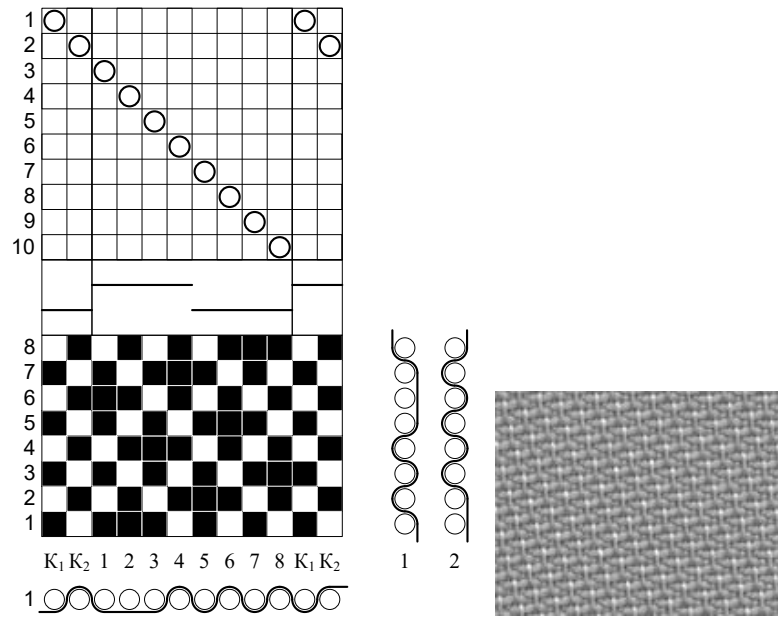
1 – ткацкий навой; 2 – ткацкий станок; 3 – пропиточная ванна; 4 – сушильная камера; 5 – накатное устройство

Рисунок 7.6 – Модернизированная линия для производства каркасных текстильных материалов

В качестве основы для формирования комбинированных текстильных материалов со специальными свойствами использованы тканые полотна из вискозных нитей, физико-механические свойства которых представлены в таблице 4.17 (раздел 4.3). Заправочные рисунки опытных образцов представлены на рисунках 7.7, 7.8, 7.9.



**Рисунок 7.7 – Комбинированное переплетение на базе репса 4/4
($R_o = 8$ нитей, $R_y = 8$ нитей, $Z_f = 4$, $Z_{кр} = 2$)**



**Рисунок 7.8 – Креповое переплетение на базе полотняного
($R_o = 8$ нитей, $R_y = 8$ нитей, $Z_f = 4$, $Z_{кр} = 2$)**

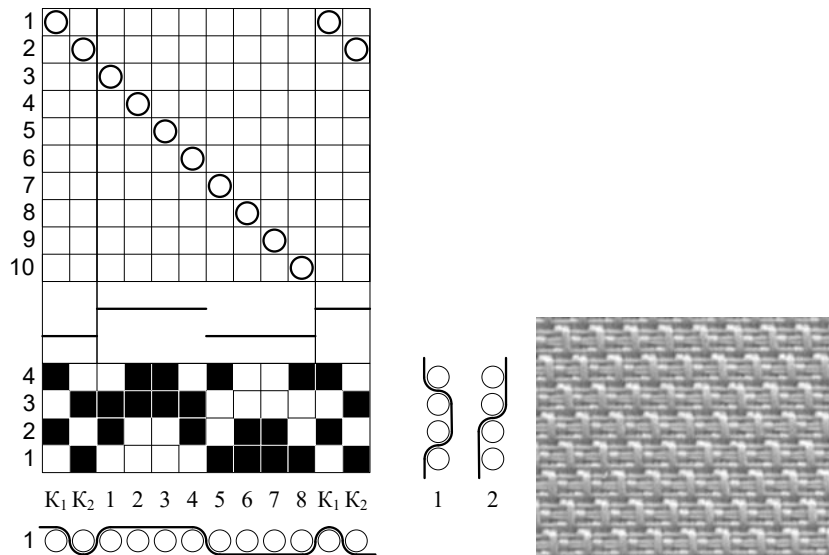


Рисунок 7.9 – Креповое переплетение ($R_o = 8$ нитей, $R_y = 4$ нити, $Z_f = 4$, $Z_{кр} = 2$)

При формировании тканых полотен с различными структурными эффектами использованы комбинированные высокоусадочные нити, полученные по технологии, представленной в работе [3-А].

Рецептуры составов и рекомендуемые режимы формирования комбинированных каркасных текстильных материалов представлены в таблице 7.9.

В производственных условиях ОАО «ВКШТ» разработан проект технологического регламента (Приложение Н). На новые материалы разработан проект технических условий ТУ ВУ 300031282.070-2013 «Материалы текстильные композиционные» (Приложение Н).

Таблица 7.9 – Оптимальные условия формирования комбинированных каркасных текстильных материалов

Наименование параметра	Значение параметра
<i>Обувные материалы</i>	
Состав полимерной композиции, г/л	
Appretan N9616	400
Nuva FHN	50
Температура в плюсовках, °С	22 - 25
Давление отжимных валов, мПа	0,4 – 0,5
Температура сушки, °С	140
Температура термофиксации, °С	170
Продолжительность сушки, с	400
Продолжительность термофиксации, с	125
<i>Галантерейные материалы</i>	
Состав полимерной композиции, г/л	
Appretan N9616	350
Nuva FHN	50
Температура в плюсовках, °С	22 - 25
Давление отжимных валов, мПа	0,4 – 0,5
Температура сушки, °С	140
Температура термофиксации, °С	180
Продолжительность сушки, с	380
Продолжительность термофиксации, с	65
<i>Текстильные настенные покрытия</i>	
Состав полимерной композиции, г/л	
Appretan N9616	200
Pekoflam® CLF liq с new	300
Температура в плюсовках, °С	22 - 25
Давление отжимных валов, мПа	0,4 – 0,5
Температура сушки, °С	140
Температура термофиксации, °С	180
Продолжительность сушки, с	350
Продолжительность термофиксации, с	80
<i>Материал для жалюзи</i>	
Состав полимерной композиции, г/л	
Appretan N9616	400
Pekoflam® CLF liq с new	300
Температура в плюсовках, °С	22 - 25

Давление отжимных валов, мПа	0,4 – 0,5
Температура сушки, °С	140
Температура термофиксации, °С	170
Продолжительность сушки, с	400
Продолжительность термофиксации, с	125
Материал для фасадов корпусной мебели	
Состав полимерной композиции, г/л	
Appretan N9616	500
Rekoflam® CLF liq с new	300
Температура в плюсовках, °С	20 - 25
Давление отжимных валов, мПа	0,4 – 0,5
Температура сушки, °С	140
Температура термофиксации, °С	170
Продолжительность сушки, с	400
Продолжительность термофиксации, с	125

С учетом номенклатуры показателей качества комбинированных текстильных материалов наработанная опытная партия прошла испытания в «Центре испытаний и сертификации» УО «ВГТУ», протокол испытаний представлен в Приложении Н. Свойства комбинированных текстильных материалов представлены в таблице 7.10.

Таблица 7.10. – Физико-механические и специальные свойства комбинированных каркасных текстильных материалов

Наименование показателя	Значение показателя разработанного материала	Значение показателя, согласно требованиям ГОСТ
Плотность нитей в ткани, нит/10 см		Допускаемые отклонения, %, не более:
– по основе	80	±2
– по утку	62	±3
Поверхностная плотность, г/м ²		Допускаемые отклонения, %, не более:
– суровой тканой основы	410,0	±5
– готовой тканой основы	561,3	±5
Разрывная нагрузка полоски тканой основы размером 50x200 мм, Н		
– по основе	1413	не менее 800
– по утку	2374	не менее 500
Разрывное удлинение, %		
– по основе	23,1	не менее 16
– по утку	28,3	не менее 20

Жесткость, сН – в продольном направлении – в поперечном направлении	31 51	–
Стойкость к истиранию, циклов	2000	не менее 2000
Удельное поверхностное электрическое сопротивление, Ом	$5,1 \cdot 10^{11}$	–
Огнестойкость: – кислородный индекс, % – коэффициент дымообразования, м ² /кг – воспламеняемость ткани	39,6 305,9 трудновоспламеняемый	не менее 20 с умеренной дымообразующей способностью – коэффициент дымообразования св. 50 до 500 включ.; –
Количество свободного формальдегида, мкг/г	0	–
Массовая доля аппретов в ткани, %	4,8	соответствует спроектированному значению (таблица 3.3)

На новые материалы разработан проект технических условий ТУ ВУ 300031282.070-2013 «Материалы текстильные композиционные» (Приложение Н).

Технология формирования комбинированных текстильных материалов внедрена на ОАО «Витебский комбинат шелковых тканей», а также готовые материалы прошли широкую производственную апробацию при производстве (Приложение Н):

- галантерейных изделий (сумки) – производственные условия ЧП «ВитМа» (г. Витебск). Нарботаны экспериментально-опытные образцы (рисунок 7.10).



Рисунок 7.10 – Внешний вид моделей сумок

- материал для верха обуви - производственные условия СООО «Белвест» (г. Витебск). Внешний вид моделей летнего ассортимента представлен на рисунке 7.11.

Проведены эксплуатационные испытания с целью изучения удобства при носке пантолет. По удобству при носке замечаний нет, что подтверждается соответствующим актом (Приложение Н).



Рисунок 7.11 – Внешний вид моделей

- декоративные элементы корпусной мебели – производственные условия ЧСУП «Ремрайд» (г. Витебск) (рисунок 7.12).



Рисунок 7.12 – Внешний вид готового изделия – шкаф-купе

- текстильное декоративное покрытие для стен (текстильные обои) – производственные условия ОАО «Белорусские обои» (г. Минск);
- жалюзи – производственные условия ОДО «БиС» (г. Витебск) (рисунок 7.13).



Рисунок 7.13 – Внешний вид модели жалюзи

Заключения об апробациях, акты внедрения в производство, расчет экономического эффекта от внедрения нового вида материалов представлены Приложении Н;

Расчет отпускной цены 1 п. м. комбинированных материалов из химических комплексных нитей осуществлялся на основании нормативно-справочной документации ОАО «ВКШТ», технической документации, с учётом уровня цен, сложившихся на 01.12.2013 г. в Республике Беларусь (Приложение Н). Годовой экономический эффект от внедрения выражается в приросте прибыли от реализации. Экономический эффект от производства 1000 погонных метров нового вида продукции на существующем оборудовании составил 14,21 млн. бел. руб. (50,9 тыс. российских рублей) в ценах на 01.12.2013 (Приложение Н)

В других отраслях промышленности, где используются разработанные новые материалы, экономический эффект может быть достигнут за счёт снижения себестоимости выпущенной продукции от замены импортных дорогостоящих материалов. Расчёт экономического эффекта представлен на примере изготовления сумки женской модели 9392 (ЧП «Витма») (Приложение Н).

7.5. Рекомендации по промышленному применению технологии формирования комбинированных текстильных материалов с использованием СВЧ нагрева

В результате теоретических и экспериментальных исследований предложены следующие схемы построения технологий формирования комбинированных текстильных материалов непрерывным способом с использованием СВЧ обработки (рисунки 7.14, 7.15).



Рисунок 7.14 – Схема технологии формирования слоистых материалов

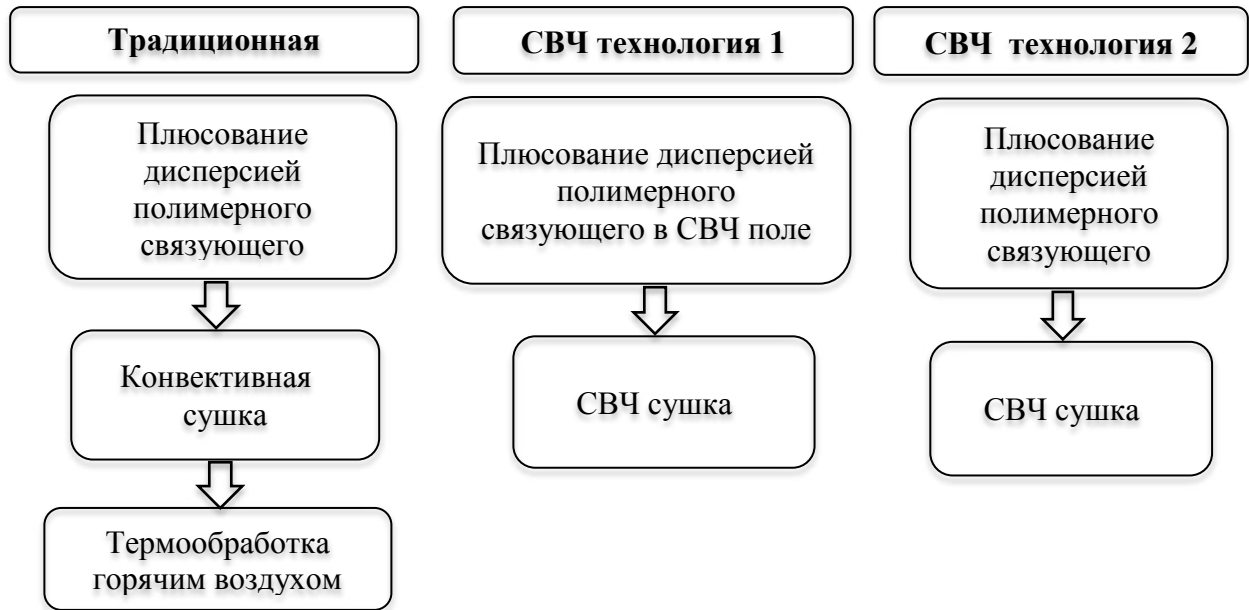


Рисунок 7.15 – Схема технологии формирования каркасных текстильных материалов

При формировании слоистых текстильных материалов предлагается замена конвективной сушки на СВЧ сушку. При этом сокращается продолжительность сушки и расход энергии при одновременном улучшении качества готовых многослойных полотен. Продолжительность сушки сокращается с 100 – 180 с до 10 – 15 с в зависимости от поверхностной плотности материала.

Рекомендуемые режимы СВЧ сушки слоистых материалов

- мощность СВЧ генератора – 600 – 850 Вт;
- рабочая частота – 2450 МГц;
- продолжительность сушки – 10 – 12 с.

Для каркасных текстильных материалов предлагается две схемы реализации СВЧ технологии при их формировании. Согласно первой схемы СВЧ обработка осуществляется в операции пропитки тканого полотна и его сушки. По второй технологии предлагается только замена конвективной на СВЧ сушку, что позволяет совместить операции сушки и термофиксации.

Рекомендуемые режимы СВЧ пропитки при формировании каркасных текстильных материалов

- мощность СВЧ генератора – 300 – 600 Вт;
- рабочая частота – 2450 МГц;
- продолжительность сушки – 10 – 30 с (рассчитывается по формуле 6.26).

Рекомендуемые режимы СВЧ совмещенного процесса сушки и термофиксации каркасных текстильных материалов

- мощность СВЧ генератора – 600 – 850 Вт;

- рабочая частота – 2450 МГц;
- продолжительность сушки и термофиксации – 70 – 90 с.

Для апробации предлагаемых схем в производственных условиях на кафедре «Технология и оборудование машиностроительного производства» под руководством профессора Ольшанского В.И. разработана конструкция и опытно-промышленный образец СВЧ установки непрерывного действия для тепловой обработки текстильных материалов (Приложение К).

Установка непрерывного действия легко встраивается в процесс получения и обработки длинномерных текстильных материалов. Конструкция установки состоит из трёх основных узлов:

- волноводного каскада, составленного из единичных волноводов, снабжённых коаксиально-волноводными переходами для подключения магнетронов, аналогично схеме, предложенной А. Л. Никифоровым [212];
- щели шириной 3 мм для проводки ткани;
- секции вентиляторов для конвективного нагрева материала и обдува радиаторов, соединенных с избыточной нагрузкой.

Основные технические параметры предлагаемой установки, обеспечивающие наиболее широкую область применения, приведены в таблице 7.11.

Таблица 7.11 – Рекомендуемые параметры СВЧ установки

Показатель	Значение
Способ обработки	непрерывный
Источник электропитания	380 В ~ 50 Гц
Потребляемая мощность	120 кВт
Выходная мощность СВЧ	12 – 90 кВт
Частота	2450 МГц
Мощность магнетрона	1 кВт (90 шт.)
Температура конвекции	до 200 °С
Рабочая частота	2450 МГц
Способ контроля температуры	пирометрический
Габаритные размеры (Ш x В x Г)	900 x 2200 x 3200 мм
Длина волноводных секций	600, 900, 1200 мм

Замена конвективной сушильной камеры на СВЧ позволит уменьшить габаритные размеры линии формирования слоистых и каркасных текстильных материалов, а следовательно сократить занимаемую производственную площадь и облегчить эксплуатационное обслуживание. В таблице 7.12 приведены габариты рассматриваемого оборудования по традиционной и СВЧ – технологии.

Таблица 7.12 – Габаритные размеры оборудования для формирования слоистых и каркасных текстильных материалов

Наименование оборудования	Длина, м	Ширина, м	Высота, м
Линия «Ламипринт-5» для формирования слоистых текстильных материалов	34,5	4,35	4,46
Модернизированная линия «Ламипринт-5» для формирования слоистых текстильных материалов с включением СВЧ-установки	20 – 25	4,35	1,0 – 1,5
Конвективная сушильная камера на линии для формирования каркасных текстильных материалов	1	3,5	3,42

Разработанные СВЧ технологии формирования комбинированных слоистых и каркасных текстильных материалов прошли апробацию в производственных условиях ПУП «Минская обойная фабрика» при производстве текстильных настенных покрытий, а также ОАО «Витебский комбинат шелковых тканей» при производстве текстильных композитов обувного и галантерейного назначения, что подтверждено актами внедрения в производство (Приложение П).

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. Расчет представлен в Приложении П.

ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 7

1. Разработана и запатентована конструкция мобильного аэродинамического устройства и технология ворсового декоративного покрытия на штучные изделия. Технология апробирована и внедрена в условиях РУП ФХИ «Купава» (г. Витебск). Экономический эффект от использования способа аэродинамического напыления при производстве швейных изделий с декоративной отделкой выражается в снижении их себестоимости.
2. В производственных условиях предприятия ОАО «Гомельобои» (г. Гомель) апробирована и внедрена технология формирования рулонных ворсовых материалов. Планируемый годовой экономический эффект выражается в дополнительной прибыли, которую получит предприятие при освоении данного вида продукции.
3. В производственных условиях предприятия ОАО «Белорусские обои» впервые разработана технология формирования слоистого материала с тканым покрытием на существующей технологической линии для нового ассортимента декоративно-отделочных материалов - текстильных настенных покрытий. Технология запатентована в Республики Беларусь.
4. 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.
5. 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 процесс, а также улучшить качество готового материала.
6. Новый ассортимент комбинированных текстильных материалов декоративно-отделочного назначения прошел апробацию и внедрен при производстве галантерейных изделия – ЧП «ВитМа»; обуви – СООО «Белвест»; декоративных элементов корпусной мебели – ЧСУП «Ремрайд», ООО «Спецпожтехника; текстильных настенных покрытий, декоративной отделки швейных изделий - РУП ФХИ «Купава»; жалюзи – ОДО «БиС»

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 (Приложение Н).

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 материалов 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 технологической 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.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Новые материалы / под ред. Ю. С. Карабасова. – Москва : МИСИС, 2002. – 362 с.
2. [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.jeccomposites.com>. – Дата доступа: 23.10.2016.
3. Дружинина, Т. В. Полимерные композиционные материалы: основные понятия, получение и свойства полимерных матриц: учебное пособие / Т. В. Дружинина [и др.]. – Москва : МГТУ им. А. Н. Косыгина, 2010. – 44 с.
4. Власенко, В. И. Возможности использования многослойных многофункциональных текстильных композитов / В. И. Власенко, С. И. Ковтун, Н. П. Березненко // Технический текстиль. – 2005. – № 12. – С. 23–25.
5. Пинчук, Л. С. Материаловедение и конструкционные материалы / Л. С. Пинчук [и др.] ; под ред. В. А. Белого. – Минск : Вышэйшая школа, 1989. – 461 с.
6. Трещалин, Ю. М. Композиционные материалы на основе нетканых полотен. – Москва : МГУ им. М. В. Ломоносова, 2015. – 220 с.
7. Ульвачева, Л. А. Ассортимент многослойных текстильных материалов и разработка их классификации / Л. А. Ульвачева [и др.] // Дизайн и технологии. – 2015. – № 44 (86). – С. 71–78.
8. Ульвачева, Л. А. Ассортимент многослойных текстильных материалов / Л. А. Ульвачева, В. И. Бесшапошникова // Сб. науч. трудов аспирантов МГУДТ. – Москва, 2014. – С. 38–44.
9. Липатова, Л. А. Разработка методов оценки и исследование формовочной способности многослойных композиционных текстильных материалов : дисс. ... канд. техн. наук : 05.19.01 / Л. А. Липатова. – Москва, 2017. – 201 с.
10. Кузьмичев, В. Е. Теория и практика процессов склеивания деталей одежды учебное пособие / В. Е. Кузьмичев, Н. А. Герасимова. – Москва : Академия, 2005. – 255 с.
11. Усманова, Э. Д. Способы получения многофункциональных текстильных материалов с различными полимерными покрытиями / Э. Д. Усманова, И. В. Усманов // Вестник Казанского технологического университета. – 2014. – № 11. – С. 283–284.
12. Панин, М. И. Разработка композиционных материалов на базе мотальных паковок специального назначения : дисс. ... канд. техн. наук : 05.19.02 / М. И. Панин. – Москва, 2012. – 158 с.
13. Бесшапошникова, В. И. Текстильные материалы в производстве одежды: учебное пособие / В. И. Бесшапошникова. – Саратов: Изд-во СГТУ, 2011. – 208 с.

14. Кербер, М. Л. Композиционные материалы / М. Л. Кербер // Соросовский образовательный журнал. – 1999. – № 5. – С. 33–41.
15. Перепелкин, К. Е. Армирующие волокна и волокнистые полимерные композиты / К. Е. Перепелкин. – СПб. : Научные основы и технологии, 2009. – 380 с.
16. Федосеева, О. Ю. Разработка нового типа комплексного текстильного материала и экспрессного метода оценки его износостойкости: На примере обивочного материала автомобильного назначения: дисс. ... канд. техн. наук: 05.19.01 / О. Ю. Федосеева. – Москва, 2000. – 183 с.
17. Стельмашенко, В. И. Материалы для одежды и конфекционирование / В. И. Стельмашенко, Т. В. Розаренова. – Москва: Академия, 2010. – 320 с.
18. Перепелкин, К. Е. Полимерные композиты на основе химических волокон: основные виды / К. Е. Перепелкин // Технический текстиль. – 2006. – № 13. – С. 18–26.
19. Базальтоволокнистые материалы : сборник статей / под ред. В. И. Костикова, Л. Н. Смирнова. – Москва : ООО «Информконверсия», 2001. – 308 с.
20. Зеленский, Э. С. Армированные пластики – современные конструкционные материалы / Э. С. Зеленский [и др.] // Рос. хим. ж. (Ж. Рос. хим. об-ва им. Д.И. Менделеева). – 2001. – Т. XLV, № 2. – С. 56–74.
21. Симамура, С. Углеродные волокна : пер. с япон. / С. Симамура. – Москва : Мир, 1987. – 304 с.
22. Будницкий, Г. А. Синтез наночастиц оксидов и гидроксидов металлов для снижения горючести полимерных материалов / Г. А. Будницкий // Химические волокна. – 1990. – № 2. – С. 5–13.
23. Полимерные композиционные материалы: структура, свойства, технология: учеб. пособие / М. Л. Кербер [и др.]; под ред. А. А. Берлина. – СПб. : Профессия, 2008. – 560 с.
24. Нетканый иглопробивной материал и способ его изготовления : пат. 2365687, D04N1/46, D04N3/05 / А. Н. Белявцев, Д. И. Файнер ; заявители А. Н. Белявцев, Д. И. Файнер. – № 2007146790/12 ; заявл. 17.12.2007; опубл. 27.08.2009.
25. Способ производства матов из стекловолокна и изделий, получаемых на их основе : пат. 2171322, МПК D04Н / Арпэн Мишель, Дюшам Фабрис, Мотте Мишель ; заявитель С. А. Ветротекс Франс. – № 2171322 ; заявл. 12.12.1996 ; опубл. 27.01.2001.
26. Живитин, В. В. Медико-гигиенические свойства льна / В. В. Живитин // Информационный портал «Remixline» [Электронный ресурс]. – 2000. – Режим доступа: <http://www.remixline.ru>. – Дата доступа: 11.09.2004.
27. Ольшанская, О. М. Текстиль для интерьера из натуральных льняных волокон / О. М. Ольшанская, В. А. Грищенко, Л. А. Смирнова // Портал журнала

- «Наука и жизнь» [Электронный ресурс]. – 2003. – Режим доступа: <http://www.nkj.ru/archive/articles>. – Дата доступа: 11.10.2003.
28. ГОСТ 9394-76. Технические требования к короткому волокну. – Взамен ГОСТ 9394-60. – Введ. 30.06.1977. – Москва : Изд-во стандартов, 1987. – 93 с.
29. Грищенко, В. А. Композиционные материалы, армированные текстильными наполнителями / В. А. Грищенко [и др.] // Наука – текстильному производству: новейшие отраслевые научные разработки в сфере технического текстиля и практический опыт их применения : сб. докладов участников Второго Международного научно-практического симпозиума. – Москва: Изд-во «БОС», 2017. – 324 с.
30. Карпеня, А. М. Технология нетканых материалов технического назначения с использованием волокнистых отходов : дисс. ... канд. техн. наук : 05.19.02 / А. М. Карпеня. – Витебск, 2013. – 233 с.
31. Озерова, Н. В. Утилизация текстильных отходов / Н. В. Озерова // Экономика природопользования и природоохраны: сб. мат. V Междунар. науч.-практ. конф. – Пенза, 2002. – С. 210.
32. Новая технология переработки коротковолокнистых отходов / Г. М. Беликов // Текстиль: бытовой, специальный, технический. – 2003. – № 5. – С. 25.
33. Hohmuth, H. Materialkreislanfe bei Produktion und Einsatz von Nähwirkvliesstoff / H. Hohmuth, M. Hunger // Techn. Text. – 2006. – 49/№ 1. – P. 33–34.
34. Procédé de fabrication de feutres végétaux á partir détoupes. Способ изготовления войлока из очесов растительных волокон: заявка 2869254 Франция МПК7 В 27N 3/04, D 21H 11/12 / Univ de Picardie, Jules Verne, заявитель Inst/ Technique du Fin. – № 0404215, заявл. 21.04.2004; опубл. 28.10.2005 // Легкая промышленность: РЖ 12 // ВИНТИ. – 2006. – № 6, 06.06–12Б.72П. – С.8.
35. Preda, K. Getextile cu continut de fibre recuperate din materiale textile refolosibile / K. Prada // Ind. Text. – 2006. – 57/№ 2. – P. 104–106.
36. Пат. 1735049 СССР, МПК В 32 В27/12 В27/30 С08 L 27/06. Слоистый материал / В. Н. Тамазана, И. И. Папцова, И. М. Струкова, В. А. Дроздов; заявка № 4850824/05; заявл. 21.05.1990; опубл. 23.05.1992, Бюл. № 19.
37. Пат. 2617484 РФ. Однонаправленный армирующий наполнитель и способ получения однонаправленного армирующего наполнителя / Р. Бергстрем; заявка № 2016123846; заявл. 11.21.2014; опубл. 12.27.2017.
38. Пат. 2523809 РФ. Новые армирующие материалы, подходящие для получения композиционных деталей / Бери Жан-Марк (FR), Ламет Жан-Флоран (FR), Минни Жан-Кристоф (FR); заявка № 2011120428/05; заявл. 27.11.2012; опубл. 27/072014, Бюл. № 33.
39. Иванов, Д. А. Дисперсноупрочненные волокнистые и слоистые неорганические композиционные материалы: учебное пособие / Д. А. Иванов,

- А. И. Ситников, С. Д. Шляпин; под ред. академика РАН А.А. Ильина. – Москва : МГИУ, 2010. – 230 с.
40. Ковтун, С. И. Использование нетканых материалов в многослойных текстильных композитах / С. И. Ковтун, В. И. Власенко, В. И. Кучеренко // Новые технологии переработки пластмасс. Информационный портал «Polymer.ru. – http://www.polymer.ru/letter.php?n_id=389&cat_id=3 – Дата обращения: 11.02.2015.
41. Филатов, Ю. Н. Электроформование волокнистых материалов (ЭФВ-процесс) / Ю. Н. Филатов; под ред. профессора В. Н. Кириченко. – Москва, 2001. – 231 с.
42. Матвеев, А. Т. Получение нановолокон методом электроформования : учебное пособие / А. Т. Матвеев, И. М. Афанасов. – Москва : МГУ им. М. В. Ломоносова, 2010. – 83 с.
43. Развитие технологий производства нетканых материалов из нановолокон // Новые химические технологии. Аналитический портал химической промышленности. – http://www.newchemistry.ru/letter.php?n_id=3701&cat_id=&page_id=3. – Дата обращения: 05.04.2017.
44. Дмитриев, Ю. А. Технология электроформования волокнистых материалов на основе хитозана: автореф. дисс. ... канд. техн. наук : 05.17.06 / Ю. А. Дмитриев; ФГБОУ ВПО «Саратовский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского». – Москва, 2011. – 23 с.
45. Рылкова, М. В. Создание волокнистых материалов на основе комплексообразующих водорастворимых полимеров методом электроформования: дисс. ... канд. техн. наук : 05.17.06 / М. В. Рылкова. – Москва, 2014. – 121 с.
46. Воюцкий, С. С. Физико-химические основы пропитывания и импрегнирования волокнистых систем водными дисперсиями полимеров / С.С. Воюцкий. – Москва : Химия, 1969. – 336 с.
47. Браславский, В. А. Капиллярные процессы в текстильных материалах / В. А. Браславский. – Москва : Легпромбытиздат, 1987. – 112 с.
48. Ерова, Д. Р. Технология склеивания изделий из композиционных материалов : учебное пособие / Д. Р. Ерова [и др.]. – Казань: КНИТУ, 2014. – 132 с.
49. Ровкина, Н. М. Основы химии и технологии клеящих полимерных материалов : учебное пособие / Н. М. Ровкина, А. А. Ляпков. – Томск : Изд-во ТПУ, 2005. – 104 с.
50. Справочник по клеям / Л. Х. Айрапетян [и др.] ; под общ. ред. Л. Х. Айрапетяна. – Ленинград : Химия, 1980. – 304 с.
51. Барабанова, А. В. Основные тенденции в области производства и потребления клеев на основе синтетических смол за рубежом / А. В. Барабанова // Химическая промышленность за рубежом. – 1978. – № 9. – С. 23–48.

52. Волынский, В. Н. Технология клееных материалов : учебное пособие для вузов / В. Н. Волынский. – 2-е изд., испр. и доп. – Архангельск: изд-во Арханг. гос. техн. ун-та, 2003. – 280 с.
53. Щукин, Е. Д. Коллоидная химия : учеб. для университетов и химико-технолог. вузов / Е. Д. Щукин, А. В. Перцов, Е. А. Амелина. – 3-е изд., перераб. и доп. – Москва : Высш. шк., 2004. – 445 с.
54. Мир материалов и технологий. Клеевые соединения / под ред. Г. В. Малышевой. – Москва : РИЦ Техносфера, 2007. – 380 с.
55. Пат. RU 2078865, МПК D06M 15/568, Способ обработки текстильных материалов / В. Е. Дербишер, В. Д. Васильева, Е. В. Дербишер, С. А. Орлова; заявл. 26.05.2006; опубл. 10.05.1997.
56. Пат. 2501900, Российская Федерация, МПК D06N 7/00, D06N 7/06, B32B27/17, B32B5/10, B32B5/02, B32B27/04, B32B27/18, D06 P5/12, D06 P5/24, D06 P15/643, D06 P15/564, D06 P15/256, B32B27/14 Текстильное композитное изделие / Шварц Штефан (DE), Штюбигер Вернер (DE), Петцольдт Сузанне (DE); заявка № 2012123745/05; заявл. 20.12.2013, опубл. 09.11.2010, Бюлл. № 35.
57. Пат. 2307207 Российская Федерация, МПК D06M 15/568. Способ обработки текстильных материалов / В. Д. Васильева, В. Е. Дербишер, Е. В. Дербишер, С. А. Орлова, С. Н. Бондаренко; заявитель и патентообладатель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ) ; заявл. 26.05.2006; опубл. 27.09.2007.
58. Пат. 2225904 Российская Федерация, МПК D06N3/04, D04N1/58, B23B5/08. Многослойный декоративный материал и его варианты / С. Н. Козлов, Л. А. Смирнова, Н. А. Бондарева, Т. Н. Плахута, Е. В. Люзенкова, Л. Л. Максимова, Н. В. Вологовская, А. Л. Малтызова; заявл. 29.12.2001; опубл. 20.03.2004.
59. Пат. 2510436 Российская Федерация, МПК D06N 3/04, B32B 27/04. Огнестойкий многослойный материал / Д. В. Лабок, Т. Б. Сорокина, Б. М. Михайлов, Т. А. Хохлова, Н. Е. Герасина, Л. Л. Максимова, Т. Н. Плахута; заявитель и патентообладатель ОАО «ЦНИИПИК». – № 2012140141/05; заявл. 20.09.2012; опубл. 27.03.2014.
60. Применение прямых методов формования при производстве крупногабаритных деталей из стеклопластиков / В. А. Нелюб [и др.] // Химическая технология. – 2012. – Т. 13. – № 12. – С. 735–739.
61. Патент 2011511 РФ. Способ пропитки пористых материалов и устройство для его осуществления / Д. А. Беленков, В. Г. Новосёлов, Ю. А. Сров, А. Е. Озерский, С. А. Аксельрод; заявл. 18.12.1991; опубл. 30.04.1994.

62. Патент 2290468 РФ. Способ обработки синтетических и искусственных текстильных материалов парашютов / В. М. Зачёсов, О. Н. Чумакова; заявл. 05.05.2005; опубл. 27.12.2006, Бюлл. № 36.
63. Патент 1490187. Способ пропитки ткани раствором и устройство для его осуществления. / Н. П. Иванов, М. Ю. Бурмистрова, О. В. Смирнова; заявл. 26.05.1987; опубл. 30.06.1989.
64. Кордикова, Е. И. Поведение тканого наполнителя при пропитке под давлением / Е. И. Кордикова, А. В. Спиглазов // Труды БГТУ. Сер. IV. Химия и технология органических веществ. – 2008. – Вып. XVI. – С. 136–138.
65. Ватул, А. Нетканые материалы Spunlaced и Airlaid для производства протирачных средств и изделий медицинского назначения / А. Ватул // Текстильная промышленность: спецвыпуск «Научный альманах». – Москва, 2005. – № 7–8. – С. 14.
66. Капкаев, А. А. Нетканые материалы: тенденции развития рынка / А. А. Капкаев // Текстильная промышленность. – Москва, 2007. – № 11. – С. 25.
67. Айзенштейн, Э. М. Женевская международная выставка и научная конференция по нетканым материалам / Э. М. Айзенштейн // Текстильная промышленность. – Москва, 2005. – Вып. № 10. – С. 42–45.
68. Айзенштейн, Э. М. Нетканые материалы и технический текстиль на выставке в Майами-Бич (США) / Э. М. Айзенштейн // Технический текстиль. – 2004. – № 10. – С. 4.
69. Sandler expands range // Nonwovens Rept. Int. – 2000. – № 352. – P. 5. – Режим доступа : https://www.nonwovens-industry.com/contents/view_sales-reports/2017-09-11/sandler-group. – Дата доступа: 23.03.2018.
70. Андреев, А. А. Возможности практического применения нетканых полотен Viledon® для изготовления композиционных материалов / А. А. Андреев // Нетканые материалы. Продукция, оборудование, технологии. – Москва, 2008. – Вып. № 2. – С. 17–22.
71. Нетканый материал. Stabiles Feserlaminal sowie Verfahren und Vorrichtung Zur herstellung desselben; заявка 102005048758 Германия; МПК D 04 H 13/00 (2006.01) Fleissner Gmb H, Munstermann Ullnich (Dr Meyer-Dulnener Patentan Waltskan Zlei 60325 Fronk Furt); № 102005048758.0; заявл. 10.10.2005; опубл. 12.04.2007. Нем. // Легкая промышленность: РЖ 12 / ВИНТИ. – 2008. – № 7, 08.07. – 12Б.66П. – С.11.
72. Многослойный нетканый материал. Multi-Layer nonwoven fabric: пат. 6992028 США, МПК7 D 04 H 1/54, D 04 H 3/14 Kimberly-Clark World Wide, Inc., Thomaschfsky Gvaig F., Brown Lawrence M.; №10/237455; заявл. 09.02.2002; опубл. 31.01.2006. НПК 442/411 // Англ. Легкая промышленность: РЖ 12 / ВИНТИ. – 2006. – № 9, 06.09. – 12Б.84П. – С.12.

73. Способ получения слоистых звукопоглощающих композиционных материалов : пат. 2575102, МПК В60R / С. Н. Бухаров, В. П. Сергеенко, Н. А. Кушунина, А. С. Хмара, Н. В. Якимович, В. В. Кожушко ; заявл. 31.10.2014, опубл. 10.02.2016 , Бюлл. № 4.
74. Пат. 2157866 РФ, МПК7 D06N3/04 D06N3/06 В 32В5/28 В 32 В 27/12, В 32 В 27/32 В 32 В 27/34. Способ получения дублированного материала / А. Е. Рассин, Ю. А. Соколов, С. В. Бабушкин, И. А. Батурина; заявл. 12.07.1998; опубл. 20.10.2000.
75. Способ и машина для изготовления волокнистых полотен из холстов, ориентированных в различных направлениях : пат. 2200777, МПК В29С D04Н / Бомпар Бруно, Олри Пьер, Дюваль Рено, Брюйер Ален, Купе Доминик, Окань Жан ; заявитель Сосьете Насьональ Д`этиюд Е де Конструксьон де Мотор Д`авиасьон; заявл. 25.03.1998; опубл. 20.03.2003.
76. Нетканые текстильные полотна: справочное пособие / Е. Н. Бершев [и др.]; под общей ред. Е. Н. Бершева. – Москва: Легпромбытиздат, 1987. – 400 с.
77. Способ получения замшеподобного нетканого материала без использования органических растворителей. Process for the production of microfibrinous suede-finish nonwoven fabric without using organic solvents: заявка 1243691 ЕПВ, МПК7 D 06 N 3/00, D 06 N 3/14. Alcontara S.p.A., Latini David, Pomani Gianni (Cioni, Carloclo STUDIO CIONI & PIPPARELLI Viale Caldara 38 20122 Milano (IT)), № 02004291.7; заявл. 28.02.2002; опубл. 25.09.2002. Приор. 12.03.2001, № М 1010516 (Италия). Англ. // Легкая промышленность: РЖ 12/ ВИНТИ. – 2003. – № 2, 03.02. – 12Б.100П. – С. 13.
78. Гаппаров, Х. Г. Виды и способы металлизирования текстильных материалов для пошива специальной одежды / Х. Г. Гаппаров, Я. Я. Хомидов, Г. К. Файзиева // Молодой ученый. – 2016. – № 11. – С. 310–313. – <https://moluch.ru/archive/115/30702/>. – Дата обращения: 26.09.2018.
79. Пат. 2404896 РФ, МПК7 В 32 В 27/12, В 32 В 27/40. Полимерно- текстильный многослойный материал и изделие, выполненное из него / С. Н. Козлов, Т. Б. Сорокина, Н. А. Бондарева, Т. А. Хохлова [и др.]; заявка № 2009137558/12, заявл. 12.10.2009; опубл. 27.11.2010, Бюлл. № 33 – 9 с.: ил.
80. Пат. 2225906 РФ, МПК7 D06N3/04 В 32В5/08 В 32 В 27/30, В 32 В 27/40. Многослойный материал / Т. А. Хохлова, С. А. Волкова, С. Н. Козлов, М. Л. Коняхина, С. В. Козлова, А. Л. Малтызова; заявл. 12.29.2001; опубл. 20.03.2004.
81. Singha, K. A Review on Coating & Lamination in Textiles: Processes and Applications / K. Singha // American Journal of Polymer Science. – 2012. – № 2(3). – P. 39–49.

82. Вишневецкая, О. В. Современные методы нанесения покрытия на текстиль / О. В. Вишневецкая // Вестник Казанского технологического университета. – 2016. – Т.19, № 18. – С. 69–71.
83. Patent US 20020076503 A1. Clothing article such as a working or protective glove made from a textile support / Patrick Borreani, Pierre Vaillе; Patrick Borreani, Pierre Vaillе. – stated 09.07.1998; pub. 20.06.2002.
84. Patent US 8137606 B2. Lightweight thin flexible polymer coated glove and a method therefor / Eric Thompson, Dave Narasimhan, Jeffrey C. Moreland, Hafsa Mohd Ghazaly; Ansell Healthcare Products Llc. – stated 25.08.2010; pub. 20.03.2012.
85. Пат. 2482967 РФ, МПК7 В 32 В 27/12, В 32 В 27/40, С 09 D 175/04. Многослойный комбинированный материал / Д. В. Лабок, С. Н. Козлов; заявка № 2011141931/05; заявл. 18.10.11; опубл. 27.05.13, Бюлл. № 15 (I ч.). – 11 с.: ил.
86. Пат. 2495751 РФ, МПК В 32 В 5/24, В 32 В 27/12, А 41 D 31/00. Легкая долговечная одежда и слоистые материалы для ее изготовления / Джонсон Мэтью А., Гунцель Эдвард К.; заявка № 2011150500/05; заявл. 16.04.2010; опубл. 20.10.2013, Бюлл. № 29. – 13 с.: ил.
87. Fern, N. Fatigue life predictions of porous composite paper coating / P. Alam, F. Touaiti, M. Toivakka // International Journal of Fatigue. – 2012. – 38. – P. 181–187.
88. Абдуллин, И. Ш. Технология каландрования полимеров для изготовления тканей с мембранным покрытием / И. Ш. Абдуллин [и др.] // Вестник Казанского технологического университета. – 2014. – № 13. – С 102–109.
89. Пат. 2360050, Российская Федерация, МПК D04H1/54, B32B7/08. Способ изготовления нетканого иглопробивного материала, армированного сеткой / А. Н. Белявцев, Д. И. Файнер. – № 2007127088/12; заявл. 27.01.2009; опубл. 27.06.2009.
90. Patent US 2161560 C2. Method of producing cloth-like microporous laminated material from nonwoven fibrous cloth and thermoplastic film permeable for air and wet steam and impermeable for liquid ВУ Пай-Чуан, Шарма Гириш К., Канчило Леопольдо В; pub. 15.02.1996.
91. Patent US 2310565 C2. Air-penetrable and elastic composite materials and the methods of their production ВУ Пай-Чуан (US), Брэдфорд Ричард Арнольд(US), Робинсон Дейл Юджен (US); pub. 20.11.2007.
92. Пат. 2388511 РФ, МПК7 А 62 D 5/00. Химзащитный термоклеевой композиционный материал для изготовления химзащитной одежды / Р. Х. Фатхутдинов, В. В. Гайдай, В. Р. Байрамова [и др.]; заявка № 2008140235/15, заявл. 09.10.2008; опубл. 10.05.2010, Бюлл. № 13. – 8 с.: ил.

93. Lin, J. H. Processing conditions of abrasion and heat resistance for hybridneedle-punhed no woven bag filters, Lin J. H., Lou C. W., Lei C. H., Lin C. Y., Composites. A. – 2006. – № 16. – P. 31–37.
94. Spinning microdenier polyester staple fibre // Text. Technol. Dig. – 1996. – Vol. 53, № 10. – P. 27.
95. Многофункциональные композиционные материалы на основе применения химических волокон и клеевой сетки / В. В. Хаматова // Вестник Казанского технологического университета. – 2012. – Вып. № 1. – Т. 15. – С. 307–309.
96. Пат. 2102801 Российская Федерация, МПК6 021И/12, 012Б17/00. Материал для защиты от воздействия излучений / А. В. Мареичев; заявитель и патентообладатель А. В. Мареичев; № 94037127/25; заявл. 28.09.1994; опубл. 20.01.1998.
97. Пат. 2171858 Российская Федерация, МПК 7 С23С16/16, С23С18/00, С23С18/16, С23С18/18, С23С18/30, С23С18/34, Б06М11/83. Химическая газофазная металлизация тканей и нетканых материалов / А. А. Уэльский, В. Г. Сыркин, А. В. Гребенников, Е. А. Чернышев; заявитель и патентообладатель Гос. науч.-исслед. ин-т химии и технол. элементоорганических соединений; № 99127611/04; заявл. 23.12.1999; опубл. 10.08.2001.
98. Пат. 2064983 Российская Федерация, МПК6 Б03Б15/00, Б03Б15/12. Металлизированная ткань для верха теплозащитного и теплоотражательного костюма / Е. А. Исаева; Э. Ф. Гусейнов; М. К. Донченко; В. Д. Колосов; И. В. Куприкова; П. В. Куцын; Е. А. Куприянова; И. Л. Козлов; заявитель и патентообладатель Науч.-исслед. ин-т шелковой пром-ти; № 92000906/12; заявл. 15.10.1992; опубл. 10.08.1996.
99. Пат. 2338021 Российская Федерация, МПК Б06М11/83, Б03Б15/12, Б0203/38, С23С14/35, Б82Б3/00, А62Б17/00. Металлизированный материал «Нанотекс» / Н. М. Левакова, Е. М. Горынина, Б. Л. Горберг, В. А. Стегнин, А. А. Иванов, О. В. Мамонтов, Э. И. Куликовский, В. В. Орлов; заявитель и патентообладатель Левакова Н. М.; № 2006146782/04; заявл. 28.12.2006; опубл. 10.11.2008.
100. Пат. 2398045 Российская Федерация, МПК С23С14/02, С23С14/35. Способ модификации поверхности текстильного материала / Б. Л. Горберг, А. А. Иванов, О. В. Мамонтов, В. А. Стегнин; заявитель и патентообладатель Б. Л. Горберг, А. А. Иванов, О. В. Мамонтов, В. А. Стегнин; № 2008151794/02; заявл. 25.12.2008; опубл. 27.08.2010.
101. Компания «Ультрастеп». Стеганные полотна [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.ultrastep.ru/catalog/731>. – Дата доступа: 25.03.2018

102. Пат. 2210646 РФ, МПК7 В 32 В 7/00, D 06 М 17/00. Многослойный материал для одежды / Л. П. Соболева, Н. И. Денисова [и др.]; заявка № 2002118571/12; заявл. 12.07.02; опубл. 20.08.03, Бюлл. № 23 (I ч.). – С. 5: ил.
103. Бершев, Е. Н. Физические основы технологии электрофлокирования: учеб. пособие / Е. Н. Бершев. – Ленинград: Изд-во Ленингр. ун-та, 1984. – 232 с.
104. Бершев, Е. Н. Электрофлокирование: монография / Е. Н. Бершев. – Москва: Легкая индустрия, 1977. – 300 с.
105. Аксенова, А. Современный текстиль – какой он? / А. Аксенова, А. Исаенкова // Текстильная промышленность. – 2006. – № 12. – С. 18–21.
106. Пат. 2107764, Российская Федерация, МПК D04H11/00 Линия для изготовления электрофлокированных материалов / М. В. Пилягин, С. Г. Теплов, М. Ф. Мериков, А. А. Антонов; № 2007127088/12, 16.07.2007; заявл. 02.06.1996, опубл. 27.03.1998.
107. Технология электрофлокирования // Контурфлок [Электронный ресурс]. – 2007. – Режим доступа: <http://www.konturflok.ru>. – Дата доступа: 04.10.2018.
108. Пат. 2090677, Российская Федерация, МПК D04H1/54, B32B7/08 Способ получения ворсового материала / Мэл Собел [US]; Дмитриев Виктор Васильевич [RU]; Сашина Елена Сергеевна [RU]; № 5056161/12 ; заявл. 23.07.1992, опубл. 20.09.1997.
109. Пат. 2255154, Российская Федерация, МПК D04H1/54, B32B7/08 Способ получения ворсовых многоцветных рисунков / О. М. Иванов, Л. В. Коняева (RU), М. В. Козлова; № 2004107924/12; заявл. 17.03.2004, опубл. 27.06.2005.
110. Иванов О.М. Электрофлокирование: новые возможности // Рынок легкой промышленности. – 2001. – № 9. – С. 32 - 34.
111. Костенко, А. Ю. Флокированные изделия: технология и ассортимент / А. Ю. Костенко // Технический текстиль. – 2010. – № 23. – Режим доступа: <http://www.rustm.net/catalog/article/140.html>. – Дата доступа : 11.04.2017.
112. Пат. 2145922, Российская Федерация, МПК B29B15/10. Способ пропитки длинномерного наполнителя и установка для его осуществления / В. И. Постнов, Н. Г. Залевский, А. И. Сатдинов; № 2009100146/05 ; заявл 30.07.1997, опубл. 27.02.2000, Бюлл. № 5.
113. Сергеева, Е. А. Регулирование свойств синтетических волокон, нитей, тканей и композиционных материалов на их основе с помощью неравновесной низкотемпературной плазмы: дисс. ... д-ра техн. наук : 05.19.01 / Е. А. Сергеева. – Иваново, 2010. – 437 с.
114. Шарнина, Л. В. Научные основы и технологии отделки текстильных материалов с использованием низкотемпературной плазмы, новых препаратов и способов колорирования : дисс. ... д-ра техн. наук : 05.19.02 / Л. В. Шарнина. – Иваново, 2006. – 355 с.

115. Применение тлеющего разряда в текстильной и строительной промышленности: монография / М. В. Акулова [и др.]; Иван. гос. хим.-техн. ун-т. – Иваново, 2008. – 232 с.
116. Сафонов, В. В. Интенсификация химико-текстильных процессов отделочного производства : учебное пособие / В. В. Сафонов. – Москва : МГТУ им. А. Н. Косыгина, 2006. – 405 с.
117. Шибашов, А. В. Интенсификация процессов пероксидного беления целлюлозосодержащих тканей ультразвуковыми полями : автореф. дисс. ... канд. техн. наук : 05.19.02 / А. В. Шибашов. – Иваново, 2010. – 19 с.
118. Крашение текстильных материалов из полиэфирных волокон с использованием ультразвукового воздействия / А. О. Кульнев [и др.] // Вестник Витебского государственного технологического университета. – 2017. – № 1 (32). – С. 155–163.
119. Интенсификация процесса крашения шерстяных волокон / Н. В. Скобова, Н. Н. Ясинская, Т. С. Козодой // Вестник Витебского государственного технологического университета. – 2018. – № 1(34). – С. 103–108.
120. Хмелёв, В. Н. Ультразвуковая пропитка полимерных композиционных материалов / В. Н. Хмелёв [и др.] // Южно-сибирский научный вестник. – 2012. – № 2. – С. 192–196.
121. Хмелёв, В. Н. Ультразвуковая пропитка композиционных полимерных материалов [Электронный ресурс]. – 2012. – Дата доступа : 23.03.2016.
122. Лыков, А. В. Тепло и массообмен в процессах сушки [Текст] / А. В. Лыков. – М.– Л.: Госэнергоиздат, 1956. – 518 с.
123. Лыков, А. В. Теория сушки [Текст] / А. В. Лыков. – М.: Госэнергоиздат, 1950. – 420 с.
124. Циркина, О. Г. Теоретическое и экспериментальное обоснование повышения эффективности технологий отделки текстиля с использованием поля токов высокой частоты : дисс. ... д-ра техн. наук : 05.19.02 / О. Г. Циркина. – Иваново, 2015. – 416 с.
125. Кричевский, Г. Е. Химическая технология текстильных материалов [Текст]: учебник для вузов: в 3 т. / Г. Е. Кричевский. – М., 2000. – Т. 2. – 312 с.
126. Жерносек, С. В. Формирование свойств композиционных текстильных материалов в условиях инфракрасного и сверхвысокочастотного излучения : дисс. ... канд. техн. наук : 05.19.01 / С. В. Жерносек. – Витебск, 2016. – 228 с.
127. Побединский, В. С. Активирование процессов отделки текстильных материалов энергией электромагнитных волн ВЧ, СВЧ и УФ диапазонов / В. С. Побединский. – Иваново : ИХР РАН, 2000. – 128 с.
128. Пчельников, Ю. Н. Электроника сверхвысоких частот / Ю. Н. Пчельников, В. Г. Свиридов. – Москва : Радио и связь, 1981. – 88 с.

129. СТБ ISO 9000-2015. Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь. – Взамен СТБ ИСО 9000-2006 ; введ. 01.03.2016. – Минск : Госстандарт : БелГИСС, 2015. – IV, 54 с.
130. ГОСТ Р 56285-2014. Материал текстильный многослойный. Общие технические условия. – Введ. 01.01.2016. – Москва: Стандартинформ, 2015. – 11 с.
131. Кукин, Г. Н. Текстильное материаловедение. Текстильные полотна и изделия: учебник для вузов / Г. Н. Кукин, А. Н. Соловьев, А. И. Кобляков. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва: Легпромбытиздат, 1992. – 272 с.
132. Федюкин, В. К. Квалиметрия. Измерение качества промышленной продукции: учебное пособие / В. К. Федюкин. – Москва: Кнорус, 2009. – 320 с.
133. Химия и технология полимерных пленочных материалов и искусственной кожи: учеб. для вузов: в 2 ч. / Г. П. Адрианова [и др.] – 2-е изд. перераб. и доп. – Москва: Легпромбытиздат, 1990. – 304 с.
134. Разработка концептуальной модели объекта моделирования [Электронный ресурс] / Режим доступа: http://studopedia.ru/15_63046_razrabotka-kontseptualnoy-modeli-ob-ekta-modelirovaniya.html. – Дата доступа : 07.08.2017.
135. Чагина, Л. Л. Разработка информационной системы для проектирования изделий из льняного трикотажа / Л. Л. Чагина, Н. О. Прядкина, Н. А. Смирнова // Известия вузов. Технология легкой промышленности. – 2010. – № 2. – С. 38–41.
136. Ломов, С. В. WiseTex – виртуальный мир и реальное прогнозирование структуры и свойств текстильных полимерных композитов [Электронный ресурс] / С. В. Ломов, И. Ферпуст // Технический текстиль. – 2006. – № 13. – Режим доступа: <http://www.rustm.net/catalog/article/140.html>. – Дата доступа : 21.11.2017.
137. Трещалин, Ю. М. Анализ структуры и свойств нетканых материалов / Ю. М. Трещалин. – Москва: Издательство «БОС» 2016. – 192 с.
138. Woodhead Publishing Series in Textiles: Number 94 Modelling and predicting textile behaviour Edited by X. Chen 536 с. Woodhead Publishing India Private Limited, G-2, Vardaan House, 7/28 Ansari Road, Daryaganj, New Delhi. – 110002, India.
139. Севостьянов, П. А. Компьютерное моделирование в задачах исследования текстильных материалов и производств / П. А. Севостьянов, Д. А. Забродин, П. Е. Дасюк. – Москва: «Гисо Принт», 2014. – 264 с.
140. Блинова, И. В. Кривые, заданные параметрически и в полярных координатах: учебное пособие / И. В. Блинова, И. Ю. Попов. – СПб: Университет ИТМО, 2017. – 56 с.
141. Шустов, Ю. С. Основы текстильного материаловедения / Ю. С. Шустов. – Москва : МГТУ им. А.Н. Косыгина, 2017. – 302 с.

142. Preliminary Study of Linear Density, Tenacity, and Crystallinity of Cotton Fibers / Yongliang Liu , Devron Thibodeaux, James Rodgers // *Fibers*. – 2014. – №2. – P. 211 – 220.
143. Measurement Principle Test Results. – Режим доступа: <https://www.uster.com/en/>. – Дата доступа: 04.10.2017.
144. Andersons J., Strength distribution of elementary flax fibres [Текст] / J. Andersons, E. Sparnins, R. Joffe, L. Wallström // *Composites Science and Technology*. – 2005 – Vol. 65 – P. 693-702.
145. Mechanical properties of flax fibers and their composites by Edgars // SprnišDivision of Polymer Engineering Department of Applied Physics and Mechanical Engineering / Luleå University of Technology. – Luleå, SWEDEN, 2009. – P. 204.
146. Lomov, S. V. Textile geometry preprocessor for meso-mechanical models of woven composites [Текст] / S. V. Lomov, A. V. Gusakov, G. Huysmans, A. Prodromou, I. Verpoest // *Composites Science and Technology*. – 2000. – Vol. 60. – P. 2083–2095.
147. Lomov, S. V. Hierarchy of textile structures and architecture of fabric geometric models [Текст] / S. V. Lomov, G. Huysmans, I. Verpoest // *Textile Research Journal*. – 2001. – Vol. 71, № 6. – P. 534–543.
148. Ломов, С. В. Прогнозирование строения и механических свойств тканей технического назначения методами математического моделирования [Текст]: дисс. ... д-ра техн. наук : 05.19.01 / С. В. Ломов. – СПб, 1995. – 486 с.
149. WiseTex suit demo version [Электронный ресурс] / KU Leuven, Belgium. – Режим доступа: \www/ URL: <http://www.mtm.kuleuven.be/Onderzoek/Composites/software/wisetex>. – Дата доступа : 08.01.2019 .
150. Шеромова, И. А. Текстильные материалы: получение, строение, свойства: учебное пособие / И. А. Шеромова. – Владивосток: Изд-во ВГУЭС, 2006. – 220 с.
151. Колесников, П. А. Теплозащитные свойства одежды: монография / П. А. Колесников. – Москва : Изд-во «Легкая индустрия», 1965. – 338 с.
152. Проектирование однослойных ремизных тканей геометрическим методом : методические указания по выполнению курсовой работы / сост. Г. И. Толубеева, Т. И. Шейнова, Т. Ю. Карева. – Иваново : ИГТА, 2007. – С. 14.
153. Математическая модель многократной пропитки пористых тел растворами полимеров / И. В. Глебов, В. Д. Котенко, В. А. Романенков // *Наука и образование [Электрон. журн.]*. – МГТУ им. Н. Э. Баумана. – 2015. – № 11. – С. 238–252.
154. Махов, О. Н. Кинетика пропитки хлопчатобумажных тканей и повышение эффективности процесса их химической отделки: дисс. ... канд. техн. наук : 05.19.02 / О. Н. Махов. – Иваново, 2002. – 143 с.

155. Скобеев, И. К. Фильтрующие материалы / И. К. Скобеев. – Москва: Недра, 1978. – 200 с.
156. ГОСТ 3816-81. Полотна текстильные. Методы определения гигроскопических и водоотталкивающих свойств. – Введ. 01.07.82. – Москва : Изд-во стандартов, 1982. – 14 с.
157. ГОСТ 10681-75. Климатические условия для кондиционирования и испытания проб и методы их определения. – Введ. 01.01.78. – Москва : ИПК Издательство стандартов, 1997. – 29 с.
158. Тагер, А. А. Физикохимия полимеров [Текст] / А. А. Тагер. – Москва: Химия, 1968. – 536 с.
159. Кричевский, Г. Е. Химическая технология текстильных материалов [Текст]: учебник для вузов: в 3 т. / Г. Е. Кричевский. – Москва, 2001. – Т. 3. – 298 с.
160. Баренблатт, Г. И. Движение жидкостей и газов в природных пластах / Г. И. Баренблатт, В. М. Ентов, В. М. Рыжик. – Москва: Недра, 1984. – 211 с.
161. Воюцкий, С. С. Курс коллоидной химии / С. С. Воюцкий. – 2-е изд. перераб. и доп. – Москва : «Химия», 1976. – 512 с.
162. Калиновская, И. Н. Технологический процесс получения текстильных настенных покрытий: дисс. ... канд. техн. наук : 05.19.02 / И. Н. Калиновская. – Витебск, 2010. – 250 с.
163. Amico, S. C. Mathematical modelling of capillary micro-flow through woven fabrics / S. C. Amico, C. Lekakou // Composites: Part A, 2000. – Vol. 31. – P. 1331–1344.
164. Иманкулова, А. С. Текстильные композиты / А. С. Иманкулова. – Бишкек : МОК, 2005. – 152 с.
165. Гусев, В. П. Основы гидравлики: учебное пособие / В. П. Гусев. – Томск. Изд-во ТПУ, 2009. – 172 с.
166. Адамсон, А. Физическая химия поверхностей: пер. с англ. И. Г. Абидор / А. Адамсон; под ред. З. М. Зорина. – Москва : «МИР», 1979. – 568 с.
167. Аксельруд, Г. А. Введение в капиллярно-химическую технологию / Г. А. Аксельруд, М. А. Альтшулер. – Москва: Химия, 1983. – С. 270.
168. Бикченгтаева, А. Г. Поверхностные явления и дисперсные системы: учебное пособие / А. Г. Бикченгтаева. – Уфа: Издательство УГНТУ, 1998. – 89 с.
169. Савицкая, Т. А. Практикум по коллоидной химии. В 2 ч. Часть 1. Поверхностные явления / Т. А. Савицкая, М. П. Шиманович. – Минск : БГУ, 2003. – 100 с.
170. Щукин, Е. Д. Коллоидная химия: учеб. для университетов и химико-технолог. вузов / Е. Д. Щукин, А. В. Перцов, Е. А. Амелина. – 3-е изд., перераб. и доп. – Москва : Высш. шк., 2004. – 445 с.

171. ГОСТ 29104.11-91. Ткани технические. Метод определения капиллярности. – Взамен ГОСТ 3616-81. – Введ. 27.09.1991. – Москва : Изд. стандартов, 1991. – 4 с.
172. Кулаженко, Е. Л. Технология композиционных текстильных материалов механического способа формирования: дисс. ... канд. техн. наук : 05.19.02 / Е. Л. Кулаженко. – Витебск, 2009. – 231 с.
173. Василевич, Ю. В. Механика препрегов – расчет изделий из армированных композиционных материалов. В 2 ч. Ч. 1 / Ю. В. Василевич [и др.]; под ред. Ю. В. Василевича. – Минск: БНТУ, 2016. – 295 с.
174. Флорин, В. А. Основы механики грунтов / В. А. Флорин. – Москва: Госстройиздат, 1961. – Т. 2. – 543 с.
175. Самарский, А. А. Численные методы: учеб. пособие для вузов / А. А. Самарский, А. В. Гулин. – Москва: Наука, 1989. – 432 с.
176. Леонтьев, Н. Е. Основы теории фильтрации: учебное пособие / Н. Е. Леонтьев. – 2-е изд. – Москва: МАКС Пресс, 2017. – 88 с.
177. Примеры расчетов по гидравлике: учебное пособие для вузов / А. Д. Альтшуль [и др.]; под общей ред. А. Д. Альтшуля. – Москва: Строймздат, 1977. – 254 с.
178. Соколов, Е. Я. Струйные аппараты / Е. Я. Соколов, Н. М. Зингер. – 3-е изд. – Москва: Энергоатомиздат, 1989. – 352 с.
179. Павлова, Е. С. Выбор оптимальных условий процесса электрофлокирования с учетом параметров ворса: дисс. ... канд. техн. наук : 05.19.02 / Е. С. Павлова. – Санкт-Петербург, 2011. – 145 с.
180. ГОСТ 6810-2002. Обои. Технические условия. – Взамен ГОСТ 6810-86. – Введ. 01.09.2003. – Минск : Издательство стандартов, 2003. – 15 с.
181. ГОСТ 10550-93. Материалы текстильные. Полотна. Методы определения жесткости при изгибе. – Взамен ГОСТ 10550-75. – Введ. 01.01.1995. – Минск : Издательство стандартов, 1997. – 12 с.
182. ГОСТ 24684-87. Материалы для одежды. Нормы жесткости. – Взамен ГОСТ 24684-81. – Введ. 30.06.1988. – Москва : Издательство стандартов, 1997. – 24 с.
183. Фрейдин, А. С. Полимерные водные клеи / А. С. Фрейдин. – Москва: Химия, 1985. – 144 с.
184. Кулаженко, Е. Л. Нанесение клея валичным способом на поверхность рулонных материалов / В. И. Ольшанский, Е. Л. Кулаженко // Техно-технологические проблемы сервиса. – № 4(18). – 2011. – С. 41–44.
185. Калекин, А. А. Гидравлика и гидравлические машины : учебное пособие / А. А. Калекин. – Москва : Мир, 2005. – 512 с.

186. Альтшуль, А. Д. Гидравлика и аэродинамика (Основы механики жидкости): учебное пособие для вузов / А. Д. Альтшуль, П. Г. Киселев. – 2-е изд. перераб. и доп. – Москва: Стройиздат, 1975. – 323 с.
187. Чукасова-Ильюшкина, Е. В. Автоматизированная обработка при построении штапельной диаграммы коротких волокон / Е. В. Чукасова-Ильюшкина, К. С. Ринейский, А. Г. Коган, С. В. Макаров // Сборник научных трудов по текстильному материаловедению, посвященный 100-летию со дня рождения Г. Н. Кукина / МГТУ им. Косыгина; пред. ред. комиссии Ю. С. Шустов. – Москва, 2007. – С. 225–230.
188. Борщев, В. Я. Оборудование для измельчения материалов: дробилки и мельницы: учебное пособие / В. Я. Борщев. – Тамбов: издательство Тамбовского государственного университета, 2004. – 75 с.
189. Статистические методы в экспериментальных исследованиях : учебное пособие / ВГТУ; С. М. Литовский, В. Л. Шарстнев; под ред. В. Л. Шарстнева. – Витебск: ВГТУ, 1996. – 63 с.
190. Севостьянов, А. Г. Оптимизация механико-технологических процессов текстильной промышленности : учебник для вузов / А. Г. Севостьянов, П. А. Севастьянов. – Москва: Легпромбытиздат, 1991. – 256 с.
191. Лойтянский, Л. Г. Механика жидкости и газа / Л. Г. Лойтянский. – Москва, Ленинград : Гостехиздат, 1950. – 676 с.
192. Софронов, В. Л. Расчет струйных аппаратов: учебное пособие для вузов / В. Л. Софронов, И. Ю. Русаков, Т.В. Ощепкова. – Северск: СТИ НИЯУ МИФИ, 2011. – 33 с.
193. Мигушов, И. И. Механика текстильной нити и ткани / И. И. Мигушов. – Москва : Легкая индустрия, 1980. – 160 с.
194. Лыков, А. В. Явления переноса в капиллярно-пористых телах / А. В. Лыков. – Москва: Государственное издательство технико-теоретической литературы, 1954. – 296 с.
195. Лыков, А. В. Теория теплопроводности / А. В. Лыков. – Москва: Изд. «Высшая школа», 1967. – 600 с.
196. Ребиндер, П. А. О формах связи влаги в материалах в процессе сушки / П. А. Ребиндер // Научно-техническое совещание по сушке. – Москва, 1958. – С. 20–33 .
197. Рудобашта, С. П. Массоперенос в системах с твёрдой фазой / С. П. Рудобашта. – Москва: Химия, 1980. – 248 с.
198. Осипов, Ю. Р. Теплоперенос при термообработке многослойных систем с эластомерными покрытиями: монография / Ю. Р. Осипов, С. Ю. Осипов, О. А. Панфилова. – Вологда: ВоГТУ, 2012. – 155 с.
199. Гусаров, А. М. Оценка и прогнозирование теплозащитных свойств пакетов материалов для специальной защитной одежды пожарных:

- монография / А. М. Гусаров, А. А. Кузнецов. – Витебск : УО «ВГТУ», 2017. – 174 с.
200. Пахомов, А. Н. Моделирование и расчет кинетики сушки жидких дисперсных продуктов на подложках : монография для научных и инженерно-технических работников химической, пищевой и других отраслей промышленности / А. Н. Пахомов, Н. Ц. Гатапова, Ю. В. Пахомова. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2016. – 160 с.
201. Акулич, П. В. Расчеты сушильных и теплообменных установок / П. В. Акулич. – Минск: Беларус. навука, 2010. – 443 с.
202. Шевченко, В. Г. Основы физики полимерных композиционных материалов: учебное пособие / В. Г. Шевченко. – Москва: издательство МГУ, 2010. – 99 с.
203. Новиченок, Л. Н. Теплофизические свойства полимеров / Л. Н. Новиченок, З. П. Шульман. – Минск: «Наука и техника», 1971. – 120 с.
204. Губерман, М. С. Теоретическое обоснование, разработка и освоение высокоэффективных технологий производства тканей специального и бытового назначения : дисс. ... д-ра техн. наук : 05.19.02 / М. С. Губерман. – Иваново, 2000. – 601 с.
205. Глуханов, Н. П. Высокочастотный нагрев диэлектрических материалов в машиностроении [Текст] / Н. П. Глуханов, И. Г. Федорова. – Л.: Машиностроение, 1983. – 160 с.
206. Сажин, Б. И. Электрические свойства полимеров [Текст] / Б. И. Сажин. – Л.: Химия, 1986.
207. Михайлов, Г. П. О молекулярном движении в полимерах / Г. П. Михайлов, Т. И. Борисова // Успехи физических наук. – Т. 83. – 1964. – С. 63–79.
208. Бровченков, В. Е. Электрофизические свойства химических волокон и методы их исследования в полях СВЧ и ВЧ / В. Е. Бровченков, О. Т. Мамотина // СИ. – 1980. – № 3. – С. 8–9.
209. Януш, Г. ВЧ-сушка текстильных материалов / Г. Януш // Techn.Wlok, 1984. – № 12. – С. 356–359.
210. Родос, Л. Я. Электродинамика и распространение радиоволн: учеб. пособие / Л. Я. Родос. – СПб.: Издательство СЗТУ, 2007. – 90 с.
211. Побединский, В. С. Диэлектрические свойства текстильных материалов 25.4.88, N 2416-лп88 [Текст] : депонированная научная работа / В. С. Побединский, А. Л. Никифоров, С. М. Побединский // Иван. н.-и. эксперим.-конструкт. машиностроит. ин-т (Иваново). – Введ. 25.04.88. – 1988. – 25 с.
212. Никифоров, А. Л. Использование энергии электромагнитных колебаний для интенсификации химико-текстильных процессов и создания на их основе энерго- и ресурсосберегающих технологий : дисс. ... д-ра техн. наук : 05.19.02 / А. Л. Никифоров. – Иваново, 2004. – 398 с.

213. Исаев, С. П. Влияние СВЧ-обработки на структуру пленок клеев на водной основе / С. П. Исаев, К. А. Шевчук // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. – 2016. – Вып. 216. – С. 200–209.
214. Краткий справочник физико-химических величин / под ред. А. А. Равделя, А. М. Понамаревой. – 8-е изд. перераб. – Л. : 1983. – 232 с.
215. ГОСТ 12023-2003. Материалы текстильные и изделия из них. Метод определения толщины. – Взамен ГОСТ 12023-9. – Введ. 01.12.2005. – Москва : Изд. стандартов, 2003. – 8 с.
216. Ахназарова, С. Л. Использование функции желательности Харрингтона при решении оптимизационных задач химической технологии : учебное пособие / С. Л. Ахназарова, Л. С. Гордеев. – Москва: издательство РХТУ, 2003. – 76 с.
217. Ольшанский, А. И. Исследование влагообмена при сушке натуральных тканей в электромагнитном поле сверхвысокой частоты / А. И. Ольшанский, В. И. Ольшанский, С. В. Жерносек // Инженерно-физический журнал. – 2014. – Т. 86, № 5. – С. 1041–1048.
218. Чукасова-Ильюшкина, Е. В. Технология многослойных текстильных материалов с использованием коротковолокнистых отходов: дисс. ... канд. техн. наук : 05.19.02 / Е. В. Чукасова-Ильюшкина. – Витебск, 2008. – 288 с.
219. Мурычева, В. В. Технология текстильных композиционных материалов способом импрегнирования: дисс. ... канд. техн. наук : 05.19.02 / В. В. Мурычева. – Витебск, 2014. – 178 с.
220. ГОСТ 4.230-83. Материалы отделочные и изделия облицовочные полимерные. – Введ. 01.01.1984. – Москва : Издательство стандартов, 2003. – 7 с.
221. ГОСТ 23432-89. Полотна декоративные. Общие технические условия. – Взамен ГОСТ 23432-79. – Введ. 30.06.1990. – Москва : Издательство стандартов, 1998. – 11 с.
222. ГОСТ Р 56285-2014. Материал текстильный многослойный. Общие технические условия. – Введ. 01.01.2016. – Москва : Стандартинформ, 2015. – 8 с.
223. ГОСТ 7081-93. Полотна шелковые и полушелковые ворсовые. Общие технические условия. – ГОСТ 7081-87, ГОСТ 14869-85, ОСТ 17-205-80. – Введ. 01.01.1995. – Москва : Издательство стандартов, 2002. – 6 с.
224. ГОСТ 4.3-78. Ткани и штучные изделия хлопчатобумажные и смешанные бытового назначения. Номенклатура показателей. – Взамен ГОСТ 4.3-68. – Введ. 01.01.1980. – Москва : Издательство стандартов, 1978. – 6 с.
225. ГОСТ 4.51-87. Система показателей качества продукции. Ткани и штучные изделия бытового назначения из химических волокон. Номенклатура

- показателей. – Взамен ГОСТ 4.51-78. – Введ. 30.06.1988. – Москва : Издательство стандартов, 1987. – 9 с.
226. ГОСТ 4.34-84. Система показателей качества продукции. Полотна нетканые и штучные нетканые изделия бытового назначения. Номенклатура показателей. – Взамен ГОСТ 4.34-72. – Введ. 01.01.1986. – Москва : Издательство стандартов, 2001. – 15 с.
227. ГОСТ 4.116-84. Система показателей качества продукции. Кожа искусственная и пленочные материалы технического назначения. Номенклатура показателей. – Введ. 30.06.1985. – Москва : Издательство стандартов, 1984. – 10 с.
228. ГОСТ 4.229-83. Система показателей качества продукции. Строительство. Пластики бумажно-слоистые декоративные. – Введ. 01.01.1984. – Москва : Издательство стандартов, 2003. – 6 с.
229. ГОСТ 19196-93. Ткани обувные. Общие технические условия. – Взамен ГОСТ 19196-80, ГОСТ 23761-89, ОСТ 17-526-75, ОСТ 17-73-86. – Введ. 01.01.1995. – Москва : Издательство стандартов, 1995. – 10 с.
230. ГОСТ 29098-91. Ткани для галантерейных изделий. Общие технические условия. – Взамен ГОСТ 4725-77, ОСТ 17-185-84. – Введ. 01.01.1993. – Москва : Издательство стандартов, 2004. – 6 с.
231. Пугачева, И. Н. Научно-технологические принципы применения многофункциональных добавок из вторичных полимерных материалов в производстве эмульсионных каучуков: дисс. ... д-ра техн. наук : 05.17.06 / И. Н. Пугачева. – Воронеж, 2015. – 399 с.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ АВТОРА ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

Монографии

- 1-А. **Ясинская, Н. Н.** Нестационарная теплопроводность текстильных материалов : [монография] / Н. Н. Ясинская, В. И. Ольшанский, А. Г. Коган. – Витебск : УО «ВГТУ», 2003. – 171 с.
- 2-А. **Ясинская, Н. Н.** Композиционные текстильные материалы : [монография] / Н. Н. Ясинская, В. И. Ольшанский, А. Г. Коган. – Витебск : УО «ВГТУ», 2016. – 299 с.

Статьи в научных изданиях, включенных в список ВАК Российской Федерации

- 3-А. 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.
- 4-А. Коган, А.Г. Высокоусадочные пневмотекстурированные нити / Коган А.Г., **Н. Н. Ясинская**, Н. В. Скобова // *Текстильная промышленность*. – 2000. – № 5. – С. 17–18.
- 5-А. Чукасова-Ильюшкина, Е. В. Исследование влияния скорости воздушно-волокнистой струи на свойства текстильных многослойных материалов / Е. В. Чукасова-Ильюшкина, **Н. Н. Ясинская**, А. Г. Коган // *Текстильная промышленность*. – 2007. – № 8. – С. 43–45.
- 6-А. **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.
- 7-А. **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.
- 8-А. **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.
- 9-А. 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.
- 10-А. 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.
- 11-А. Bazeiko, V. V. Analysis of the structure of the textile reinforcement of a composite material / V. V. Bazeiko, **N. N. Yasinskaya** // Fibre Chemistry. – 2014. – Т. 46, № 4. – С. 245–249.
- 12-А. 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.
- 13-А. 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.
- 14-А. 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.
- 15-А. **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.
- 16-А. 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.
- 17-А. 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.

- 18-А. 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.
- 19-А. Milašius, R. Development of an electrospun nanofibrous web with hyaluronic acid / Milašius R., Ragaišiene A., Rukuižiene Ž., Mikučioniene D., Ryklin D., **Yasinskaya N.**, Yeutushenka A. // *Fibres and Textiles in Eastern Europe*. – 2017. – Т. 25, № 5. – С. 8–12.
- 20-А. **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.
- 21-А. **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.
- 22-А. 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.
- 23-А. **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.
- 24-А. **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.
- 25-А. 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

- 26-А. 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.
- 27-А. 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.
- 28-А. 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.
- 29-А. 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.
- 30-А. 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.
- 31-А. 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.
- 32-А. 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.
- 33-А. 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.
- 34-А. 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.
- 35-А. 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.
- 36-А. 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.
- 37-А. 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.
- 38-А. 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.
- 39-А. 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.
- 40-А. **Ясинская, Н. Н.** Определение глубины проникновения полимерного связующего в текстильный материал при формировании слоистых композитов / **Н. Н. Ясинская**, А. О. Кульнев // Вестник Витебского государственного технологического университета. – № 2 (35). – 2018. – С. 95–103.

Статьи в других научных изданиях

- 41-А. Козодой, Т. С. Определение номенклатуры показателей качества трикотажного обувного материала / Т. С. Козодой, **Н. Н. Ясинская**, Н. В. Скобова // Материалы и технологии. – № 2(2). – Витебск : Витебск : УО «ВГТУ», 2018. – С. 55–60.

Статьи в сборниках материалов научных конференций:

- 42-А. Чукасова-Ильюшкина, Е. В. Коротковолокнистые отходы в качестве наполнителя в композиционных строительных смесях / Е. В. Чукасова-Ильюшкина, **Н. Н. Ясинская**, А. Г. Коган // Сборник материалов всероссийской НТК «Актуальные проблемы проектирования и технологии изготовления текстильных материалов специального назначения»

- (Техтекстиль-2005), Димитровград, 19–20 октября 2005 г. / ДИТУД УлГТУ, пред. редкол. : В. В. Павутницкий. – Димитровград. – 2005. – С. 17–18.
- 43-А. Калиновская, И. Н. Исследования по созданию текстильных настенных покрытий / И. Н. Калиновская, **Н. Н. Ясинская** // Сборник материалов всероссийской НТК «Актуальные проблемы проектирования и технологии изготовления текстильных материалов специального назначения» (Техтекстиль-2005), Димитровград, 19–20 октября 2005 г. / ДИТУД УлГТУ. – Димитровград, 2005. – С. 37–38.
- 44-А. Чукасова-Ильюшкина, Е. В. Разработка композиционных строительных смесей с использованием коротковолокнистых отходов / Е. В. Чукасова-Ильюшкина, **Н. Н. Ясинская**, А. Г. Коган // Теоретические знания в практические дела: сборник научных статей научно-практической конференции студентов и аспирантов с международным участием в трех частях. Ч. 1, Омск, 13 марта 2006 г. / РосЗИТЛП филиал в г. Омске, редкол.: Л. В. Ларькина [и др.]. – Омск, 2006. – С. 80–81.
- 45-А. Чукасова-Ильюшкина, Е. В. Аэродинамический способ получения текстильного ворсового покрытия / Е. В. Чукасова-Ильюшкина, **Н. Н. Ясинская**, А. Г. Коган // МНТК «Современные наукоемкие технологии и перспективные материалы текстильной и легкой промышленности» (Прогресс-2006) : сборник материалов, Иваново, 30 мая – 1 июня 2006 г. / «Ивановская государственная текстильная академия» (ИГТА). – Иваново : «ИГТА», 2006. – С. 227–228.
- 46-А. Чукасова-Ильюшкина, Е. В. Разработка технологий получения строительных материалов с использованием отходов текстильного производства / Е. В. Чукасова-Ильюшкина, **Н. Н. Ясинская**, А. Г. Коган // Сборник статей международной научно-технической конференции «Экологические и ресурсосберегающие технологии промышленного производства», Витебск, 23–25 октября 2006 г. / УО «ВГТУ», редкол.: П. А. Витязь [и др.]. – Витебск, 2006. – С. 102–104.
- 47-А. Чукасова-Ильюшкина, Е. В. Технология получения текстильных композиционных многослойных материалов с использованием химических волокон / Е. В. Чукасова-Ильюшкина, **Н. Н. Ясинская**, А. Г. Коган // Материалы третьей Белорусской научно-практической конференции «Научно-технические проблемы развития производства химических волокон в Беларуси» (с международным участием), Могилев, 13–15 декабря 2006 г. / УО «Могилевский государственный университет продовольствия»; отв. редактор Б. Э. Геллер. – Могилев, 2007. – С. 280–281.
- 48-А. Чукасова-Ильюшкина, Е. В. Анализ скоростных режимов скорости воздушно-волокнистой струи при формировании многослойных материалов аэродинамическим напылением / Е. В. Чукасова-Ильюшкина, **Н. Н.**

- Ясинская**, А. Г. Коган // Сборник материалов всероссийской научно-технической конференции «Актуальные проблемы проектирования и технологии изготовления текстильных материалов специального назначения» (Техтекстиль-2007), Димитровград, 18–19 октября 2007 г. / ДИТУД УлГТУ; пред. редкол. : В. В. Павутницкий. – Димитровград, 2007. – С. 94–95.
- 49-А. Зими́на, Е. Л. Технологический процесс производства многослойных материалов с текстильным покрытием / Е. Л. Зими́на, **Н. Н. Ясинская**, А. Г. Коган // Межвузовская НТК аспирантов и студентов «Молодые ученые – развитию текстильной и легкой промышленности» (Поиск-2009) : сборник материалов, Иваново, 28 апреля 2009 г. / «Ивановская государственная текстильная академия» (ИГТА). – Иваново, 2009. – С. 22–23.
- 50-А. Зими́на, Е. Л. Оптимизация параметров формирования волокнистого покрытия при производстве композиционных текстильных материалов / Е. Л. Зими́на, **Н. Н. Ясинская**, А. Г. Коган // Новое в технике и технологии текстильной и легкой промышленности: материалы международной научной конференции, Витебск, 25–27 ноября 2009 г. / УО «Витебский государственный технологический университет». – Витебск, 2009. – С. 72–74.
- 51-А. Базеко, В. В. Химическая отделка текстильных материалов специального назначения / В. В. Базеко, **Н. Н. Ясинская**, А. Г. Коган // Образование 21 века : материалы 55-й итоговой научно-практической конференции студентов и магистрантов, Витебск, 24–25 марта 2010 г. / УО «ВГУ им. П.М. Машерова. – Витебск, 2010. – С. 41–42.
- 52-А. Базеко, В. В. Исследования физико-механических свойств тканей со специальными видами заключительной отделки / В. В. Базеко, **Н. Н. Ясинская**, А. Г. Коган // Материалы докладов 43-й научно-технической конференции преподавателей и студентов университета : тезисы докладов, Витебск, 19 апреля 2010 г. / УО «Витебский государственный технологический университет». – Витебск, 2010. – С. 217–218.
- 53-А. Базеко, В. В. Исследование физико-механических свойств тканей для производства текстильных материалов со специальными видами заключительной отделки / В. В. Базеко, **Н. Н. Ясинская**, А. Г. Коган // Межвузовская НТК аспирантов и студентов «Молодые ученые – развитию текстильной и легкой промышленности» (Поиск-2010) : сборник материалов, Иваново, 28–30 апреля 2010 г. / Федеральное агентство по образованию, Администрация Ивановской области, Совет ректоров ВУЗов Ивановской области, Совет молодых ученых Ивановской области, Ивановская государственная текстильная академия. – Иваново, 2010. – С. 47–49.

- 54-А. Базеко, В. В. Технология получения композиционных текстильных материалов / В. В. Базеко, **Н. Н. Ясинская**, А. Г. Коган // Всероссийская научно-техническая конференция с международным участием «Актуальные проблемы проектирования и технологии изготовления текстильных материалов специального назначения» (ТЕХТЕКСТИЛЬ-2010) : сборник материалов, Димитровград, 21–22 января 2010 г. / ДИТУД (филиал) УлГТУ. – Димитровград : ДИТУД, 2010. – С. 21–22.
- 55-А. Базеко, В. В. Технология получения новых видов текстильных настенных покрытий / В. В. Базеко, **Н. Н. Ясинская**, А. Г. Коган // XII Международная научно-инновационная конференция аспирантов, студентов и молодых ученых с элементами научной школы «Теоретические знания – в практические дела» : сборник материалов конференции, Омск, 7–15 апреля 2011 г. / Министерство образования и науки РФ, Министерство образования Омской области, Министерство промышленной политики, транспорта и связи Омской обл., Ассоциация предприятий текстильной и легкой промышленности Омской обл., Социально-благотворительный образовательный фонд «Третьяковские традиции», ГОУ ВПО «Российский заочный институт текстильной и легкой промышленности» филиал в г. Омске, ГОУ ВПО «Омский государственный университет им. Ф.М. Достоевского, Омский научный центр сибирского отделения РАН, ГОУ ВПО «Омская государственная медицинская академия». – Омск, 2011. – С. 11–14.
- 56-А. Ермакович, В. С. Огнезащитная отделка композиционных текстильных материалов декоративного назначения / В. С. Ермакович, **Н. Н. Ясинская**, А. Г. Коган // Материалы докладов 44-й республиканской НТК преподавателей и студентов, посвященной году книги, Витебск, 14–15 апреля 2011 г. / УО «Витебский государственный технологический университет». – Витебск, 2011. – С. 67–68.
- 57-А. Базеко, В. В. Разработка оптимального состава аппретирующей композиции для текстильных настенных покрытий / В. В. Базеко, **Н. Н. Ясинская**, А. Г. Коган // Межвузовская НТК аспирантов и студентов «Молодые ученые – развитию текстильной и легкой промышленности» (Поиск-2011) : сборник материалов, Иваново, 23–25 апреля 2011 г. / «Ивановская государственная текстильная академия» (ИГТА). – Иваново, 2011. – С. 131–133.
- 58-А. Базеко, В. В. Технология заключительной отделки текстильных композиционных материалов декоративного назначения / В. В. Базеко, **Н. Н. Ясинская**, А. Г. Коган // Новое в технике и технологии текстильной и легкой промышленности: материалы международной научной конференции, Витебск, 11–12 ноября 2011 г. / УО «Витебский

- государственный технологический университет». – Витебск, 2011. – С. 22–24.
- 59-А. Бизюк, А. Н. Компьютерное моделирование процессов сушки текстильных материалов / А. Н. Бизюк, **Н. Н. Ясинская** // Материалы докладов 45-й республиканской НТК преподавателей и студентов, посвященной году книги, Витебск, 20 апреля 2012 г. / УО «Витебский государственный технологический университет». – Витебск, 2012. – С. 159–162.
- 60-А. Базеко, В. В. Исследование огне-, термостойких свойств текстильных композиционных материалов / В. В. Базеко, **Н. Н. Ясинская**, А. Г. Коган // Межвузовская НТК аспирантов и студентов «Молодые ученые – развитию текстильной и легкой промышленности» (Поиск-2012) : сборник материалов, Иваново, 23–25 апреля 2012 г. / «Ивановская государственная текстильная академия» (ИГТА). – Иваново : «ИГТА», 2012. – С. 32–33.
- 61-А. Базеко, В. В. Тканые фильтровальные материалы для пищевой промышленности / В. В. Базеко, **Н. Н. Ясинская**, А. Г. Коган // Материалы докладов 45-й республиканской НТК преподавателей и студентов, посвященной году книги, Витебск, 27 апреля 2012 г. / УО «Витебский государственный технологический университет». – Витебск, 2012. – С. 374–377.
- 62-А. Базеко, В. В. Исследование влияния процесса аппретирования тканей для текстильных настенных покрытий на их потребительские свойства / В. В. Базеко, **Н. Н. Ясинская**, А. Г. Коган // МНТК «Современные наукоемкие технологии и перспективные материалы текстильной и легкой промышленности» (Прогресс-2012) : сборник материалов, Иваново, 30 мая – 1 июня 2012 г. / «Ивановская государственная текстильная академия» (ИГТА). – Иваново : «ИГТА», 2012. – С. 58–60.
- 63-А. Базеко, В. В. Исследование физико-механических свойств фильтровальной ткани для маслянистых жидкостей / В. В. Базеко, **Н. Н. Ясинская**, А. Г. Коган // Международная НТК «Современные наукоемкие технологии и перспективные материалы текстильной и легкой промышленности» (Прогресс-2013) : сборник материалов, Иваново, 27–29 мая 2013 г. / Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Ивановский государственный политехнический университет», Текстильный институт (Текстильный институт ИВГПУ). – Иваново, 2013. – С. 114–116.
- 64-А. Мурычева, В. В. Экспериментальные и теоретические исследования процесса соединения тканого полотна с нетканой основой / В. В. Мурычева, **Н. Н. Ясинская**, А. Г. Коган // Новое в технике и технологии текстильной и легкой промышленности: материалы МНТК, Витебск, 27–28 ноября 2013 г.

- / УО «Витебский государственный технологический университет». – Витебск, 2013. – С. 60–62.
- 65-А. Жерносек, С. В. Применение обобщенного критерия при оптимизации процесса пропитки КТМ / А. Н. Бизюк, С. В. Жерносек, В. И. Ольшанский, **Н. Н. Ясинская**, А. О. Кульнев // Материалы докладов 47-й НТК преподавателей и студентов, Витебск, 23 апреля 2014 г. / УО «ВГТУ». – Витебск, 2014. – С. 526–528.
- 66-А. Башун, Д. А. Расчет содержания адсорбированного полимера в тканой основе при формировании композиционного материала / Д. А. Башун, **Н. Н. Ясинская**, В. В. Мурычева // Материалы докладов 47-й НТК преподавателей и студентов, Витебск, 23 апреля 2014 г. / УО «ВГТУ». – Витебск, 2014. – С. 284–286.
- 67-А. **Жерносек, С. В.** Моделирование процесса формирования текстильных композиционных материалов / С. В. Жерносек, А. Н. Бизюк, **Н. Н. Ясинская**, В. И. Ольшанский // Динамика систем, механизмов и машин, Омск, 11–13 ноября 2014 г. – Омск : ФГБОУ ВО «Омский государственный технический университет», 2014. – № 3. – С. 156–159.
- 68-А. **Ясинская, Н. Н.** Определение содержания адсорбированной дисперсии стирол-акрилата при формировании геокомпозита / Н. Н. Ясинская, Л. Е. Соколов, В. В. Мурычева // Сборник материалов МНТК «Дизайн, технологии и инновации в текстильной и легкой промышленности» (Инновации -2014), Москва, 18–19 ноября 2014 г. – Москва : ФГБОУ ВПО «МГУДТ», 2014. – С. 33–36.
- 69-А. Бизюк, А. Н. Численное моделирование пропитки многослойных текстильных материалов / А. Н. Бизюк, **Н. Н. Ясинская** // Материалы докладов 48-й МНТК, посвященной 50-летию университета: в 2 т., Витебск, 29 апреля 2015 г. / УО «ВГТУ». – Витебск, 2015. – С. 23–25.
- 70-А. **Ясинская, Н. Н.** Исследование формирования геокомпозитного материала способом пропитки полимерной композицией / Н. Н. Ясинская, Л. Е. Соколов // Материалы докладов 48-й МНТК, посвященной 50-летию университета: в 2 т., Витебск, 29 апреля 2015 г. / УО «ВГТУ». – Витебск, 2015. – С. 336–338.
- 71-А. Шалашов, Д. С. Новое в технологии производства текстильных обоев / Д. С. Шалашов, А. Г. Коган, **Н. Н. Ясинская** // Новое в технике и технологии текстильной и легкой промышленности: материалы МНТК, Витебск, 25–26 ноября 2015 г. / УО «Витебский государственный технологический университет». – Витебск, 2015. – С. 112–113.
- 72-А. Мурычева, В. В. Перспективы создания в Республике Беларусь композиционной кожи и других видов композиционных материалов из отходов кожевенного производства / В. В. Мурычева, **Н. Н. Ясинская** //

МНПК «Переработка отходов текстильной и легкой промышленности: теория и практика» : сборник материалов конференции, Витебск, 30 ноября 2016 г. / УО «Витебский государственный технологический университет». – Витебск, 2016. – С. 8–12.

- 73-А. Бизюк, А. Н. Имитационное моделирование текстильных армирующих материалов / А. Н. Бизюк, **Н. Н. Ясинская** // Материалы докладов 50-й МНТК преподавателей и студентов, посвященной году науки, Витебск, 12–13 апреля 2017 г. / УО «Витебский государственный технологический университет». – Витебск, 2017. – С. 3–5.
- 74-А. Сапежко, А. М. Разработка перечня показателей качества для слоистых композиционных материалов / А. М. Сапежко, **Н. Н. Ясинская**, И. А. Петюль // Материалы докладов 51-й МНТК преподавателей и студентов, посвященной году науки, Витебск, 19 апреля 2018 г. / УО «Витебский государственный технологический университет». – Витебск, 2018. – С. 236–238.
- 75-А. **Ясинская, Н. Н.** Исследование процесса пропитки при формировании композиционных текстильных материалов / Н. Н. Ясинская, Н. В. Скобова, А. Н. Бизюк // МНТК «Дизайн, технологии и инновации в текстильной и легкой промышленности» (Инновации-2018) : сборник материалов докладов, Москва, 14–15 ноября 2018 г. / РГУ им. А. Н. Косыгина. – Москва, 2018. – С. 96–100.
- 76-А. Козодой, Т. С. Разработка концептуальной модели проектирования слоистых композиционных текстильных материалов для спортивной обуви / Т. С. Козодой, **Н. Н. Ясинская**, Н. В. Скобова // Инновационные технологии в текстильной и легкой промышленности: материалы МНТК, Витебск, 21–22 ноября 2018 г. / УО «Витебский государственный технологический университет». – Витебск, 2018. – С. 36–39.
- 77-А. Скобова, Н. В. Интенсификация процесса пропитки текстильных материалов на стадии заключительной отделки / Н. В. Скобова, **Н. Н. Ясинская**, Т. С. Козодой // Всероссийская молодежная НТК «Молодые ученые – развитию Национальной технологической инициативы» (Поиск-2019) : сборник материалов, Иваново, 24–26 апреля 2019 г. / «Ивановский государственный политехнический университет» (ИГПУ). – Иваново : «ИГТА», 2019. – № 1. – С. 107–109.

Тезисы докладов:

- 78-А. **Ясинская, Н. Н.** Исследование влияния состава клеящего материала и параметров термообработки на свойства текстильного настенного покрытия / Н. В. Скобова, Н. Н. Ясинская, М. Е. Ефремова // Тезисы докладов 36-й НТК преподавателей и студентов ун-та / УО «ВГТУ»; гл. ред. С. М. Литовский. – Витебск, 2003. – С. 87.

- 79-А. **Скобова, Н. В.** Технология получения текстильных настенных покрытий / Н. Н. Ясинская, Н. В. Скобова, М. Е. Ефремова // Тезисы докладов 36-й НТК преподавателей и студентов ун-та / УО «ВГТУ»; гл. ред. С. М. Литовский. – Витебск, 2003. – С. 84–85.
- 80-А. **Ясинская, Н. Н.** Технология получения дуплексных текстильных настенных покрытий / Н. Н. Ясинская, Н. В. Скобова // Всероссийская НТК «Современные технологии и оборудование текстильной промышленности» (Текстиль-2003), 18–19 ноября 2003 г. : тезисы докладов / МГТУ им. А. Н. Косыгина; пред. редкол. К. И. Кобраков. – Москва, 2003. – С. 57–58.
- 81-А. Калиновская, И. Н. Исследование технологического процесса термообработки текстильных настенных покрытий / И. Н. Калиновская, **Н. Н. Ясинская**, Т. Э. Бортко // Тезисы докладов 37-й НТК преподавателей и студентов ун-та, Витебск, 13–14 мая 2004 г. / УО «ВГТУ»; гл. ред. С. М. Литовский. – Витебск, 2004. – С. 88–89.
- 82-А. Калиновская, И. Н. Исследование влияния параметров технологического процесса на свойства текстильных настенных покрытий / И. Н. Калиновская, **Н. Н. Ясинская**, Т. Э. Бортко // Всероссийская НТК «Современные технологии и оборудование текстильной промышленности» (Текстиль-2004), 24 ноября 2004 г. : тезисы докладов / МГТУ им. А. Н. Косыгина; пред. редкол. К. И. Кобраков. – Москва, 2004. – С. 83–84.
- 83-А. **Ясинская, Н. Н.** Текстильные многослойные материалы / Н. Н. Ясинская, А. Г. Коган // Всероссийская НТК «Современные технологии и оборудование текстильной промышленности» (Текстиль-2004), 24 ноября 2004 г. : тезисы докладов / МГТУ им. А. Н. Косыгина; пред. редкол. К. И. Кобраков. – Москва, 2004. – С. 51.
- 84-А. Чукасова-Ильюшкина, Е. В. О проблеме применения коротковолокнистых отходов / Е. В. Чукасова-Ильюшкина, **Н. Н. Ясинская**, А. Г. Коган // Тезисы докладов 38-й НТК преподавателей и студентов университета / УО «ВГТУ»; гл. ред. С. М. Литовский. – Витебск, 2005. – С. 58.
- 85-А. Калиновская, И. Н. Исследование процесса конвективной сушки при производстве текстильных настенных покрытий / И. Н. Калиновская, **Н. Н. Ясинская** // Тезисы докладов 38-й НТК преподавателей и студентов ун-та / УО «ВГТУ»; гл. ред. С. М. Литовский. – Витебск, 2005. – С. 56–57.
- 86-А. Чукасова-Ильюшкина, Е. В. Перспективы применения коротковолокнистых отходов в композиционных строительных материалах / Е. В. Чукасова-Ильюшкина, **Н. Н. Ясинская**, А. Г. Коган // Тезисы докладов МНТК «Современные технологии и оборудование текстильной промышленности» (Текстиль-2005), Москва, 22–23 ноября 2005 г. / МГТУ

- им. А. Н. Косыгина; пред. редкол. К. И. Кобраков. – Москва, 2005. – С. 28–29.
- 87-А. Калиновская, И. Н. Исследования параметров процесса сушки текстильных настенных покрытий / И. Н. Калиновская, **Н. Н. Ясинская** // Всероссийская НТК «Современные технологии и оборудование текстильной промышленности» (Текстиль-2005), 22–23 ноября 2005 г. : тезисы докладов / МГТУ им. А. Н. Косыгина; пред. редкол. К. И. Кобраков. – Москва, 2005. – С. 50–51.
- 88-А. Чукасова-Ильюшкина, Е. В. Технологический процесс подготовки коротковолокнистых отходов для получения многослойных материалов / Е. В. Чукасова-Ильюшкина, К. С. Матвеев, **Н. Н. Ясинская** // МНТК «Современные технологии и оборудование текстильной промышленности (ТЕКСТИЛЬ-2006)», Москва, 28–29 ноября 2006 г. / МГТУ им. А. Н. Косыгина; редкол.: К. И. Кобраков [и др.]. – Москва, 2006. – С. 32–33.
- 89-А. Чукасова-Ильюшкина, Е. В. Исследование процесса нанесения клея валиками при получении многослойного текстильного полотна / Е. В. Чукасова-Ильюшкина, **Н. Н. Ясинская**, А. Г. Коган // Тезисы докладов 40-й НТК преподавателей и студентов университета / УО «ВГТУ»; гл. ред. В. В. Пятов. – Витебск, 2007. – С. 77–78.
- 90-А. **Ясинская, Н. Н.** Новые технологии склеивания при формировании многослойных текстильных материалов / Н. Н. Ясинская, Е. Л. Зимица, Е. В. Чукасова-Ильюшкина // Тезисы докладов 42-й НТК преподавателей и студентов университета / УО «ВГТУ»; гл. ред. В. В. Пятов. – Витебск, 2009. – С. 123.
- 91-А. **Ясинская, Н. Н.** Заключительная отделка текстильных настенных покрытий / Н. Н. Ясинская // Тезисы докладов 42-й НТК преподавателей и студентов университета / УО «ВГТУ»; гл. ред. В. В. Пятов. – Витебск, 2009. – С. 177–178.
- 92-А. Базеко, В. В. Исследование процесса аппретирования подкладочных тканей из химических нитей / В. В. Базеко, **Н. Н. Ясинская**, А. Г. Коган // МНТК «Современные технологии и оборудование текстильной промышленности» (Текстиль-2010) : тезисы докладов, Москва, 23–24 ноября 2010 г. / ФГБОУ ВПО «МГТУ им. А. Н. Косыгина». – Москва, 2010. – С. 101–102.
- 93-А. Базеко, В. В. Технология получения новых видов декоративных композиционных текстильных материалов со специальными видами заключительной отделки / В. В. Базеко, **Н. Н. Ясинская** // «НИРС-2011» : сборник тезисов докладов Республиканской научной конференции студентов и аспирантов высших учебных заведений Республики Беларусь,

- Минск, 18 октября 2011 г. / БГУ, БНТУ, УО «БГАТУ», УО «БГТУ», УО «БГУИР», УО «БГУКИ», УО «ВГТУ». – Минск, 2011. – С. 312.
- 94-А. Ермакович, В. С. Экспериментальные исследования технологии заключительной отделки новых видов композиционных текстильных материалов декоративного назначения / В. С. Ермакович, **Н. Н. Ясинская**, А. Г. Коган // «НИРС-2011»: сборник тезисов докладов Республиканской научной конференции студентов и аспирантов высших учебных заведений Республики Беларусь, Минск, 18 октября 2011 г. / БГУ, БНТУ, УО «БГАТУ», УО «БГТУ», УО «БГУИР», УО «БГУКИ», УО «ВГТУ». – Минск, 2011. – С. 319–320.
- 95-А. Базеко, В. В. Определение показателя пылеемкости декоративных тканей со специальными видами заключительной отделки / В. В. Базеко, **Н. Н. Ясинская**, А. Г. Коган // Международная НТК «Современные технологии и оборудование текстильной промышленности» (Текстиль-2011): тезисы докладов, Москва, 29–30 ноября 2011 г. / ФГБОУ ВПО «МГТУ им. А.Н. Косыгина». – Москва, 2011. – С. 123–124.
- 96-А. Мурычева, В. В. Технология получения новых видов декоративных композиционных текстильных материалов со специальными видами заключительной отделки / В. В. Мурычева, **Н. Н. Ясинская**, А. Г. Коган // Тезисы докладов 44-й республиканской НТК преподавателей и студентов / УО «ВГТУ». – Витебск, 2011. – С. 158–159.
- 97-А. Бизюк, А. Н. Интенсификация процесса пропитки текстильных материалов с использованием энергии СВЧ / А. Н. Бизюк, С. В. Жерносек, В. И. Ольшанский, **Н. Н. Ясинская** // Материалы докладов 46-й республиканской НТК преподавателей и студентов, Витебск, 24 апреля 2013 г. / УО «ВГТУ». – Витебск, 2013. – С. 402–403.
- 98-А. Бизюк, А. Н. Компьютерное моделирование процессов пропитки текстильных материалов / А. Н. Бизюк, С. В. Жерносек, В. И. Ольшанский, **Н. Н. Ясинская** // Материалы докладов 46-й республиканской НТК преподавателей и студентов, Витебск, 24 апреля 2013 г. / УО «ВГТУ». – Витебск, 2013. – С. 149–150.
- 99-А. Базеко, В. В. Разработка технологии получения многослойных текстильных материалов / В. В. Базеко, **Н. Н. Ясинская** // Тезисы докладов МНТК «Дизайн, технологии и инновации в текстильной и легкой промышленности», 12–13 ноября 2013 г. – Москва: ФГБОУ ВПО «МГУДТ», 2013. – С. 28–29.
- 100-А. Башун, Д. А. Исследование адсорбции дисперсии стирол-акрилата в тканой основе при формировании композиционного материала / Д. А. Башун, **Н. Н. Ясинская**, В. В. Мурычева // Тезисы докладов 47-й МНТК

преподавателей и студентов, Витебск, 23 апреля 2014 г. / УО «ВГТУ». – Витебск, 2014. – С. 145–146.

- 101-А. Бизюк, А. Н. Имитационное моделирование процесса адгезии в комбинированном текстильном материале / А. Н. Бизюк, **Н. Н. Ясинская** // Тезисы докладов 49-й МНТК преподавателей и студентов, Витебск, 20–21 апреля 2016 г. / УО «ВГТУ». – Витебск, 2016. – С. 104–105.

Патенты на изобретения

- 102-А. 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.
- 103-А. 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.
- 104-А. 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.
- 105-А. 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.
- 106-А. 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.
- 107-А. 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.
- 108-А. Настенное покрытие : пат. № 5436 Респ. Беларусь, МПК: В 32В 29/00 / Е. Л. Зимина **Н. Н. Ясинская**, Е. В. Чукасова-Ильющкина, А. Г. Коган; заявитель ВГТУ. – № и 20080567; заявл. 15.07.2008; опубл. 30.06.2009 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці / 2009. – № 3. – С. 201.

109-А. Настенное покрытие : пат. № 1554 Респ. Беларусь, МПК: В 32В 29/00 / **Н. Н. Ясинская**, А. Г. Коган; заявитель ВГТУ. – № и 20030551; заявл. 30.12.2003; опубл. 01.06.2004 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці / 2004. – № 3. – С. 201.

Экспериментальное исследование диаметра и расчет объемной плотности текстильных нитей

Определение диаметра пряжи и нитей цифровым методом

Диаметр пряжи определялся с помощью микроскопа и цифровой фотокамеры. Цифровые снимки пряжи или нити обрабатывались в графическом редакторе с целью определения процента площади снимка, занимаемой пряжей (нитью). Для этого снимок преобразовывался в двухцветный режим, где фон снимка был покрашен черным цветом а пряжа – белым. Пример преобразования представлен на рисунке А.1.

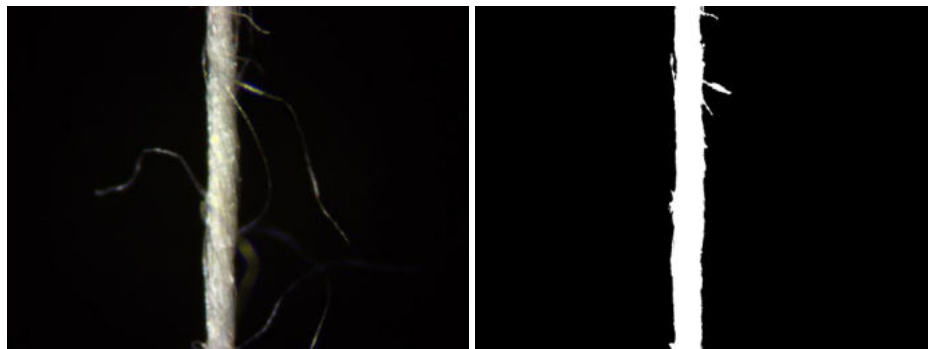


Рисунок А.1. – Преобразование цифрового снимка с целью определения диаметра пряжи

Используя данные о процентном соотношении цветов на изображении и зная размеры и масштаб изображения, который определялся путем получения снимка измерительной линейки при идентичном увеличении, вычисляется средний диаметр пряжи. Для каждого вида пряжи осуществлялось 10 измерений и результаты усреднялись.

Общая последовательность всех измерительных операций для цифрового метода:

- формирование пробы;
- получение цифрового изображения;
- обработка изображения пробы;
- определение диаметра.

Результаты экспериментальных значений диаметра текстильных нитей и регрессионный анализ проведенны в системе компьютерной алгебры Maple.

Программа расчета объемной плотности текстильных нитей

```
restart; with(plots); with(Statistics);
```

Диаметр пряжи и нитей

```
CottonT := [.17, .19, 13.4, 14.8, 15.9, 16.2, 17.3, 18.3, 20.5, 23.7, 31.3, 38.6, 44.7, 49.4, 65.7, 83.6, 85.7, 98.5];
```

```
CottonD := [0.169e-1, 0.1738e-1, .2009, .1717, .2375, .2393, .2401, .2585, .2606, .2631, .2771, .2803, .3389, .3273, .3312, .3551, .3922, .4447];
```

```
LinenT := [0, 55.8, 85.6, 123.9, 125.3, 129.5, 142.7, 158.2, 187.4, 210.6, 221.4, 317.8, 330.2];
```

```
LinenD := [0, .3158, .4023, .4738, .4721, .4797, .4992, .5556, .6570, .7622, .7590, .8405, .8613];
```

```
ViscoseT := [193.9, 242.1, 387.6, 438.7, 561.3];
```

```
ViscoseD := [.649, .748, .894, .912, .967];
```

```
PolyamedT := [194.7, 290.6, 344.2, 381.8, 685.3];
```

```
PolyamedD := [.760, .917, .985, 1.109, 1.184];
```

```
CottonResult := Fit(0.357e-1*sqrt(T/s), CottonT, CottonD, T, initialvalues = [s = 0.1e-1], output = solutionmodule);
```

>

```
LinenResult := Fit(0.357e-1*sqrt(T/s), LinenT, LinenD, T, initialvalues = [s = 0.1e-1], output = solutionmodule);
```

```
ViscoseResult := Fit(0.357e-1*sqrt(T/s), ViscoseT, ViscoseD, T, initialvalues = [s = 0.1e-1], output = solutionmodule);
```

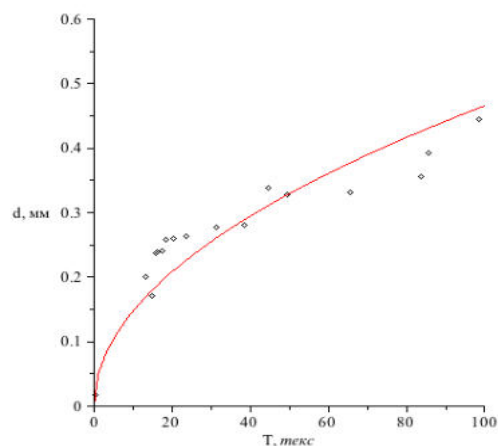
>

```
PolyamedResult := Fit(0.357e-1*sqrt(T/s), PolyamedT, PolyamedD, T, initialvalues = [s = 0.1e-1], output = solutionmodule);
```

>

CottonResult:-Results();

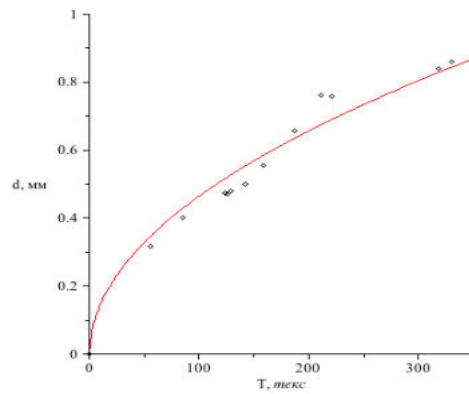
```
display(pointplot(CottonT, CottonD, view = [0 .. 100, 0 .. .6]), plot(CottonResult:-Results("leastsquaresfunction"), T = 0 .. 100)); s = CottonResult:-Results("parametervector")[1];
```



s = .587271070670610

```
display(pointplot(LinenT, LinenD, view = [0 .. 350, 0 .. 1.0]), plot(LinenResult:-Results("leastsquaresfunction"), T = 0 .. 350));
```

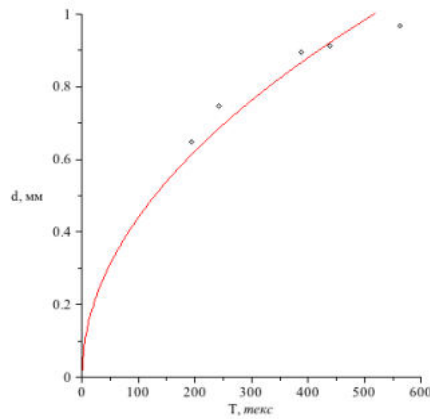
```
s = LinenResult:-Results("parametervector")[1];
```



$$s = .670369389651263$$

`display(pointplot(ViscoseT, ViscoseD, view = [0 .. 600, 0 .. 1]), plot(ViscoseResult:-Results("leastquaresfunction"), T = 0 .. 600));`

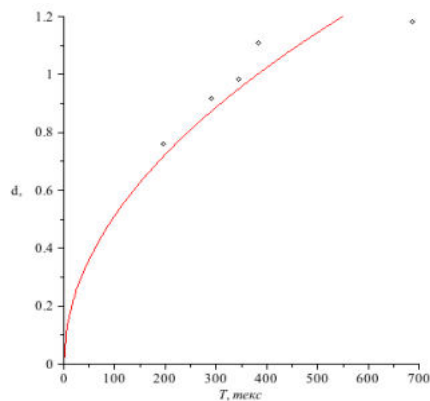
`s = ViscoseResult:-Results("parametervector")[1];`



$$s = .657491946875075$$

`display(pointplot(PolyamedT, PolyamedD, view = [0 .. 700, 0 .. 1.2]), plot(PolyamedResult:-Results("leastquaresfunction"), T = 0 .. 700));`

`s = PolyamedResult:-Results("parametervector")[1];`



$$s = .485481879490365$$

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Акт о внедрении в учебный процесс программы моделирования капиллярно-пористой структуры текстильных материалов

Учреждение образования «Витебский государственный технологический университет»



АКТ

о внедрении результатов НИОКР в учебный процесс

Настоящий акт составлен об использовании в учебном процессе разработки
Программный продукт «Расчет пористости текстильных материалов (пряжи, комплексных химических нитей, ткани)»

(наименование разработки, объекта внедрения)

выполненной по теме НИР «Энергоэффективные технологии жидкостной обработки волокистых материалов, интенсификации процессов их сушки и термической обработки с применением ультразвукового кавитационного воздействия» и рамках программы ГПНИ «Энергетические системы, процессы и технологии» подпрограмма «Эффективные теплофизические процессы и технологии»

(наименование и № НИР, номер государственной)

Разработка использована в учебном процессе кафедры «Экология и химические технологии», «Технология текстильных материалов» с ноября 2018 г.

Разработка используется в курсе лекций «Оборудование и химические технологии текстильных материалов», в лабораторных работах курса «Материаловедение»

(в процессе выполнения лабораторных, курсовых, дипломных работ и др.)

и позволяет повысить уровень учебного процесса

(указать эффективность внедрения)

Описание объекта внедрения прилагается и является неотъемлемой частью Акта.

Зав. кафедрой ЭиХТ
 Зав. кафедрой ТТМ
 Руководитель темы
 Исполнитель

Начальник УМО

_____	к.т.н., доц. Яценювая Н.Н.
_____	д.т.н., проф. Рыжков Д.Б.
_____	к.т.н., доц. Яценювая Н.Н.
_____	ст. пр. Бизюк А.Н.
_____	к.т.н., доц. Скобова Н.Е.
_____	асп. Кульнев А.А.
_____	Петухов В.В.

Экспериментальное исследование капиллярно-пористой структуры текстильных материалов

Методика определения кажущейся пористости текстильных нитей

Определение кажущейся пористости текстильных материалов из натуральных и химических волокон проводили методом заполнения капиллярных пространств образца дистиллированной водой.

Подготовка образца

Подготавливаются образцы пряжи (нити) длиной 1 м, подвергаются щелочной отварке в течение 20 минут. После отварки образцы промывают и высушивают в сушильном шкафу при температуре 110-115 °С до полного высыхания. Далее образцы выдерживаются в климатических условиях не менее 24 ч [156, 157].

Пропитка образца

Объект исследования взвешивают на лабораторных аналитических весах, точность 0,0001г и записывают результат измерения. Затем помещают в емкость с дистиллированной водой и пропитывают в течение 60 мин.

Высушивание в естественных условиях и построение кривой сушки

После пропитки, исследуемые образцы подвешивались на штатив, установленный на лабораторные аналитические весы точность 0,0001г, высушивались в естественных условиях. Показания весов снимались каждые 30 секунд и записывались в таблицу для построения кривых сушки.

Измерения проводились при температуре воздуха 22 °С и относительной влажности 60%.

По полученным данным с использованием программного математического пакета Maple построены кривые сушки. Анализируя кривые сушки, были найдены точки перехода первого периода (удаление массы влаги намокания – механически связанной влаги) сушки во второй период (удаление влаги из макро- и микропор). Зная точку перехода первого периода во второй и влажность материала в этот момент времени ($W_{крит}$), рассчитывалась кажущаяся пористость волокнистого материала по формуле:

$$P_k = \frac{V_{воды}}{V_0} \cdot 100\%$$

где $V_{воды}$ – объем воды, находящейся в капиллярах и порах волокнистого материала, соответствующий критической влажности $W_{крит}$, см³;

V_0 – объем сухого образца, см³.

При расчетах использовались данные о плотностях материала и пропитывающей жидкости, приведенные в таблице В.1.

Таблица В.1. – Плотность используемых волокон и нитей

Вид волокна	Плотность вещества, кг/м ³	Средняя плотность, кг/м ³
Хлопковое	1520	900-1300
Льняное	1500	1400
Вискозная комплексная нить	1520	1000-1200
Полиамидная комплексная нить	1140	600-900
Вода	997	-

Программа для построения кривых сушки и расчета кажущейся пористости пряжи и нитей

```
restart; with(Statistics); with(plots);
```

```
FirstPhase := proc (T, P) options operator, arrow; Fit(a0+a1*x, T, P, [x], initialvalues = [a0 = 0, a1 = 0], output = solutionmodule) end proc;
```

```
SecondPhase := proc (T, P) options operator, arrow; Fit(a1*exp(a2*x)+a3, T, P, [x], initialvalues = [a1 = 0, a2 = 0, a3 = 0], output = solutionmodule, method = modifiednewton) end proc;
```

```
DryCurve := proc (T, P, c) local T2, P2, T3, P3, FirstPhaseResult, SecondPhaseResult, v; T2 := select(verify, T, c, ('truefalse')('less_equal')); P2 := [seq(P[op(select(proc (i) options operator, arrow; T[i] = T2[k] end proc, ['$`'(1 .. nops(T))))]), k = 1 .. nops(T2))]; if nops(T2) = 1 then T2 := [T2[1], T2[1]]; P2 := [P2[1], P2[1]] end if; T3 := select(verify, T, c, ('truefalse')('greater_than')); P3 := [seq(P[op(select(proc (i) options operator, arrow; T[i] = T3[k] end proc, ['$`'(1 .. nops(T))))]), k = 1 .. nops(T3))]; if nops(T3) = 1 then T3 := [T3[1], T3[1]]; P3 := [P3[1], P3[1]] end if; FirstPhaseResult := FirstPhase(T2, P2); v := evalf(eval(FirstPhaseResult:-Results("leastquaresfunction"), x = c)); T3 := [seq(c, i = 1 .. 20), op(T3)]; P3 := [seq(v, i = 1 .. 20), op(P3)]; T4 := [op(T4), seq(T3[nops(T3)], i = 1 .. 20)]; P4 := [op(P4), seq(P3[nops(P3)], i = 1 .. 20)]; try T4 := T3; P4 := P3; SecondPhaseResult := SecondPhase(T4, P4); result := [FirstPhaseResult:-Results("leastquaresfunction"), SecondPhaseResult:-Results("leastquaresfunction"), FirstPhaseResult:-Results("residualmeansquare")+SecondPhaseResult:-Results("residualmeansquare"), T4[nops(T4)]] catch: result := [FirstPhaseResult:-Results("leastquaresfunction"), 0, 99999999, T4[nops(T4)]] end try; result end proc;
```

```
Warning, `T4` is implicitly declared local to procedure `DryCurve`
```

```
Warning, `P4` is implicitly declared local to procedure `DryCurve`
```

```
Warning, `result` is implicitly declared local to procedure `DryCurve`
```

```
DryCurveResidual := proc (T, P, x) options operator, arrow; DryCurve(T, P, x)[3] end proc;
```

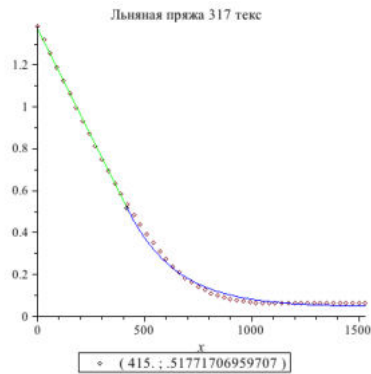
```
FitDryCurveDichotomy := proc (T, P) local d, a, b, c, x1, x2, y1, y2, x, y, i; d := .1; a := min(T)+d; b := max(T)-d; x := a; y := DryCurveResidual(T, P, x); for i while 3*d < abs(b-a) do c := (1/2)*a+(1/2)*b; x1 := c-d; x2 := c+d; y1 := DryCurveResidual(T, P, x1); y2 := DryCurveResidual(T, P, x2); if y1 < y2 then b := x2; x := x1; y := y1 else a := x1; x := x2; y := y2 end if end do; [x, DryCurve(T, P, x)] end proc;
```

```
FitDryCurveComplete := proc (T, P) local d, a, b, x, y, i, minx, miny; d := 5; a := min(T)+d; b := max(T)-d; minx := a; miny := DryCurveResidual(T, P, minx); x := a; for i while x <= b do x := x+d; y := DryCurveResidual(T, P, x); if y < miny then miny := y; minx := x end if end do; [minx, DryCurve(T, P, minx)] end proc;
```


0.06322675000195632, 0.06322675000195632, 0.06322675000195632, 0.06322675000195632,
 0.06322675000195632, 0.06322675000195632, 0.06322675000195632, 0.06322675000195632,
 0.06322675000195632]

Porosity := [1.385, 1.321, 1.256, 1.190, 1.126, 1.064, 0.9983, 0.9346, 0.8751, 0.8134, 0.7518, 0.6944,
 0.6349, 0.5839, 0.5329, 0.4840, 0.4373, 0.3926, 0.3501, 0.3098, 0.2736, 0.2396, 0.2120, 0.1844,
 0.1631, 0.1397, 0.1270, 0.1100, 0.09936, 0.09298, 0.08448, 0.07810, 0.07385, 0.06748, 0.06535,
 0.06323, 0.06323, 0.06323, 0.06323, 0.06323, 0.06323, 0.06323, 0.06323, 0.06323, 0.06323,
 0.06323, 0.06323, 0.06323, 0.06323, 0.06323, 0.06323]

result := [415., [1.37740857142857 - 0.00207154578754579 x, 2.93\060993749001 exp(-
 0.00437053284190917 x) + 0.0450483499475522, 0.000223682644296336, 1530.0]]



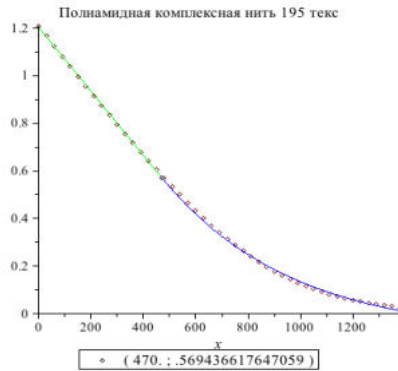
Name := "Полиамид 195 текс"

Time := [0., 30.0, 60.0, 90.0, 120.0, 150.0, 180.0, 210.0, 240.0, 270.0, 300.0, 330.0, 360.0, 390.0,
 420.0, 450.0, 480.0, 510.0, 540.0, 570.0, 600.0, 630.0, 660.0, 690.0, 720.0, 750.0, 780.0, 810.0, 840.0,
 870.0, 900.0, 930.0, 960.0, 990.0, 1020.0, 1050.0, 1080.0, 1110.0, 1140.0, 1170.0, 1200.0, 1230.0,
 1260.0, 1290.0, 1320.0, 1350.0, 1380.0]

Porosity := [1.2101059473331646, 1.1684659690521633, 1.126825990771162,
 1.0807122958153426, 1.034598600859523, 0.9946792828380671, 0.9547599648166114,
 0.9138082506394285, 0.8728565364622453, 0.8291517658697892, 0.7854469952773333,
 0.7451835452039685, 0.7049200951306036, 0.6629359847976933, 0.6223284026724192,
 0.581032556443327, 0.5404249743180531, 0.49981739219277915, 0.45989807417132345,
 0.4220435484613222, 0.384189022751321, 0.3463344970413198, 0.31192129185040973,
 0.2499775225067714, 0.22726480708077074, 0.20111077113567902, 0.17564499929440544,
 0.15293228386840477, 0.12746651202713127, 0.10406553249731236, 0.07997628886367524,
 0.06139315806058379, 0.03936870673840124, 0.02560342466203716, 0.02560342466203716,
 0.02560342466203716, 0.02560342466203716, 0.02560342466203716, 0.02560342466203716,
 0.02560342466203716, 0.02560342466203716, 0.02560342466203716, 0.02560342466203716]

Porosity := [1.210, 1.168, 1.125, 1.081, 1.038, 0.9963, 0.9550, 0.9143, 0.8740, 0.8340, 0.7947,
 0.7557, 0.7173, 0.6793, 0.6420, 0.6053, 0.5693, 0.5340, 0.4997, 0.4660, 0.4330, 0.4013, 0.3710,
 0.3423, 0.3146, 0.2883, 0.2633, 0.2397, 0.2175, 0.1968, 0.1776, 0.1598, 0.1435, 0.1285, 0.1149,
 0.1026, 0.09150, 0.08150, 0.07257, 0.06453, 0.05737, 0.05093, 0.04513, 0.03983, 0.03487, 0.03018,
 0.02560]

result := [470., [1.20236764705882 - 0.00134666176470588 x, 1.72\412121915308 exp(-
 0.00202303264510701 x) - 0.0936537551298872, 0.0000850786258805046, 1380.0]]



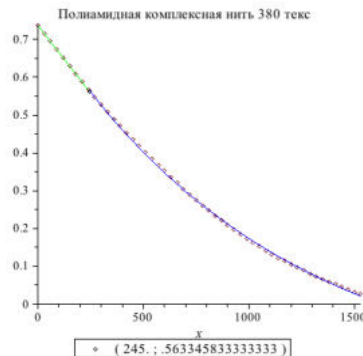
Name := "Полиамид 380 текс"

Time := [0., 30.0, 60.0, 90.0, 120.0, 150.0, 180.0, 210.0, 240.0, 270.0, 300.0, 330.0, 360.0, 390.0, 420.0, 450.0, 480.0, 510.0, 540.0, 570.0, 600.0, 630.0, 660.0, 690.0, 720.0, 750.0, 780.0, 810.0, 840.0, 870.0, 900.0, 930.0, 960.0, 990.0, 1020.0, 1050.0, 1080.0, 1110.0, 1140.0, 1170.0, 1200.0]

Porosity := [0.7373676445958688, 0.7164658841351049, 0.695210495221115, 0.6738159738009379, 0.652325798782757, 0.6307370715726932, 0.6090874738911726, 0.587472659336199, 0.5660317604139593, 0.5448517349408208, 0.5239064955718736, 0.5030800985519611, 0.48229428184635326, 0.46160122014487076, 0.44114294454757885, 0.4210238044341188, 0.40120611808406437, 0.38155075299122826, 0.36190698227390794, 0.34220813827288854, 0.3224571195820489, 0.3026974051095725, 0.28295798079424855, 0.2632475424177135, 0.24354000263505746, 0.2237918825380966, 0.2039655004064056, 0.18408694358489433, 0.16427795301647657, 0.14479650355637477, 0.1260165138149674, 0.10840755600063648, 0.09238992622582283, 0.07823609231514338, 0.06598373598902384, 0.05554589943109703, 0.04681533466784346, 0.03975146138495874, 0.03433398942529051, 0.030481758160229456, 0.02800635898764698, 0.02660633814413723]

Porosity := [0.7374, 0.7163, 0.6953, 0.6737, 0.6523, 0.6307, 0.6093, 0.5880, 0.5673, 0.5470, 0.5273, 0.5080, 0.4893, 0.4710, 0.4530, 0.4353, 0.4180, 0.4010, 0.3843, 0.3677, 0.3517, 0.3357, 0.3202, 0.3050, 0.2901, 0.2756, 0.2615, 0.2478, 0.2345, 0.2216, 0.2091, 0.1970, 0.1853, 0.1739, 0.1629, 0.1523, 0.1421, 0.1323, 0.1229, 0.1139, 0.1053, 0.09707, 0.08903, 0.08130, 0.07377, 0.06647, 0.05937, 0.05240, 0.04557, 0.03887, 0.03221, 0.02560]

result := [245., [0.737608888888889 - 0.000711277777777780 x, 0.988903849840708 exp(-0.000896452450144703 x) - 0.229503859553598, 0.00000670302477079361, 1530.0]]



Name := "Вискоза 195 текс"

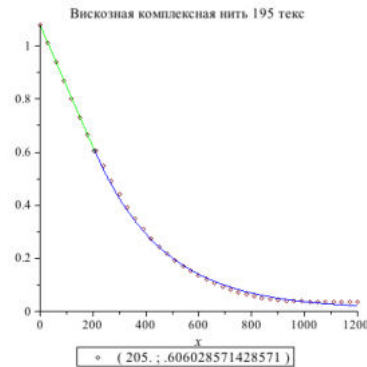
Time := [0., 30.0, 60.0, 90.0, 120.0, 150.0, 180.0, 210.0, 240.0, 270.0, 300.0, 330.0, 360.0, 390.0, 420.0, 450.0, 480.0, 510.0, 540.0, 570.0, 600.0, 630.0, 660.0, 690.0, 720.0, 750.0, 780.0, 810.0, 840.0, 870.0, 900.0, 930.0, 960.0, 990.0, 1020.0, 1050.0, 1080.0, 1110.0, 1140.0, 1170.0, 1200.0]

Porosity := [1.0792503358748513, 1.0148143267837622, 0.9503783176926729, 0.8743227004048297, 0.7982670831169867, 0.7137608416860498, 0.6387615524160934, 0.5880578075575313, 0.545804686842063, 0.48348133378674707, 0.4348902449639585, 0.3862991561411697, 0.32714478713951406, 0.27432838624517847, 0.2563708099411045, 0.2357724135923137, 0.2151740172435228, 0.18770948877846827, 0.16447027238496073, 0.14545636806299986, 0.1285551197768126, 0.11271019950851194, 0.10003426329387136,

0.08841465509711766, 0.07890770293613714, 0.06940075077515676, 0.06095012663206313,
 0.053555830506856104, 0.046161534381649216, 0.04087989429221566, 0.03665458222066884,
 0.03665458222066884, 0.03665458222066884, 0.03665458222066884, 0.03665458222066884,
 0.03665458222066884, 0.03665458222066884, 0.03665458222066884, 0.03665458222066884,
 0.03665458222066884, 0.03665458222066884]

Porosity := [1.079, 1.010, 0.9397, 0.8693, 0.8000, 0.7317, 0.6663, 0.6047, 0.5467, 0.4917, 0.4403,
 0.3923, 0.3483, 0.3087, 0.2739, 0.2436, 0.2170, 0.1933, 0.1719, 0.1525, 0.1350, 0.1194, 0.1055,
 0.09320, 0.08227, 0.07263, 0.06417, 0.05690, 0.05087, 0.04600, 0.04240, 0.03987, 0.03830, 0.03740,
 0.03697, 0.03677, 0.03670, 0.03667, 0.03667, 0.03667, 0.03665]

result := [205., [1.07811428571429 - 0.00230285714285714 x, 1.31\970122902615 exp(-
 0.00384141838588422 x) + 0.00803403882934797, 0.0000566277326942855, 1200.0]]



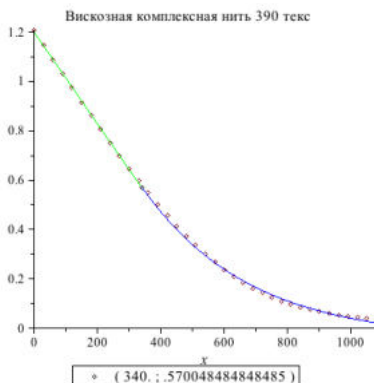
Name := "Вискоза 390 текс"

Time := [0., 30.0, 60.0, 90.0, 120.0, 150.0, 180.0, 210.0, 240.0, 270.0, 300.0, 330.0, 360.0, 390.0,
 420.0, 450.0, 480.0, 510.0, 540.0, 570.0, 600.0, 630.0, 660.0, 690.0, 720.0, 750.0, 780.0, 810.0, 840.0,
 870.0, 900.0, 930.0, 960.0, 990.0, 1020.0, 1050.0, 1080.0]

Porosity := [1.2072021790169967, 1.1404730091177255, 1.0785102084969738,
 1.021313777154741, 0.9665005304517679, 0.911687283748795, 0.8544908524065625,
 0.7972944210643299, 0.735331620443578, 0.6733688198228259, 0.6090228345628143,
 0.5470600339420623, 0.48748041796056996, 0.4302839866183374, 0.3730875552761047,
 0.31827430857313194, 0.2658442465094187, 0.22056373836348456, 0.17766641485681003,
 0.14668501454643398, 0.11808679887531767, 0.0966381371219805, 0.077572660007903,
 0.060890367533085174, 0.04659125969752702, 0.03467533650122855, 0.03467533650122855,
 0.03467533650122855, 0.03467533650122855, 0.03467533650122855, 0.03467533650122855,
 0.03467533650122855, 0.03467533650122855, 0.03467533650122855, 0.03467533650122855,
 0.03467533650122855, 0.03467533650122855]

Porosity := [1.207, 1.147, 1.088, 1.030, 0.9733, 0.9170, 0.8613, 0.8067, 0.7523, 0.6990, 0.6473,
 0.5970, 0.5483, 0.5013, 0.4563, 0.4137, 0.3737, 0.3357, 0.3004, 0.2676, 0.2374, 0.2098, 0.1849,
 0.1625, 0.1426, 0.1250, 0.1096, 0.09620, 0.08467, 0.07477, 0.06633, 0.05917, 0.05303, 0.04770,
 0.04303, 0.03877, 0.03468]

result := [340., [1.199100000000000 - 0.00185015151515151 x, 1.70\555916331383 exp(-
 0.00298045161550518 x) - 0.0467632790739537, 0.0000782303122554529, 1080.0]]

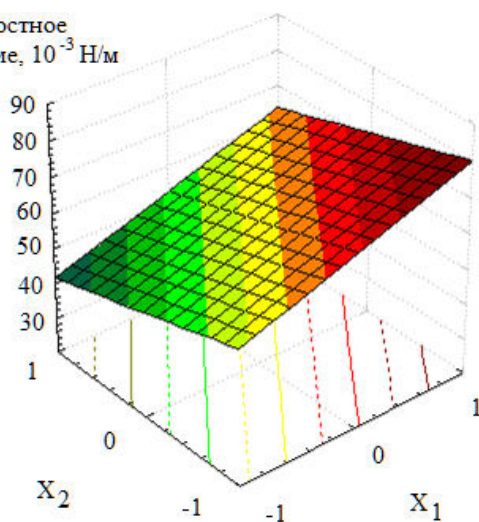


ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СВОЙСТВ ПОЛИМЕРНЫХ СВЯЗУЮЩИХ

Таблица Г.1 – Исследование вязкости, поверхностного натяжения и краевого угла смачивания для дисперсии стирол-акрилата

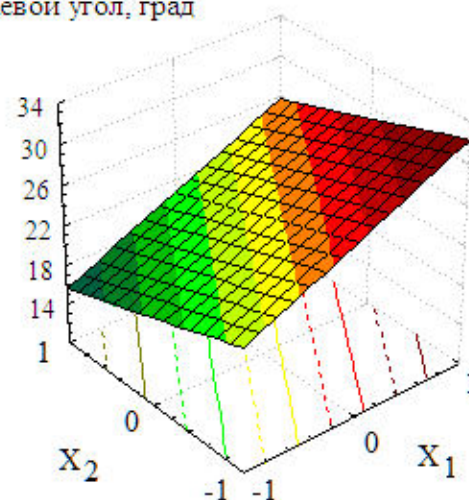
Наименование фактора	Обозначение	Уровни варьирования			Интервал варьирования
		-1	0	+1	
Концентрация стирол-акрилата, г/л	X_1	100	300	500	200
Температура пропитки, °С	X_2	20	40	60	20

Поверхностное натяжение, 10^{-3} Н/м



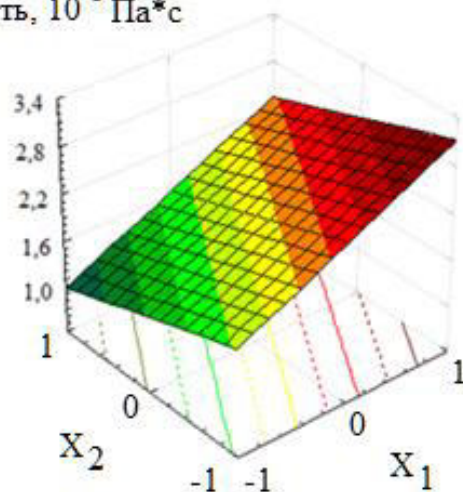
(a)

Краевой угол, град



(б)

Вязкость, 10^{-3} Па*с



(в)

Рисунок Г.1. – Зависимость поверхностного натяжения (а), краевого угла смачивания (б) и вязкости (в) полимерной композиции от концентрации стирол-акрилата и температуры пропитки

Таблица Г.2 – Исследование зависимости вязкости, поверхностного натяжения и краевого угла смачивания для поливинилового спирта

Наименование фактора	Обозначение	Уровни варьирования			Интервал варьирования
		-1	0	+1	
Концентрация ПВС, %	X ₁	4	8	12	4
Температура раствора ПВС, °С	X ₂	20	40	60	20

Таблица Г.3 – План и результаты эксперимента для определения вязкости, поверхностного натяжения и краевого угла смачивания водного раствора поливинилового спирта

№	Кодированные значения		Натуральные значения		Вязкость, мПа с	Поверхностное натяжение, мН/м	Краевой угол смачивания, град
	X ₁	X ₂	с, %	t, °С			
1	1	1	12	60	160,3	63,2	32,2
2	-1	1	4	60	16,1	53,9	20,8
3	1	-1	12	20	337,4	70,5	41,1
4	-1	-1	4	20	17,2	62,4	33,5
5	1	0	12	40	240,3	68,5	37,3
6	-1	0	4	40	16,8	58,7	26,6
7	0	1	8	60	48,2	56,9	28,1
8	0	-1	8	20	153,2	64,7	38,9
9	0	0	8	40	121,8	61,2	34,3

Таблица Г.4 – Коэффициенты полиномиальных моделей и оценка их значимости

Показатель	Выходной параметр				
	Вязкость				
	A ₀	A ₁	A ₂	A ₁₂	A ₁₁
	107,7333	114,6500	-47,0000	-44,0000	23,61667
P-level	0,0001	0,0000	0,0004	0,0011	0,03222
Стандартная ошибка	5,9849	4,2320	4,2320	5,1831	7,32996
Критерий Стьюдента	18,0009	27,0915	-11,1532	-8,4892	3,22194
F-тест Фишера	914,5176				
Коэффициент детерминации R ²	0,99788				
	Поверхностное натяжение				
	A ₀	A ₁	A ₂	A ₁₁	
	60,9333	4,53333	-3,9333	1,933333	
P-level	0,0000	0,00002	0,00000	0,011677	
Стандартная ошибка	0,4072	0,28790	0,2879	0,498665	
Критерий	149,6552	15,74597	-13,6619	3,877019	

Стьюдента					
F-тест Фишера	17628,04				
Коэффициент детерминации R^2	0,99449				
Угол смачивания					
	A_0	A_1	A_2	A_{12}	A_{11}
	33,7667	4,95000	-5,4000	0,950000	-1,85000
P-level	0,0000	0,00001	0,00000	0,016354	0,00538
Стандартная ошибка	0,2754	0,19472	0,1947	0,238485	0,33727
Критерий Стьюдента	122,6191	25,42085	-27,7318	3,983482	-5,48524
F-тест Фишера	8666,541				
Коэффициент детерминации R^2	0,99863				

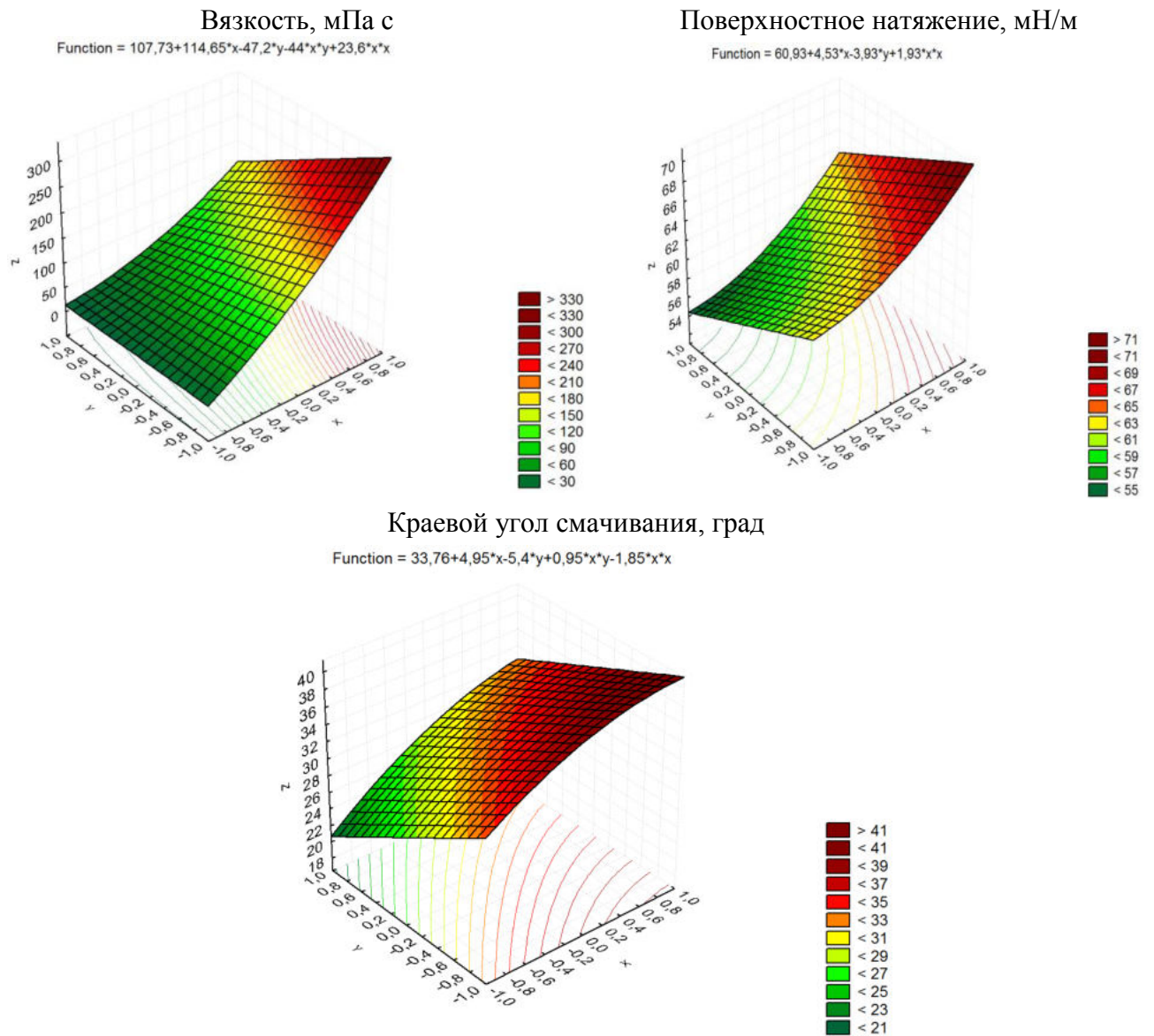


Рисунок Г.2 – Зависимость вязкости, поверхностного натяжения и краевого угла смачивания поливинилового спирта от концентрации и температуры

Таблица Г.5 – Исследование зависимости вязкости, поверхностного натяжения и краевого угла смачивания для поливинилацетатной дисперсии

Наименование фактора	Обозначение	Уровни варьирования			Интервал варьирования
		-1	0	+1	
Концентрация ПВА, %	X ₁	100	200	300	100
Температура раствора ПВА, °С	X ₂	20	40	60	20

Таблица Г.6 – План и результаты эксперимента для определения вязкости полимерной композиции (водная дисперсия ПВА)

№	Кодированные значения		Натуральные значения		Вязкость, мПа с	Поверхностное натяжение, мН/м	Краевой угол смачивания, град
	X ₁	X ₂	c, %	t, С ⁰			
1	1	1	300	60	2,1	54,1	28,7
2	-1	1	100	60	1,6	51,4	21,8
3	1	-1	300	20	3,1	61,9	31,4
4	-1	-1	100	20	2,1	56,8	27,3
5	1	0	300	40	2,7	57,4	30,6
6	-1	0	100	40	1,9	53,2	23,6
7	0	1	200	60	1,8	53,4	24,6
8	0	-1	200	20	2,8	58,6	29,1
9	0	0	200	40	2,4	56,1	26,4

Таблица Г.7 – Коэффициенты полиномиальных моделей и оценка их значимости

Показатель	Выходной параметр		
	Поверхностное натяжение		
	A ₀	A ₁	A ₂
	55,8778	2,0000	-3,0667
P-level	0,0000	0,000443	0,0000
Стандартная ошибка	0,2353	0,288140	0,2881
Критерий Стьюдента	237,5096	6,941069	-10,6430
F-тест Фишера	18857,42		
Коэффициент детерминации R ²	0,98192		
	Вязкость		
	A ₀	A ₁	A ₂
	2,27778	0,38333	-0,41667
P-level	0,0000	0,000470	0,00030
Стандартная ошибка	0,04559	0,055833	0,05583
Критерий Стьюдента	49,96533	6,865757	-7,46278
F-тест Фишера	866,4554		

Коэффициент детерминации R^2	0,97204		
Угол смачивания			
	A_0	A_1	A_2
	27,0556	3,0000	-2,11667
P-level	0,0000	0,000073	0,00051
Стандартная ошибка	0,2553	0,312719	0,31272
Критерий Стьюдента	105,9614	9,593275	-6,76859
F-тест Фишера	3788,555		
Коэффициент детерминации R^2	0,97892		

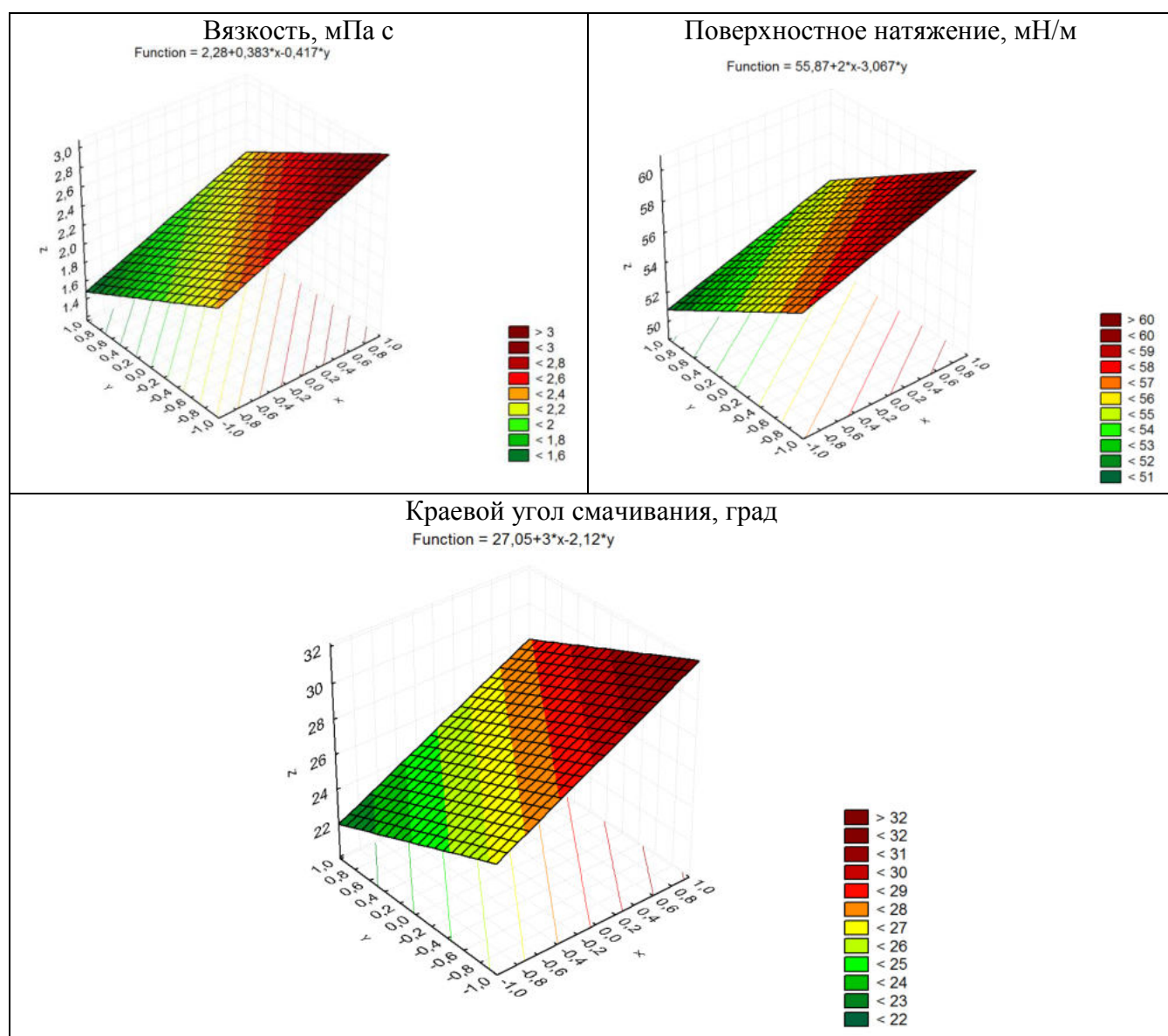


Рисунок Г.3 – Зависимость вязкости, поверхностного натяжения и краевого угла смачивания поливинилацетатной дисперсии от концентрации и температуры

РАСЧЕТ ПРОЧНОСТИ АДГЕЗИОННОГО СОЕДИНЕНИЯ

Программа для исследования зависимости прочности адгезионного соединения от ворсистости ткани и глубины проникновения полимерного связующего

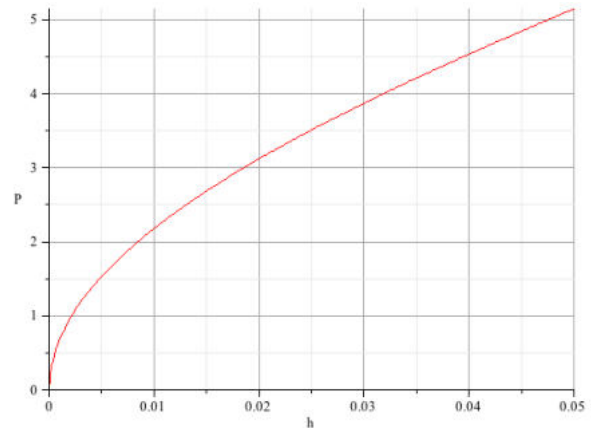
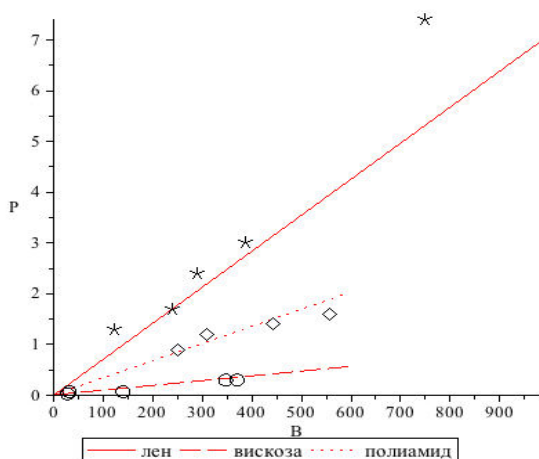
```

restart; with(plots);
B := 860; Rb := 21.6; L := 50; r := 0.75e-1; h := 0.32e-1; l := .3; R := l^2/(16*r);
R := 0.7500000000e-1
P=2*B*Rb*r^2*arccos((r-h)/r)/L-(2*(r-h))*sqrt(2*r*h-h^2)+R^2*arccos((R-h)/R)-(R-h)*sqrt(2*R*h-h^2);
P = 4.010842586

restart; with(plots);
Rb := 21.6; L := 50; r := .1; h := 0.32e-1; l := .3; R := l^2/(16*r);
R := 0.05625000000
P=2*B*Rb*r^2*arccos((r-h)/r)/L-(2*(r-h))*sqrt(2*r*h-h^2)+R^2*arccos((R-h)/R)-(R-h)*sqrt(2*R*h-h^2);
P = 0.007111011100 B - 0.007642677061

f := proc (Rb, r) options operator, arrow; 2*B*Rb*r^2*arccos((r-h)/r)/L-(2*r-2*h)*sqrt(2*r*h-h^2)+R^2*arccos((R-h)/R)-(R-h)*sqrt(2*R*h-h^2) end proc;
display(plot([f(21.6, .1)], B = 0 .. 980, labels = ["B", "P"], legend = "лен" linestyle = solid),
plot([f(4.7, 0.7e-1)], B = 0 .. 600, labels = ["B", "P"], legend = "вискоза" linestyle = dash),
plot([f(28.0, 0.5e-1)], B = 0 .. 600, labels = ["B", "P"], legend = "полиамид", linestyle = dot),
pointplot([[122, 1.3], [240, 1.7], [290, 2.4], [386, 3.0], [748, 7.4]], symbol = asterisk, symbolsize = 20),
pointplot([[250, .9], [310, 1.2], [443, 1.4], [558, 1.6]], symbol = diamond, symbolsize = 20),
pointplot([[28, 0.3e-1], [32, 0.7e-1], [140, 0.7e-1], [347, .3], [370, .3]], symbol = circle, symbolsize = 20));
restart;
B := 860; Rb := 21.6; L := 50; r := 0.75e-1; l := .3; R := l^2/(16*r);
R := 0.07500000000
P=2*B*Rb*r^2*arccos((r-h)/r)/L-(2*(r-h))*sqrt(2*r*h-h^2)+R^2*arccos((R-h)/R)-(R-h)*sqrt(2*R*h-h^2);
plot([2*B*Rb*r^2*arccos((r-h)/r)/L-(2*(r-h))*sqrt(2*r*h-h^2)+R^2*arccos((R-h)/R)-(R-h)*sqrt(2*R*h-h^2)], h = 0 .. 0.5e-1, labels = ["h", "P"]);

```



> $\lambda := 0.11 * ((u/d2) + (68/RE)) ^ 0.25;$

$\lambda := 0.06165620616$

> $\xi := \text{evalf}(Kp * (1 - 0.5 * n) ^ 2) + ((\lambda / 8 * 0.2164) * (1 - (0.5 * n) ^ 2));$

$\xi := 0.5904768116$

> $V1 := vt / \xi ^ 0.5;$

$V1 := 26.02726728$

Оптимальный угол диффузора

> $qqq := (0.5 * (1 + (1 + (0.5 * \lambda * ((n+1) / (n-1)))) ^ 0.5));$

$\alpha_{opt} := \arccos(0.5 * (1 + (1 + (0.5 * \lambda * ((n+1) / (n-1)))) ^ 0.5));$

$qqq := 0.9913912638$

$\alpha_{opt} := 0.1313096825$

Давление сжатого воздуха в подводящей камере

> $P1 := V1 ^ 2 * 1.2 / 2;$

$P1 := 406.4511853$

Исследование влияния расхода клеевого связующего и волокнистого покрытия на качество ворсового покрытия

Таблица Е.1 – План и результаты эксперимента по определению зависимости качества ворсового покрытия от расхода клеевого связующего и волокнистого продукта

№	Кодированные значения		Натуральные значения		Потери массы волокнистого продукта	
	X ₁	X ₂	Расход связующего, г/м ²	Расход волокна, г/м ²	Δm _{эксп} , Г	Δm _{расч} , Г
1	1	1	190	150	2,75	2,56
2	-1	1	150	50	13,65	14,7
3	1	-1	190	150	0,70	0,57
4	-1	-1	150	50	3,50	3,0
5	1	0	190	100	1,40	1,28
6	-1	0	150	100	9,45	8,86
7	0	1	170	150	13,30	12,07
8	0	-1	170	50	4,15	4,96
9	0	0	170	100	9,10	8,51

Таблица Е.2 – Оценка значимости коэффициентов регрессионной модели

Показатель	Выходной параметр				
	Потери массы волокнистого продукта				
	A ₀	A ₁	A ₂	A ₁₂	A ₁₁
P-level	0,00047	0,00274	0,003471	0,03200	0,02595
Стандартная ошибка	0,81354	0,57526	0,57525	0,70454	0,99637
Критерий Стьюдента	10,46871	-6,59126	6,185646	-3,22905	-3,45419
F-тест Фишера	55,91157				
Коэффициент детерминации R ²	0,98				

Исследование процесса подготовки коротковолокнистых отходов в однородную волокнистую массу

Методика обработки результатов и построения на их основе диаграммы длин волокон в коротковолокнистых отходах [187]

Для оценки качества подготовки волокнистой смеси применялась следующая методика:

- из партии измельченных волокон производился отбор проб и деление на группы волокон;
- волокна группы распределялись по поверхности прозрачного бесцветного материала (предметное стекло) с фоновой контрастной подсветкой;
- производилась фотосъемка с увеличением поверхности с волокнами при помощи фотокамеры, совмещенной с микроскопом;
- полученная серия фотографий анализировалась.

В начале обработки серии снимков задавался образцовый относительный размер, позволяющий учесть кратность увеличения снимка и особенности аппаратуры, с помощью которой производилась съемка. Затем серия снимков загружалась в программу (пример снимка представлен на рисунке Е.1).

Ввод волокон осуществлялся в виде ломаной линии, с помощью узловых точек излома, которые задаются оператором, в результате визуального анализа снимка. После ввода каждой узловой точки в линии, на снимке отображается данная точка и связь с предыдущей точкой. Пример ввода изображен на рисунке Е.2. При вводе волокна сортируются на группы в отдельном массиве.

Разбиение на группы задается шагом штапельной диаграммы по обрабатываемой длине.

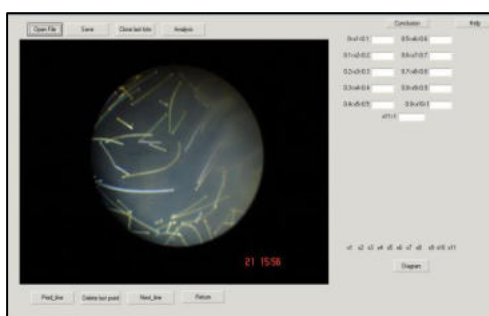


Рисунок Е.1 – Снимок волокон

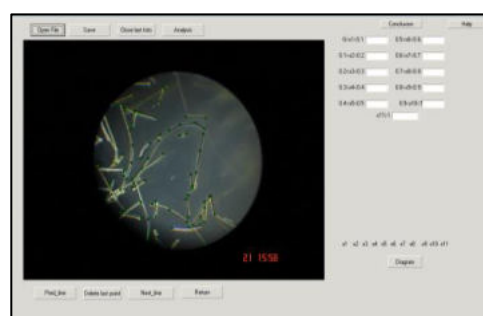


Рисунок Е.2 – Пример ввода линий

После окончания ввода производится выдача статистических данных для проверки степени использования каждого из изображений в серии (т.е. наличие неиспользованных снимков или снимков с неполной обработкой – отсутствие обработки по одному из цветов), что обусловлено произвольной последовательностью обработки снимков.

После этого производится обработка и систематизация информации и построение диаграмм, что представлено на рисунке Е.3.

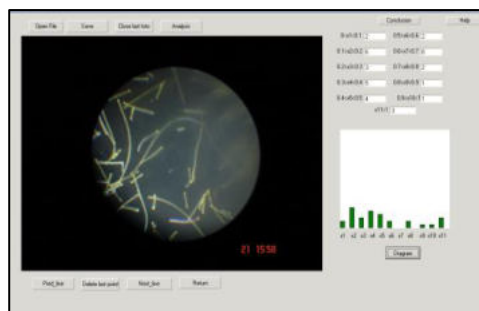


Рисунок Е.3 – Построение диаграммы

Диаграммы сохраняются в формате *.jpg, данные, содержащие структурированную информацию (дата проведения обработки, название файла-источника снимка, цвет, номер волокна данного цвета, длина волокна в относительных координатах), сохраняются в файле формата *.txt, что позволяет в дальнейшем формировать файл-отчет о проведенной обработке.

Таблица Е.3 – План и результаты эксперимента для волокнистой смеси с дробилки роторной ДР-185

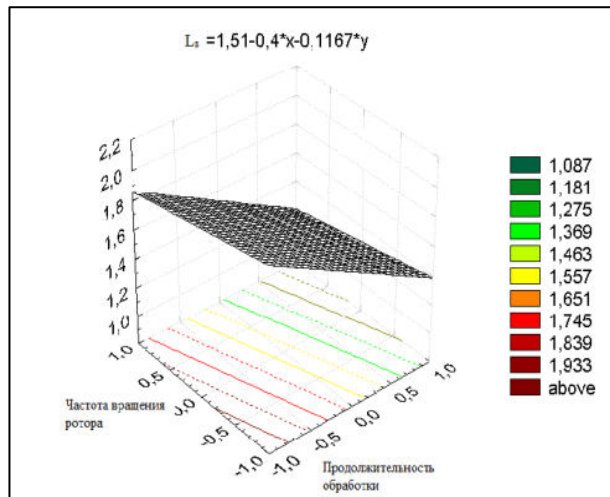
№	Кодированные значения		Натуральные значения		Средняя длина волокон, мм	Коэффициент вариации по длине, %	Доля спекшихся волокон, %
	X ₁	X ₂	X ₁ мин	X ₂ мин ⁻¹			
1	1	1	3	2500	1.0	4.1	8.97
2	-1	1	1	2500	1.8	6.0	6.01
3	1	-1	3	1500	1.2	4.5	7.32
4	-1	-1	1	1500	2.0	6.9	4.21
5	1	0	3	2000	1.1	4.1	8.02
6	-1	0	1	2000	1.9	6.0	4.95
7	0	1	2	2500	1.3	5.0	6.45
8	0	-1	2	1500	1.6	5.8	4.45
9	0	0	2	2000	1.7	5.1	5.65

Таблица Е.4 – Оценка значимости коэффициентов регрессионной модели

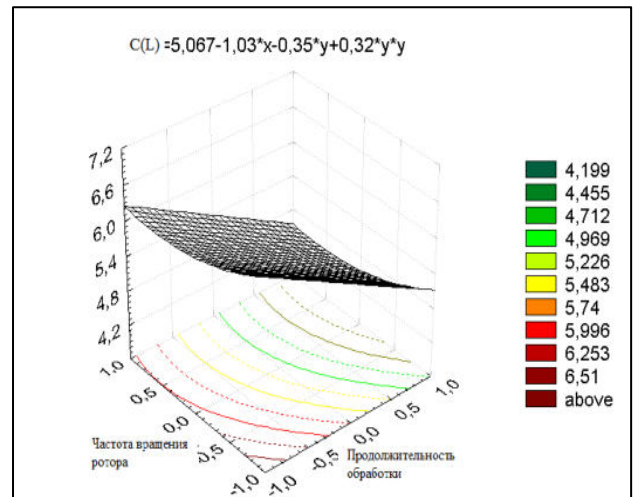
Показатель	Выходной параметр		
	Средняя длина волокон		
	A ₀	A ₁	A ₂
P-level	0,0000	0,0000	0,01811
Стандартная ошибка	0,02957	0,0362	0,03652
Критерий Стьюдента	51,09990	-11,0443	-3,22125
F-тест Фишера	914,5176		

Коэффициент детерминации R^2	0,97			
Коэффициент вариации по длине				
	A_0	A_1	A_2	A_{22}
P-level	0,0000	0,0000	0,00151	0,022008
Стандартная ошибка	0,07888	0,0558	0,05578	0,096609
Критерий Стьюдента	64,23172	-18,5260	-6,27495	3,277811
F-тест Фишера	3455,848			
Коэффициент детерминации R^2	0,99			
Доля спекшихся волокон				
	A_0	A_1	A_2	A_{11}
P-level	0,0000	0,0001	0,0023	0,0029
Стандартная ошибка	0,07527	0,05322	0,05322	0,09219
Критерий Стьюдента	73,29182	28,62126	17,06629	11,53460
F-тест Фишера	5441,551			
Коэффициент R^2	0,99			

Средняя длина волокон после измельчения



Коэффициент вариации по длине



Доля спекшихся волокон

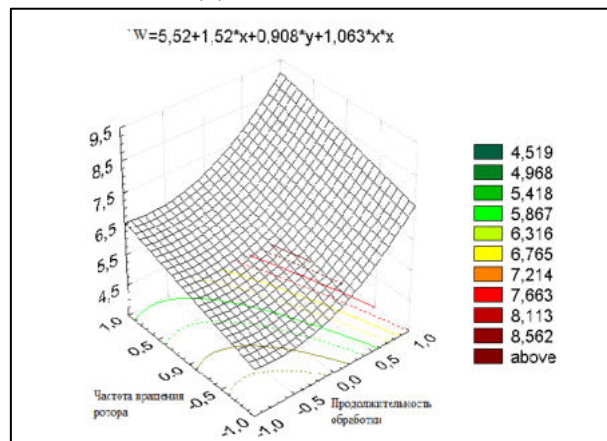


Рисунок Е.4 – Зависимость показателей качества подготовки волокнистых отходов от продолжительности обработки и частоты вращения ротора дробилки

Исследование зависимости поверхностной плотности слоистого ворсового материала и равномерности ворсового покрытия от скорости воздушно-волокнистого потока и расстояния между полотном основы и диффузором аэродинамического устройства.

Таблица Е.5 – План (матрица Коно) и результаты эксперимента

№	Кодированные значения		Натуральные значения		Поверхностная плотность, PP, г/м ²	Коэффициент вариации по поверхностной плотности, C _{VPP} , %
	X ₁ ,	X ₂ ,	X ₁ , Па	X ₂ , м		
1	1	1	200000	0,500	100	3
2	-1	1	100000	0,500	90	3,5
3	1	-1	200000	0,100	130	17
4	-1	-1	100000	0,100	100	16
5	1	0	200000	0,300	120	12
6	-1	0	100000	0,300	100	11
7	0	1	150000	0,500	150	1,5
8	0	-1	150000	0,100	140	15
9	0	0	150000	0,300	145	10

Таблица Е.6 – Оценка значимости коэффициентов регрессионной модели

Показатель	Выходной параметр				
Поверхностная плотность слоистого ворсового материала					
	A ₀	A ₁	A ₂	A ₁₁	A ₂₂
P-level	0,00000	0,004813	0,01324	0,0001	0,00080
Стандартная ошибка	2,1517	1,178511	1,17851	2,0412	2,0412
Критерий Стьюдента	67,3899	5,656854	-4,24264	-17,1464	-4,8990
F-тест Фишера	2930,200				
Коэффициент детерминации R ²	0,99				
Коэффициент вариации по поверхностной плотности					
	A ₀	A ₂	A ₁₁		A ₁₂
P-level	0,00000	0,0000	0,005515		0,00444
Стандартная ошибка	0,35789	0,1960	0,339526		0,33953
Критерий Стьюдента	27,78619	-34,0092	4,663367		-4,90881
F-тест Фишера	125,9554				
Коэффициент детерминации R ²	0,99				

Программа расчета и построения траектории пути частиц

```

> restart;
lQE:=Vmin*t-(Vmin*3*Pi*dэ*mu)/(2*m)*exp((( -3*Pi*dэ*mu)/m)*t)*t^2;
Vmin:=1.1;
dэ:=0.018;
mu:=0.00015;
m:=0.0018;
lQE:=Vmin*t-(Vmin*3*Pi*dэ*mu)/(2*m)*exp((( -3*Pi*dэ*mu)/m)*t)*t^2;

```


plot(lQE,t=0..8,y=0..10);

$$lQE := Vmin t - \frac{3}{2} \frac{Vmin \pi d_3 \mu e^{\left(\frac{-3 \pi d_3 \mu t}{m}\right)} t^2}{m}$$

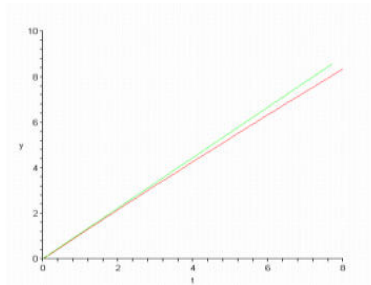
Vmin := 1.1

d3 := 0.018

mu := 0.00015

m := 0.0018

$$lQE := 1.1 t - 0.002475000000 \pi e^{(-0.004500000000 \pi t)} t^2$$



> restart;

Fx:=t->Vmin*t-(Vmin*3*Pi*d3*mu)/(2*m)*exp((-3*Pi*d3*mu/m)*t)*t^2;

Fx2:=t->Vmin*t;

Fy:=t->9.81*t^2/2;

Vmin:=1.1;

d3:=0.018;

mu:=0.00015;

m:=0.0018;m:=0.0001;

t:=0.01;

Vmin := 1.1

d3 := 0.018

mu := 0.00015

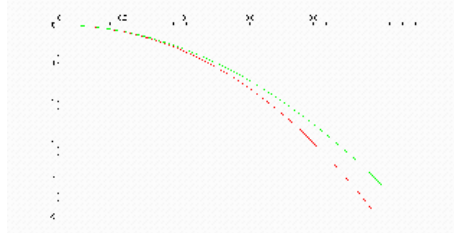
m := 0.0018

m := 0.0001

t := 0.01

{y = 0.0004905000000, x = 0.01099922257}

> plot({[Fx(n),-Fy(n),n=0..1],[Fx2(n),-Fy(n),n=0..1]});



**ВИТЕБСКОЕ ОБЛАСТНОЕ УПРАВЛЕНИЕ МЧС РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР**

Адрес: 210605, г. Витебск, ул. П.Бровки, 16,
строение 1
Телефоны: 21-84-27, 21-76-81
Факс: 21-84-27

У Т В Е Р Ж Д А Ю
Начальник Учреждения «НИЦ
Витебского областного управления
МЧС РБ»

«25»

марта 2011 года

Протокол на 3 страницах
в 2 экземплярах



Ю.Г.Русецкий

ПРОТОКОЛ ИСПЫТАНИЙ

№1

от 23 марта 2011 года

Наименование продукции: текстильный материал со специальной заключительной отделкой

ТНПА на вещество или состав, физико-химические свойства:
внешний вид - приложение 1

Заявитель на проведение испытаний: УО «ВГТУ», (договор №76 от 15.03.2011 г.)

Адрес: 210035, г. Витебск, ул. Московский проспект, 72, тел. (0212)47-74-01

Наименование ТНПА на методы испытаний: ГОСТ 12.1.044-89, СТБ 11.03.02-2010

Программа проведения испытаний:

№ п.п	Наименование объекта испытаний (показателей), характеристик и т.д.	Наименование ТНПА, устанавливающего метод испытаний, номер пункта
1.	Текстильный материал со специальной заключительной отделкой	
1.1.	Определение кислородного индекса	ГОСТ 12.1.044-89 п. 4.14
1.2.	Определение коэффициента дымообразования	ГОСТ 12.1.044-89 п. 4.18
1.3.	Определение воспламеняемости тканей	СТБ 11.03.02-2010 пункт 6.6

Условия проведения испытаний:

температура, °С	21-22
атмосферное давление, кПа	99,4-99,7
относительная влажность, %	63-64

Учреждение НИЦ ВО УМЧС РБ
ПРОТОКОЛ № _____
«25» _____ 2011
Страница _____
Всего страниц _____

Испытательное оборудование и средства измерений,
применяемые при проведении испытаний

№ п.п	Наименование испытательного оборудования	Дата прохождения метрологической аттестации, поверки, калибровки
1.	Установка по определению кислородного индекса	Свидет. №225 до 21.12.2011
2.	Установка ЭОКД «Дым»	Свид. №224 до 21.12.2011
3.	Прибор для определения воспламеняемости тканей	Свид. №230 до 22.12.2011
4.	Весы лабораторные квадрантные ВЛКТ-500	свидет. №7/2084 до 23.07.2011
5.	Приемник теплового потока типа ТП-2001	свидет. №16 до 25.05.2011
6.	Вольтметр В7-40	свидет. №1241/5 до 12.08.2011
7.	Вольтметр В7-34	свидет. №124/5 до 01.02.2012
8.	Секундомер Интеграл С-01	свидет. №8-1414 до 21.04.2011
9.	Линейка ГОСТ 427-75	клеймо до апреля 2011
10.	Газоанализатор МИК-М-01	свидет. № 6-4107 до 25.02.2011
11.	Угломер маятниковый	свидет. № 1-3059 до 25.08.2011

Дата проведения испытаний: 21-23.03.2011 г.

1. Определение кислородного индекса

Кислородный индекс, % об.	39,6
---------------------------	-------------

2. Определение коэффициента дымообразования

Результаты испытаний:

Режим испытаний	№ образца для испытаний	Масса образца, кг	Светопропускание, мА		Коэффициент дымообразования для каждого образца, м ² /кг
			Начальное	Конечное	
Тление	1	0,00203	0,810	0,291	322,7
Тление	2	0,00208	0,810	0,298	307,7
Тление	3	0,00208	0,810	0,311	294,5
Тление	4	0,00207	0,810	0,314	293,0
Тление	5	0,00204	0,810	0,300	311,6
Среднее значение					305,9

Согласно ГОСТ 12.1.044-89 (п. 2.14.2) относится к группе материалов с умеренной дымообразующей способностью

Учреждение НИЦ ВО УМЧС РБ
 ПРОТОКОЛ № 25 / 05 / 2011 г.
 Страница _____
 Всего страниц 25

3. Испытание на воспламеняемость:

№ п/п	Наименование показателя	по длине					по ширине					
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	
1	Время зажигания с поверхности											
2	Время зажигания с кромки	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
3	Время горения, с	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	Прогорание до кромки	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет
5	Воспламенение х/б ваты	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет
6	Длина обугленного участка	40	45	44	42	39	45	46	41	40	32	
7	Поверхностная вспышка	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет

Классификация:

№ п/п	Наименование критерия	Оценка критерия
1	Время остаточного пламенного горения более 5 с у любого образцов, испытанных при зажигании с поверхности или кромки	отсутствует
2	Прогорание образца до одной из его кромок у любого образцов, испытанных при зажигании с поверхности	отсутствует
3	Загорание х/б ваты под любым из испытанных образцов	отсутствует
4	Поверхностная вспышка у любого из образцов, распространяющаяся более чем на 100 мм от точки зажигания с поверхности или кромки	отсутствует
5	Средняя длина обугливающегося участка более 150 мм наблюдается у любого образцов, испытанных при воздействии пламени с поверхности или кромки	отсутствует
Классификационная группа		трудновоспламеняемый

Результаты испытаний распространяются только на испытанные образцы.

Главный специалист ГИ НИЦ

А.А. Старовойтов

Старший инженер ГИ НИЦ

А.В. Щербаков

Данный протокол оформлен на 3(трех) страницах в 2 (двух) экземплярах и направлен:

- УО «ВГТУ»;
- Учреждение «НИЦ Витебского областного управления МЧС РБ».

Учреждение НИЦ ВО УМЧС РБ	
ПРОТОКОЛ №	25
Страница	05/03
Всего страниц	2011г.

ИССЛЕДОВАНИЕ СУШКИ И ТЕРМООБРАБОТКИ КОМБИНИРОВАННЫХ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Программа расчета прогревания слоистого материала

restart; with(plots):

#Начальная температура, К

T0 := [293, 293, 293];

T0 := [293, 293, 293]

#Температура воздуха в термокамере, К

`Tв` := [393, 413, 433];

Tв := [393, 413, 433]

COLORS := [blue, green, red];

COLORS := [blue, green, red]

POINTSTYLES := [asterisk, box, circle, cross, diagonalcross, diamond, point, solidbox, solidcircle, soliddiamond];

POINTSTYLES := [asterisk, box, circle, cross, diagonalcross, diamond, point, solidbox, solidcircle, soliddiamond]

LINESTYLES := [solid, dot, dash, dashdot, longdash, spacedash];

LINESTYLES := [solid, dot, dash, dashdot, longdash, spacedash]

#Ввод экспериментальных данных

X := [[5, 10, 20, 30, 40], [5, 10, 20, 30, 40], [5, 10, 20, 30, 40]];

X := [[5, 10, 20, 30, 40], [5, 10, 20, 30, 40], [5, 10, 20, 30, 40]]

T := [[355, 380, 385, 390, 392], [370, 400, 405, 410, 412], [378, 416, 427, 430, 432]];

T := [[355, 380, 385, 390, 392], [370, 400, 405, 410, 412], [378, 416, 427, 430, 432]]

#Ввод исходных данных для слоя 1;

#Толщина материала основы, м

delta1 := 0.000344;

δ1 := 0.000344

#Теплоемкость материала основы, Дж/(кг*град);

C1 := 1420;

C1 := 1420

#Теплопроводность материала основы, Вт/(м*град);

lambda1 := 0.13;

λ1 := 0.13

#Объемная плотность материала основы, кг/м^3;

gamma1 := 378;

γ1 := 378

#Доля материала основы

omega1 := 0.14;

ω1 := 0.14

#Ввод исходных данных слоя 2

#Толщина текстильного полотна, м

delta2 := 0.00204;

δ2 := 0.00204

#Теплоемкость текстильного полотна, Дж/(кг*град);

C2 := 1510;

C2 := 1510

#Объемная плотность текстильного полотна, кг/м³;

gamma2 := 132;

γ2 := 132

#Доля текстильного материала

omega2 := 0.86;

ω2 := 0.86

#Пористость текстильного полотна, %

P := 0.902;

P := 0.902

#Теплопроводность волокна, Вт/(м*град);

lambda;V` := 0.04;

λV` := 0.04

#Расчет теплопроводности тканого полотна

lambda2 := 0.0259 + 0.0259*(1 - P)/((1 + (-1 + P))/4 + 0.0259/(λ;V` - 0.0259));

λ2 := 0.02713071437

Преобразование двухслойного текстильного материала в однослойный;

lambda := (delta1 + delta2)/(delta1/lambda1 + delta2/lambda2);

λ := 0.03062783726

C := C1*omega1 + C2*omega2;

C := 1497.40

rho := (gamma1*omega1 + gamma2*omega2)/2;

ρ := 83.22000000

a := lambda/(C*rho);

a := 2.45782405610⁻⁷

R := delta1 + delta2;

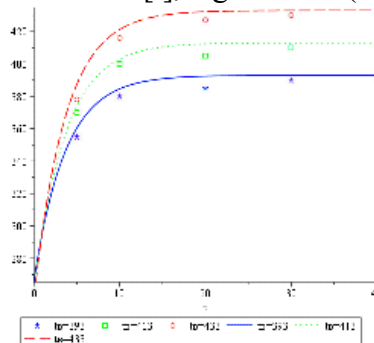
R := 0.002384

#Ввод закона распределения температуры по толщине слоистого материала

t := (tau, t0, `тв`) -> `тв` + (-1)*1.27*(`тв` - t0)*exp((-1)*1.57*a*tau/(1/4*R^2));

$$t := (\tau, t_0, t_b) \mapsto t_b + (-1) 1.27 (t_b - t_0) e^{-\frac{(-1) 1.57 a \tau}{\frac{R^2}{4}}}$$

display(seq(display(plot(t(tau, T0[i], `тв`[i]), tau = 0 .. 40, color = COLORS[i], linestyle = LINESTYLES[i], legend = cat("тв=", `тв`[i])), pointplot([seq([X[i, k], T[i, k]], k = 1 .. nops(X[i]))], color = COLORS[i], symbol = POINTSTYLES[i], legend = cat("тв=", `тв`[i])), i = 1 .. nops(T0)));



lambda2Ttheor := [seq([seq(t(X[i, j], T0[i], `тв`[i]), j = 1 .. nops(X[i])), i = 1 .. nops(T0))];

```
lambda2Theor := [[360.3355731, 384.5987025, 392.4442378, 392.9632352, 392.9975679],
[373.8026877, 402.9184430, 412.3330854, 412.9558823, 412.9970815], [387.2698023,
421.2381835, 432.2219329, 432.9485293, 432.9965951]]
```

Программа расчета прогрева каркасного текстильного материала

```
restart;
with(plots);
#Начальная температура, К
T0 := [398, 398, 398];
                                T0 := [398, 398, 398]

#Температура воздуха в термокамере, К
`Tв` := [433, 443, 453];
                                Tв := [433, 443, 453]

COLORS := [blue, green, red];
                                COLORS := [blue, green, red]

POINTSTYLES := [asterisk, box, circle, cross, diagonalcross, diamond, point, solidbox, solidcircle,
soliddiamond];
                                POINTSTYLES := [asterisk, box, circle, cross, diagonalcross, diamond, point, solidbox,
solidcircle, soliddiamond]

LINESTYLES := [solid, dot, dash, dashdot, longdash, spacedash];
                                LINESTYLES := [solid, dot, dash, dashdot, longdash, spacedash]

#Ввод экспериментальных данных
X := [[5, 10, 15, 20, 25], [5, 10, 15, 20, 25], [5, 10, 15, 20, 25]];
                                X := [[5, 10, 15, 20, 25], [5, 10, 15, 20, 25], [5, 10, 15, 20, 25]]

T := [[431, 432, 433, 433, 433], [442, 443, 443, 443, 443], [452, 453, 453, 453, 453]];
                                T := [[431, 432, 433, 433, 433], [442, 443, 443, 443, 443], [452, 453, 453, 453, 453]]

#Ввод исходных данных для комбинированного текстильного материала
#Толщина материала, м
R := 0.0025;
                                R := 0.0025

#Теплоемкость материала тканой основы, Дж/(кг*град);
C1 := 1638;
                                C1 := 1638

#Теплопроводность комбинированного текстильного материала, Вт/(м*град);
lambda1 := 0.572;
                                λ1 := 0.572

#Объемная плотность композиционного текстильного материала, кг/м^3;
gamma1 := 238;
                                γ1 := 238

#Доля тканого материала
omega1 := 0.60;
                                ω1 := 0.60

#Концентрация полимерного связующего, г/л
c := 500;
                                c := 500

#Теплоемкость полимерного связующего, Дж/(кг*град);
```

C2 := 1450;

C2 := 1450

#Доля полимерного связующего

omega2 := 0.40;

omega2 := 0.40

Расчет коэффициента теплопроводности при концентрации полимерного связующего c;
lambda := 0.0189*exp(0.0068*c);

lambda := 0.5663214909

C := C1*omega1 + C2*omega2;

C := 1562.80

a := lambda/(C*gamma1);

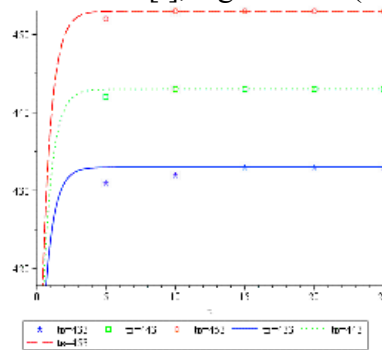
a := 0.000001522588983

#Ввод закона распределения температуры по толщине комбинированного материала

t := (tau, t0, `tb`) -> `tb` + (-1)*1.27*(`tb` - t0)*exp((-1)*1.57*a*tau/(1/4*R^2));

$$t := (\tau, t_0, t_b) \rightarrow t_b + (-1) \cdot 1.27 (t_b - t_0) e^{\frac{(-1) \cdot 1.57 a \tau}{\frac{1}{4} R^2}}$$

display(seq(display(plot(t(tau, T0[i], `Tb`[i]), tau = 0 .. 25, color = COLORS[i], linestyle = LINESTYLES[i], legend = cat("tb=", `Tb`[i])), pointplot([seq([X[i, k], T[i, k]], k = 1 .. nops(X[i]))], color = COLORS[i], symbol = POINTSTYLES[i], legend = cat("tb=", `Tb`[i])), i = 1 .. nops(T0)));



Ttheor := [seq([seq(t(X[i, j], T0[i], `Tb`[i]), j = 1 .. nops(X[i]))], i = 1 .. nops(T0))];

Ttheor := [[432.9788290, 432.9999899, 433.0000000, 433., 433.], [442.9727801, 442.9999870, 443.0000000, 443., 443.], [452.9667313, 452.9999842, 453.0000000, 453., 453.]]

Таблица И.1 – Расчетные и экспериментальные данные сушки комбинированных текстильных материалов

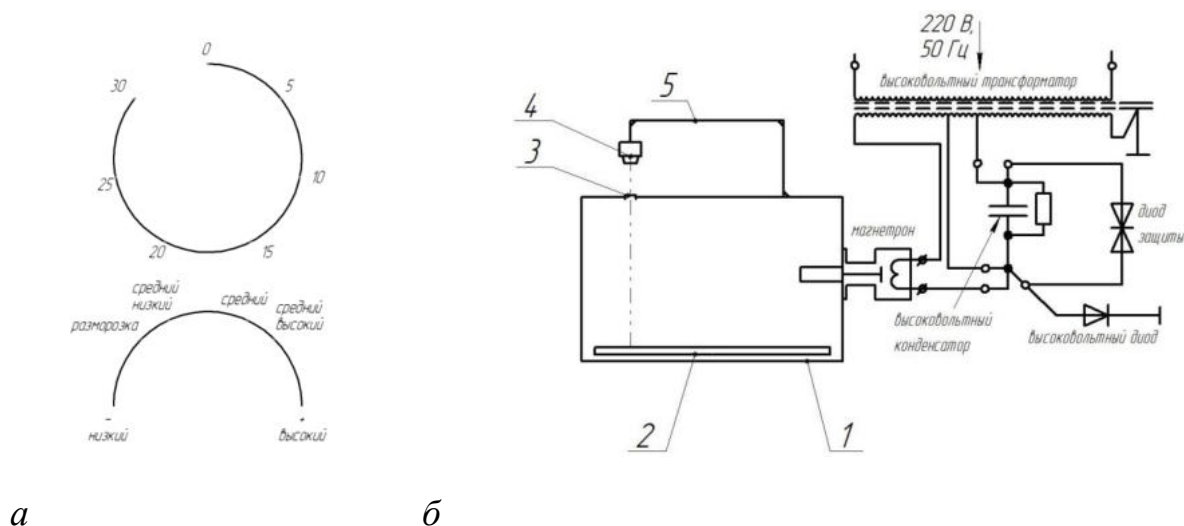
Параметр	Обозначение	Единица измерения	образец 1		образец 2		образец 3		образец 4	
			расч.	эксп.	расч.	эксп.	расч.	эксп.	расч.	эксп.
Начальное влагосодержание	W_0	%	-	9,2	-	10,3	-	60,0	-	39,7
Критическое влагосодержание	$W_{кр}$	%	-	3,7	-	4,5	-	24,3	-	10,4
Критическое приведенное влагосодержание	$W_{кр.п.}$	%	3,5	-	3,8	-	35,6	-	27,3	-
Конечное влагосодержание	W_k	%	-	1,8	2,2	-	-	1,8	-	2,0
Равновесное влагосодержание	W_p	%	-	1,8	-	2,0	-	2,3	-	1,8
Относительный коэффициент сушки	χ	1/%	0,19	-	0,17	-	0,03	-	0,04	-
Постоянный коэффициент сушки	K	c ⁻¹	0,027	-	0,017	-	0,012	-	0,022	-
Продолжительность периода прогрева	τ_0	с	-	21,0	-	25,0	-	5,0	-	5,0
Продолжительность в периоде постоянной скорости	τ_1	с	39,3	40,0	58,0	60,0	89,3	90,0	64,1	65,0
Продолжительность в периоде падающей скорости сушки	τ_2	с	30,5	32,0	63,1	64,0	259,1	260,0	60,3	63,0
Продолжительность сушки	τ_{1-2}	с	69,8	93,0	121,3	149,0	348,4	355,0	124,4	133,0
Скорость сушки в периоде постоянной скорости	N	%/с	0,1421	0,14	0,1	0,1	0,4	0,4	0,55	0,56

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ КОМБИНИРОВАННЫХ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ В УСЛОВИЯХ ВОЗДЕЙСТВИЯ СВЧ-ИЗЛУЧЕНИЯ

Лабораторная установка для исследования процесса пропитки тканых полотен в условиях СВЧ-нагрева

Для исследований СВЧ-нагрева использовалась лабораторная установка (рисунок К.1), которая представляет собой микроволновую камеру периодического действия с максимальной полезной мощностью 850 Вт и рабочей частотой 2450 МГц.

Для изменения режимов нагрева служит поворотный переключатель режимов (рисунок К.1 а). Верхний поворотный переключатель используется для установки времени сушки (до 30 минут). Нижний поворотный переключатель служит для регулирования мощности СВЧ – излучения (17 %; 40 %; 48 %; 66 %; 85 % и 100 %). Особенностью экспериментальной СВЧ-установки является возможность измерения температуры материала при сушке посредством статично установленного пирометра, направленного на поверхность нагреваемого материала (рисунок К.1 б). Мощность СВЧ-излучения задавалась с помощью ручки управления переменной мощности блока питания магнетрона.



а – панель управления; б – принципиальная схема: 1 – рабочая камера; 2 – стол; 3 – смотровое отверстие; 4 – пирометр; 5 – штатив

Рисунок К.1 – Схема лабораторной установки для СВЧ-обработки

Технические характеристики установки для СВЧ-нагрева представлены в таблице К.1.

Таблица К.1 – Технические характеристики СВЧ установки

Показатель	Значение
Способ обработки	периодический
Источник электропитания	230 В ~ 50 Гц
Потребляемая мощность	1250 Вт
Выходная мощность	100 Вт – 850 Вт
Рабочая частота	2450 МГц
Магнетрон	OM75P (31)
Способ охлаждения	охлаждающий электрический вентилятор
Способ измерения температуры	бесконтактный пирометрический
Размеры камеры (Ш x В x Г)	330 x 211 x 329 мм
Размеры пропиточной ванны	300 x 180 x 300 мм
Максимальный объем пропиточного раствора	1 л

Схема рабочей камеры для пропитки текстильных материалов в условия СВЧ обработки представлена на рисунке К.2. Нанесение полимерного связующего производится в пропиточной ванне.

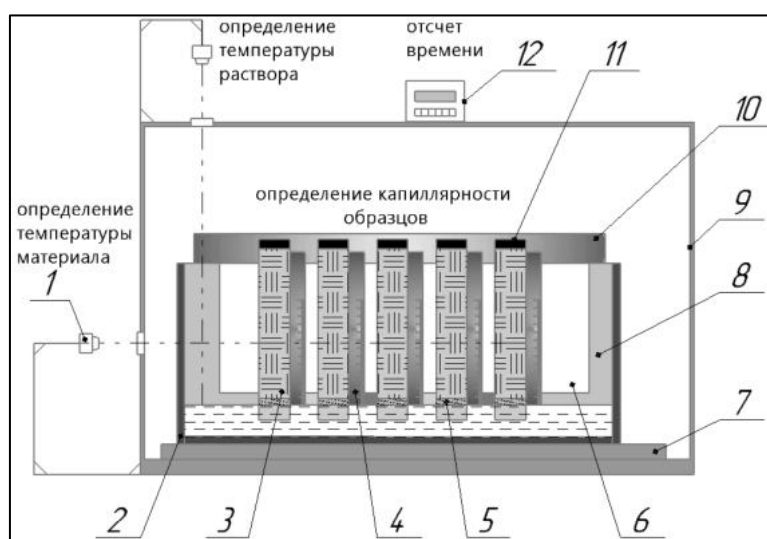


Рисунок К.2 – Рабочая камера для исследования пропитки текстильных материалов

В камеру установлена пропиточная ванна с раствором полимерного связующего и закрепленными образцами материалов. На нижние концы элементарных образцов резиновыми кольцами на расстоянии 10 ± 1 мм от края закрепляются стеклянные палочки.

Значение температуры полимерного связующего в процессе пропитки в электромагнитном поле сверхвысокой частоты регистрируется с помощью пирометров, зафиксированных в штативе на расстоянии, установленном в соответствии с паспортными данными прибора.

Для защиты пирометра от СВЧ-излучения служит клетка Фарадея, установленная на окне корпуса СВЧ-установки.

Значения высоты капиллярного подъема пропиточного раствора определялись с помощью линеек из диэлектрического материала, закрепленных в пропиточной ванне напротив каждого образца.

Учреждение образования
«Витебский государственный технологический университет»



АКТ
ввода в эксплуатацию

Настоящий составлен в том, что введен в эксплуатацию

Установка для отделки текстильных материалов с использованием электромагнитного излучения инфракрасного и СВЧ диапазона

(название разработки)

выполненный по тем НИР Энергоэффективность 2.2.25 «Интенсификация процессов химической отделки текстильных материалов с использованием электромагнитного излучения инфракрасного и СВЧ диапазона», Г/Б № 304/305

(наименование и № НИР, номер госрегистрации)

Разработка использована в учебном процессе кафедры Технология и оборудование машиностроительного производства, октябрь 2015 г.

(кафедра, время ввода в эксплуатацию)

Разработка используется в процессе выполнения лабораторных работ по дисциплинам «Основы энергосбережения», «Теплотехника»

(в процессе выполнения лабораторных, курсовых, дипломных работ и др.)

и позволяет получить теоретические знания и количественные показатели при определении параметров влажнотермической обработки

(указать эффективность ввода)

Зав.кафедрой, исполнитель

В.И.Ольшанский

Начальник учебно-методического отдела

В.В.Петухов

Руководитель темы

А.Г.Коган

Руководитель темы

А.И.Ольшанский

Исполнитель

Н.Н.Ясинская

Исполнитель

С.В.Жерносек

Программа для обработки экспериментальных данных пропитки тканой основы

Формирование регрессионной модели высоты капиллярного подъема

```

> height_4d_X:=<seq(300,i=1..nops(temp_time_100_300_X)),seq(450,i=1..nops(
temp_time_100_450_X)),seq(600,i=1..nops(temp_time_100_600_X)),
seq(300,i=1..nops(temp_time_200_300_X)),seq(450,i=1..nops(
temp_time_200_450_X)),seq(600,i=1..nops(temp_time_200_600_X)),seq(300,
i=1..nops(temp_time_300_300_X)),seq(450,i=1..nops(temp_time_300_450_X)),seq(600,i=1..nops(
temp_time_300_600_X))>:#мощность
> height_4d_Y:=<op(temp_time_100_300_X),op(temp_time_100_450_X),op(
temp_time_100_600_X),op(temp_time_200_300_X),op(temp_time_200_450_X),op(temp_time_200
_600_X),op(temp_time_300_300_X),op(temp_time_300_450_X),op(temp_time_300_600_X))>:#вре
мя
> height_4d_Z:=<seq(100,i=1..nops(temp_time_100_300_X)+nops(
temp_time_100_450_X)+nops(temp_time_100_600_X)),seq(200,i=1..nops(
temp_time_200_300_X)+nops(temp_time_200_450_X)+nops(
temp_time_200_600_X)),seq(300,i=1..nops(temp_time_300_300_X)+nops(
temp_time_300_450_X)+nops(temp_time_300_600_X))>:#концентрация
> height_4d_W:=<op(height_time_100_300_Y),op(height_time_100_450_Y),op(
height_time_100_600_Y),op(height_time_200_300_Y),op(height_time_200_450_Y),op(height_time
_200_600_Y),op(height_time_300_300_Y),op(
height_time_300_450_Y),op(height_time_300_600_Y))>:#высота
> #height_module:=Fit(tm/(a0+a1*tm+a2*tm^2)*(a3+a4*p+a5*p^2)*
(a6+a7*c+a8*c^2),Matrix([height_4d_X,height_4d_Y,height_4d_Z]),height_4d_W,
[p,tm,c],output=solutionmodule):#подбор модели с поправочными коэффициентами
> height_module:=Fit(tm/(b0+b1*tm)/(a0+a1*p)*c/(c0+c1*c),Matrix([height_4d_X,
height_4d_Y,height_4d_Z]),height_4d_W,[p,tm,c],output=solutionmodule):#подбор модели с
поправочными коэффициентами
> height_4d_f:=height_module:-Results(leastsquaresfunction):
> evalf(height_4d_f,3);

```

$$\frac{tm \ c}{(0.763 \ tm + 82.5) \ (-0.121 \ p + 281.) \ (0.0000768 \ c - 0.00255)}$$

```

> height_4d_coef:=height_module:-Results(parametervector):
> 1-height_module:-Results(residualsumofsquares)/(Variance( height_4d_W)* (Size(
height_4d_W)[1]-1));

```

0.972264429875979

Формирование регрессионной модели температуры полимерного связующего

```

> temp_4d_X:=<seq(300,i=1..nops(temp_time_100_300_X)),seq(450,i=1.. nops(
temp_time_100_450_X)),seq(600,i=1..nops(temp_time_100_600_X)),
seq(300,i=1..nops(temp_time_200_300_X)),seq(450,i=1..nops(
temp_time_200_450_X)),seq(600,i=1..nops(temp_time_200_600_X)),seq(300,i=1..
nops(temp_time_300_300_X)),seq(450,i=1..nops(temp_time_300_450_X)),seq(600,
i=1..nops(temp_time_300_600_X))>:#мощность
> temp_4d_Y:=<op(temp_time_100_300_X),op(temp_time_100_450_X),op(
temp_time_100_600_X),op(temp_time_200_300_X),op(temp_time_200_450_X),
op(temp_time_200_600_X),op(temp_time_300_300_X),op(temp_time_300_450_X),op(temp_time_
300_600_X))>:#время
> temp_4d_Z:=<seq(100,i=1..nops(temp_time_100_300_X)+nops(
temp_time_100_450_X)+nops(temp_time_100_600_X)),seq(200,i=1..nops temp_time_
200_300_X)+nops(temp_time_200_450_X)+nops( temp_time_200_600_X)),

```

```
seq(300,i=1..nops(temp_time_300_300_X)+
nops(temp_time_300_450_X)+nops(temp_time_300_600_X))>:#концентрация
> temp_4d_W:=<op(temp_time_100_300_Y),op(temp_time_100_450_Y),
op(temp_time_100_600_Y),op(temp_time_200_300_Y),op(temp_time_200_450_Y),
op(temp_time_200_600_Y),op(temp_time_300_300_Y),op(temp_time_300_450_Y),op(temp_time_
300_600_Y)>:#высота
temp_module:=Fit((b0+b1*tm)*(a0+a1*p)*(c0+c1*c)+d,Matrix([temp_4d_X,
temp_4d_Y,temp_4d_Z]),temp_4d_W,[p,tm,c],output=solutionmodule):# подбор модели с
поправочными коэффициентами
> temp_4d_f:=temp_module:-Results(leastsquaresfunction):
> evalf(temp_4d_f,3);
```

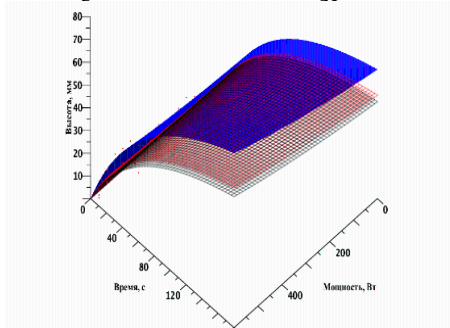
```
(0.00423 tm + 0.0139) (0.0172 p + 0.476) (-0.0200 c + 32.9)
+ 17.6
```

```
> temp_4d_coef:=temp_module:-Results(parametervector):
> 1-temp_module:-Results(residualsumofsquares)/(Variance(temp_4d_W)*
(Size(temp_4d_W)[1]-1));
```

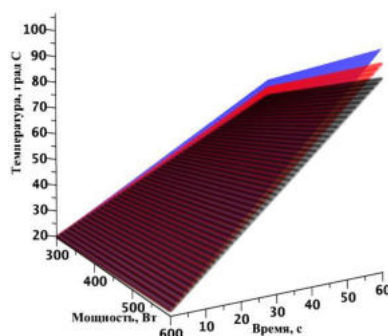
```
0.989640149348892
```

Изменение высоты капиллярного подъема

```
> display(plot3d(subs(c=C1,height_4d_f),p=0..P3,tm=0..180,color=blue, style= surface,
transparency=0.25,lightmodel=light3),plot3d(subs(c=C2,height_4d_f), p=0..P3,
tm=0..180,color=red,style=line,transparency=0),plot3d(subs(c=C3, height_4d_f),
p=0..P3,tm=0..180,color=black,style=wireframe),pointplot3d(Matrix( [height_4d_X,
height_4d_Y,height_4d_W]),symbolsize=20,symbol=point,color=red),labeldirections=[
horizontal,horizontal,vertical],font=[Courier,bold,15],labels=[ "Мощность, Вт","Время,
с","Высота, мм"],axes=framed,view=[0..P3,0..180,0..80]);
```



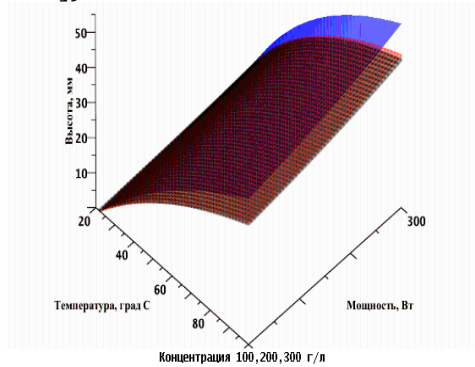
```
> display(plot3d(subs(c=C1,temp_4d_f),p=P1..P3,tm=0..60,color=blue, style=
surface,transparency=0.25,lightmodel=light3),plot3d(subs(c=C2,temp_4d_f), p=P1..P3
,tm=0..60,color=red,style=line,transparency=0),plot3d(subs(c=C3, temp_4d_f),
p=P1..P3,tm=0..60,color=black,style= wireframe), symbolsize=5,
symbol=circle,color=red),labels=["Мощность, Вт","Время, с","Температура, град
C"],axes=framed,labeldirections=[horizontal,horizontal,vertical],thickness=3,font=[Courier,bold,
14]);
```



```

> height_temp_4d:=combine(eval(height_4d_f(isolate(temp_4d_f=temp,tm))):
> display(plot3d(subs(c=C1,height_temp_4d),p=P1..P3,temp=20..100, color=blue,
style=surface,transparency=0.25,lightmodel=light3),
plot3d(subs(c=C2,height_temp_4d),p=P1..P3,temp=20..100,color=red, style=line,
transparency=0),plot3d(subs(c=C3,height_temp_4d),p=P1.. P3,temp=20..100,
color=black,style=wireframe), symbolsize=10,symbol=circle,color= red), labels=["Мощность,
Вт","Температура, град С","Высота, мм"],caption="Концентрация 100,200,300 г/л",
axes=framed, view=[P1..P3,20..100,0..55],labeldirections=[horizontal,horizontal,vertical],
thickness=3, font=[Courier,bold,14]);

```

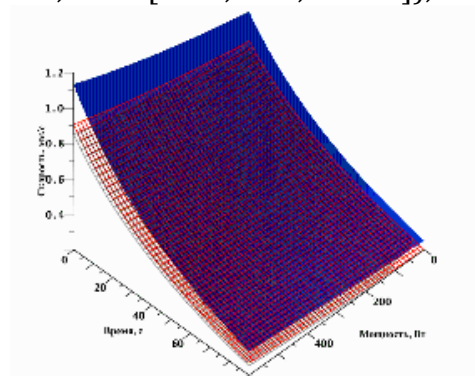


Изменение скорости пропитывания

```

display(plot3d(subs(c=C1,vel_4d_f),p=0..P3,tm=0..90,color=blue,
style=surface,transparency=0.25,lightmodel=light3),plot3d(subs(c=C2,vel_4d_f),
p=0..P3,tm=0..90,color=red,style=line,transparency=0.25,grid=[50,50]),plot3d(subs(
c=C3,vel_4d_f),p=0..P3,tm=0..90,color= black,style=wireframe), labeldirections=[
horizontal,horizontal, vertical],font=[Courier,bold,15],labels=["Мощность, Вт","Время,
с","Скорость, мм/с"],axes=framed,view=[0..P3,0..90,0.2..1.2]);

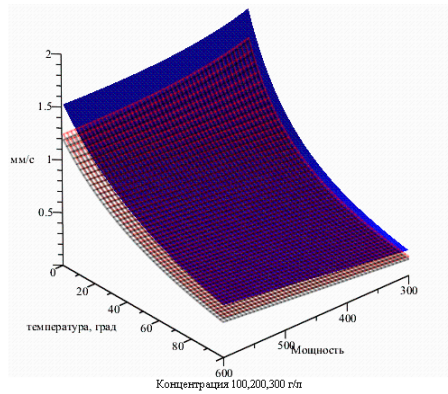
```



```

> vel_temp_4d:=combine(eval(vel_4d_f(isolate(temp_4d_f=temp,tm))):
> display(plot3d(subs(c=C1,vel_temp_4d),p=P1..P3,temp=1..100,color= blue,
style=surface,transparency=0.25,lightmodel=light3),plot3d(subs(c=C2,vel_temp_4d),p=P1..P3,te
mp=1..100,color=red,style=line, transparency=0), plot3d(
subs(c=C3,vel_temp_4d),p=P1..P3,temp=1..100,color=black,style=wireframe,symbolsize=10,sym
bol=circle,color=red),labels=["Мощность","температура, град", "скорость,
мм/с"],caption="Концентрация 100,200,300 г/л", axes= framed, view=[P1..P3,0..100,0..2]);

```

Формирование регрессионной модели краевого угла

```

> pov_n_k_100:=pov_n_water_n_100[1]/1000*73.05:
> pov_n_sigma_100:=[seq(pov_n_k_100*pov_n_rho_100[1]/pov_n_Y_100[i],
i=1..Size(pov_n_Y_100)[2]]):
> pov_n_cos_teta_100:=[seq(pov_n_h_100[1]/1000*pov_n_rho_100[1]*9.81*
pov_n_r_100[1]/1000/(2*pov_n_sigma_100[i]/1000),i=1..Size(pov_n_sigma_100) [2]]):
> pov_n_teta_100:=MTM[acos](pov_n_cos_teta_100)*180/evalf(Pi):
>
> pov_n_k_200:=pov_n_water_n_200[1]/1000*73.05:
> pov_n_sigma_200:=[seq(pov_n_k_200*pov_n_rho_200[1]/pov_n_Y_200[i],
i=1..Size(pov_n_Y_200)[2]]):
> pov_n_cos_teta_200:=[seq(pov_n_h_200[1]/1000*pov_n_rho_200[1]*9.81*
pov_n_r_200[1]/1000/(2*pov_n_sigma_200[i]/1000),i=1..Size(pov_n_sigma_200) [2]]):
> pov_n_teta_200:=MTM[acos](pov_n_cos_teta_200)*180/evalf(Pi):
>
> pov_n_k_300:=pov_n_water_n_300[1]/1000*73.05:
> pov_n_sigma_300:=[seq(pov_n_k_300*pov_n_rho_300[1]/pov_n_Y_300[i],
i=1..Size(pov_n_Y_300)[2]]):
> pov_n_cos_teta_300:=[seq(pov_n_h_300[1]/1000*pov_n_rho_300[1]*9.81*
pov_n_r_300[1]/1000/(2*pov_n_sigma_300[i]/1000),i=1..Size(pov_n_sigma_300) [2]]):
> pov_n_teta_300:=MTM[acos](pov_n_cos_teta_300)*180/evalf(Pi):
> pov_n_teta_4d_X:=<seq(300,i=1..nops(pov_n_X_100)),seq(450,i=1..nops(
pov_n_X_100)),seq(600,i=1..nops(pov_n_X_100)),seq(300,i=1..nops( pov_n_X_200)),
seq(450,i=1..nops(pov_n_X_200)),seq(600,i=1..nops( pov_n_X_200)),
seq(300,i=1..nops(pov_n_X_300)),seq(450,i=1..nops( pov_n_X_300)),
seq(600,i=1..nops(pov_n_X_300))>:#мощность
> pov_n_teta_4d_Y:=<op(pov_n_X_100),op(pov_n_X_100),op(pov_n_X_100),
op(pov_n_X_200),op(pov_n_X_200),op(pov_n_X_200),op(pov_n_X_300),op(pov_n_X_300),op(pov_
n_X_300)>:#температура
> pov_n_teta_4d_Z:=<seq(100,i=1..nops(pov_n_X_100)+nops(pov_n_X_100)+ nops(
pov_n_X_100)),seq(200,i=1..nops(pov_n_X_200)+nops(pov_n_X_200)+
nops(pov_n_X_200)),seq(300,i=1..nops(pov_n_X_300)+nops(pov_n_X_300)+nops(pov_n_X_300))
>:#концентрация
> pov_n_teta_4d_W:=<op(pov_n_teta_100), op(pov_n_teta_100),op(pov_n_teta_100),
op(pov_n_teta_200),op(pov_n_teta_200),op(pov_n_teta_200),
op(pov_n_teta_300),op(pov_n_teta_300),op(pov_n_teta_300)>:#краевой угол
> pov_n_teta_module:=Fit((b0*b1^(t^3))*(a0+a1*p)*(c0+c1*c), Matrix([
pov_n_teta_4d_X,pov_n_teta_4d_Y,pov_n_teta_4d_Z]),pov_n_teta_4d_W,[p,t,c],
output=solutionmodule):#подбор модели с поправочными коэффициентами

```

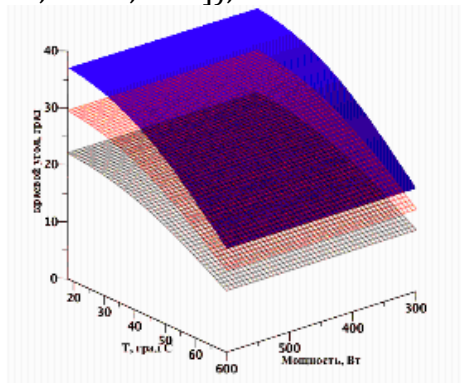
```
> pov_n_teta_4d_f:=pov_n_teta_module:-Results(leastsquaresfunction):
> evalf(pov_n_teta_4d_f,8);
```

$$0.00016784404 \ 0.99999788 t^3 \left(-5.1759845 \cdot 10^{-7} p + 1257.7203 \right) \left(-0.35770193 c + 213.46841 \right)$$

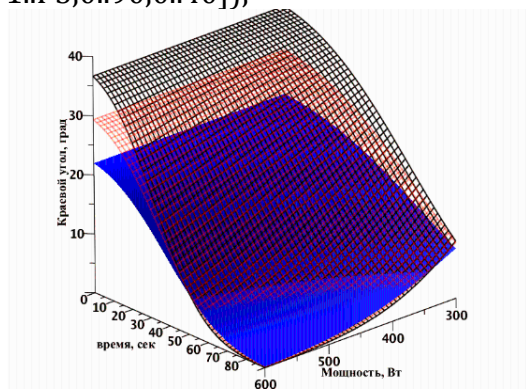
```
> pov_n_teta_4d_coef:=height_module:-Results(parametervector):
> 1-pov_n_teta_module:-Results(residualsumofsquares)/ (Variance(pov_n_teta_4d_W)*
(Size(pov_n_teta_4d_W)[1]-1));
```

0.888482788290658

```
> display(plot3d(subs(c=C1,pov_n_teta_4d_f),p=P1..P3,t=18..70,color= blue,
style=surface,transparency=0.25,lightmodel=light3),plot3d(subs(c=C2,
pov_n_teta_4d_f),p=P1..P3,t=18..70,color=red,style=line,transparency=0),plot3d(
subs(c=C3,pov_n_teta_4d_f),p=P1..P3,t=18..70,color=black,style=wireframe,
symbolsize=20,symbol=circle,color=red),labeldirections=[horizontal, horizontal,vertical],
font=[Courier,bold,15],labels=["Мощность, Вт", "Т, град С", "краевой угол,
град"],axes=framed,view=[P1..P3,18..70,0..40]);
```



```
> display(plot3d(subs(c=C1,pov_n_teta_time_4d_f),p=P1..P3,tm=0..90, color=black,
style=wireframe,transparency=0.25,lightmodel=light3),
plot3d(subs(c=C2,pov_n_teta_time_4d_f),p=P1..P3,tm=0..90,color=red,style=line,
transparency=0),plot3d(subs(c=C3,pov_n_teta_time_4d_f),
p=P1..P3,tm=0..90,color=blue,style=surface),labeldirections=[ horizontal,horizontal,
vertical],font=[Courier,bold,15],
labels=["Мощность, Вт", "время, сек", "Краевой угол,
град"],axes=framed,view=[P1..P3,0..90,0..40]);
```



Формирование регрессионной модели поверхностного натяжения

```
> pov_n_sigma_4d_X:=<seq(300,i=1..nops(pov_n_X_100)),seq(450,
i=1..nops(pov_n_X_100)),seq(600,i=1..nops(pov_n_X_100)),seq(300,i=1..nops(
pov_n_X_200)),seq(450,i=1..nops(pov_n_X_200)),seq(600,i=1..nops(
pov_n_X_200)),seq(300,i=1..nops(pov_n_X_300)),seq(450,i=1..nops(
pov_n_X_300)),seq(600,i=1..nops(pov_n_X_300))>:#мощность
```

```

> pov_n_sigma_4d_Y:=<op(pov_n_X_100),op(pov_n_X_100),op(pov_n_X_100),
op(pov_n_X_200),op(pov_n_X_200),op(pov_n_X_200),
op(pov_n_X_300),op(pov_n_X_300),op(pov_n_X_300)>:#температура
> pov_n_sigma_4d_Z:=<seq(100,i=1..nops(pov_n_X_100)+ nops(pov_n_X_100)+
nops(pov_n_X_100)),seq(200,i=1..nops(pov_n_X_200)+nops(pov_n_X_200)+nops(pov_n_X_200)),
seq(300,i=1..nops(pov_n_X_300)+nops(pov_n_X_300)+nops(pov_n_X_300))>:#концентрация
> pov_n_sigma_4d_W:=<op(pov_n_sigma_100), op(pov_n_sigma_100),op(
pov_n_sigma_100),op(pov_n_sigma_200),op(pov_n_sigma_200),op(
pov_n_sigma_200),op(pov_n_sigma_300),op(pov_n_sigma_300),op(
pov_n_sigma_300)>:#поверхностное натяжение
> pov_n_sigma_module:=Fit((b0^(t^3))*(a0+a1/p)*(c0+c1*c),Matrix(
[pov_n_sigma_4d_X,pov_n_sigma_4d_Y,pov_n_sigma_4d_Z]),
pov_n_sigma_4d_W,[p,t,c],output=solutionmodule):#подбор модели с поправочными
коэффициентами
> pov_n_sigma_4d_f:=pov_n_sigma_module:-Results(leastquaresfunction):
> evalf(pov_n_sigma_4d_f,8);

```

$$0.99999952t^3 \left(0.25544197 - \frac{0.000012182362}{p} \right) (0.12513121c + 231.02929)$$

```

> pov_n_sigma_4d_coef:=height_module:-Results(parametervector):
> 1-pov_n_sigma_module:-Results(residualsumofsquares)/ (Variance(
pov_n_sigma_4d_W)*(Size(pov_n_sigma_4d_W)[1]-1));
0.920348157526078

```

Формирование регрессионной модели вязкости

```

> vyazkost_100:= [seq(9.81/9.807*visk_const_100[1]*vyazkost_Y_100[i]*
pov_n_rho_100[1]/1000,i=1..Size(vyazkost_X_100)[2])]:
> vyazkost_200:= [seq(9.81/9.807*visk_const_200[1]*vyazkost_Y_200[i]*
pov_n_rho_200[1]/1000,i=1..Size(vyazkost_X_200)[2])]:
> vyazkost_300:= [seq(9.81/9.807*visk_const_300[1]*vyazkost_Y_300[i]*
pov_n_rho_300[1]/1000,i=1..Size(vyazkost_X_300)[2])]:
> vyazkost_4d_X:=<seq(300,i=1..nops(vyazkost_X_100)), seq(450,i=1..
nops(vyazkost_X_100)),seq(600,i=1..nops(vyazkost_X_100)),seq(300,i=1..nops(
vyazkost_X_200)),seq(450,i=1..nops(vyazkost_X_200)),seq(600,i=1..nops(
vyazkost_X_200)),seq(300,i=1..nops(vyazkost_X_300)),seq(450,i=1..nops(
vyazkost_X_300)),seq(600,i=1..nops(vyazkost_X_300))>:#мощность
> vyazkost_4d_Y:=<op(vyazkost_X_100),op(vyazkost_X_100),op(vyazkost_X_100),
op(vyazkost_X_200),op(vyazkost_X_200),op(vyazkost_X_200),op(
vyazkost_X_300),op(vyazkost_X_300),op(vyazkost_X_300)>:#температура
> vyazkost_4d_Z:=<seq(100,i=1..nops(vyazkost_X_100)+nops(vyazkost_X_100)+ nops(
vyazkost_X_100)),seq(200,i=1..nops(vyazkost_X_200) +nops(vyazkost_X_200)+
nops(vyazkost_X_200)), seq(300,i=1..nops(vyazkost_X_300) +nops(vyazkost_X_300)+nops(
vyazkost_X_300))>: #концентрация
> vyazkost_4d_W:=<op(vyazkost_100),op(vyazkost_100),op(vyazkost_100),
op(vyazkost_200),op(vyazkost_200),op(vyazkost_200),op(vyazkost_300),op(
vyazkost_300),op(vyazkost_300)>:#поверхностное натяжение
> vyazkost_module:=Fit((b0*t^b1)*(a0+a1*p)*(c0+c1*c),Matrix([vyazkost_4d_X,
vyazkost_4d_Y,vyazkost_4d_Z]),vyazkost_4d_W,[p,t,c],output= solutionmodule): #подбор
модели с поправочными коэффициентами
>
> vyazkost_4d_f:=vyazkost_module:-Results(leastquaresfunction):

```

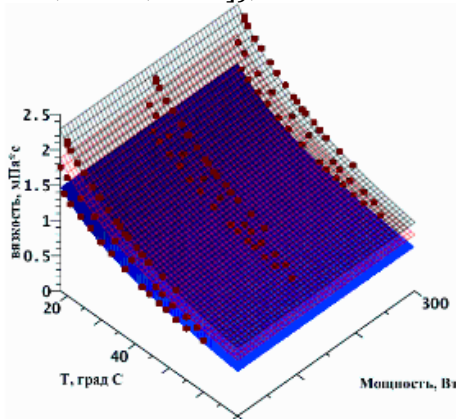
```
> evalf(vyazkost_4d_f,8);
```

$$\frac{1}{0.629886777038924} \left(0.85321665 \left(-6.5543300 \cdot 10^{-12} p \right) + 5.3887313 \right) \left(0.0055283351 c + 1.4216895 \right)$$

```
> vyazkost_4d_coef:=height_module:-Results(parametervector):
```

```
> 1-vyazkost_module:-Results(residualsumofsquares)/
(Variance(vyazkost_4d_W)*(Size(vyazkost_4d_W)[1]-1));
0.991413821952626
```

```
> display(plot3d(subs(c=C1,vyazkost_4d_f),p=P1..P3,t=18..70,color= blue,style= surface,
transparency=0.25,lightmodel=light3),plot3d(subs(c=C2,
vyazkost_4d_f),p=P1..P3,t=18..70,color=red,style=line,
transparency=0),plot3d(subs(c=C3,vyazkost_4d_f),p=P1..P3,t=18..70,color=black,style=wirefram
e),pointplot3d(Matrix([vyazkost_4d_X,vyazkost_4d_Y,vyazkost_4d_W]),
symbolsize=20,color=red), labeldirections=[horizontal,horizontal,
vertical],font=[Courier,bold,15],labels=["Мощность, Вт", "Т, град С", "вязкость,
мПа*с"],axes=framed,view=[P1..P3,18..70,0..2.5]);
```



Формирование регрессионной модели плотности

```
> pov_n_rho_4d_X:=<seq(300,i=1..nops(vyazkost_X_100)),seq(450,i=1.. nops( vyazkost_X_100)),
seq(600,i=1..nops(vyazkost_X_100)),seq(300, i=1..nops(
vyazkost_X_200)),seq(450,i=1..nops(vyazkost_X_200)),seq(600,i=1..nops(
vyazkost_X_200)),seq(300,i=1..nops(vyazkost_X_300)),seq(450,i=1..nops( vyazkost_X_300)),
seq(600,i=1..nops(vyazkost_X_300))>:#мощность
> pov_n_rho_4d_Y:=<op(vyazkost_X_100), op(vyazkost_X_100),
op(vyazkost_X00),op(vyazkost_X_200),op(vyazkost_X_200),op(vyazkost_X_200),op(
vyazkost_X_300),op(vyazkost_X_300),op(vyazkost_X_300)>:#температура
> pov_n_rho_4d_Z:=<seq(100,i=1..nops(vyazkost_X_100)+nops(vyazkost_X_100)+
nops(vyazkost_X_100)),seq(200,i=1..nops(vyazkost_X_200)+nops(vyazkost_X_200)
+nops(vyazkost_X_200)),seq(300,i=1..nops(vyazkost_X_300)+nops(vyazkost_X_300)
+nops(vyazkost_X_300))>:#концентрация
> pov_n_rho_4d_W:=<seq(pov_n_rho_100[1], i=1..nops(vyazkost_X_100)
+nops(vyazkost_X_100)+nops(vyazkost_X_100)),seq(pov_n_rho_200[1],i=1.. nops(
vyazkost_X_200)+nops(vyazkost_X_200)+nops(vyazkost_X_200)),
seq(pov_n_rho_300[1],i=1..nops(vyazkost_X_300)+nops(vyazkost_X_300)+nops(
vyazkost_X_300))>:#поверхностное натяжение
> pov_n_rho_module:=Fit((b0+t*b1)*(a0+a1*p)*(c0+c1*c),Matrix([
pov_n_rho_4d_X,pov_n_rho_4d_Y,pov_n_rho_4d_Z]),pov_n_rho_4d_W,[p,t,c],
output=solutionmodule):#подбор модели с поправочными коэффициентами
```

```

>pov_n_rho_4d_f:=pov_n_rho_module:-Results(leastsquaresfunction):
> evalf(pov_n_rho_4d_f,8);
      (-0.00099383699 t + 75.420500) (-1.3930782 10-13 p
      + 140.98822) (0.000050825237 c + 0.093825911)

> pov_n_rho_4d_coef:=height_module:-Results(parametervector):
>1-pov_n_rho_module:-Results(residualsumofsquares)/ (Variance(pov_n_rho_4d_W)*
(Size(pov_n_rho_4d_W)[1]-1));
      0.999260876124754

```

Таблица К.1 – План и результаты эксперимента по распределению связующего в объеме тканого полотна при пропитке в условия СВЧ-обработки

№	Мощность P, Вт	Продолжительность τ, с	Концентрация с, г/л	Коэффициент пропитки $k_{\text{проп}} = \frac{V_0}{V_{\text{проп}}}$
1	300	30	100	0,492
2	300	30	200	0,502
3	300	30	300	0,509
4	300	60	100	0,476
5	300	60	200	0,526
6	300	60	300	0,527
7	300	90	100	0,430
8	300	90	200	0,571
9	300	90	300	0,625
10	450	30	100	0,450
11	450	30	200	0,492
12	450	30	300	0,534
13	450	60	100	0,389
14	450	60	200	0,436
15	450	60	300	0,467
16	450	90	100	0,474
17	450	90	200	0,564
18	450	90	300	0,556
19	600	30	100	0,379
20	600	30	200	0,473
21	600	30	300	0,484
22	600	60	100	0,356
23	600	60	200	0,394
24	600	60	300	0,449
25	600	90	100	0,507
26	600	90	200	0,508
27	600	90	300	0,511

Программа оптимизации процесса пропитки тканого полотна в условиях СВЧ обработки

> #диапазоны желательности

> max_A:=0.05;min_A:=0;

min_H:=0;max_H:=70;

min_temp1:=18;

max_temp1:=35;

min_temp2:=35;

max_temp2:=50;

max_A := 0.05

min_A := 0

min_H := 0

max_H := 70

min_temp1 := 18

max_temp1 := 35

min_temp2 := 35

max_temp2 := 50

> d_A:=piecewise(A_app_va_t>=max_A,0,A_app_va_t<=min_A,1,(max_A-A_app_va_t)/(max_A-min_A));

$$d_A := \begin{cases} 0 & 0.05 \leq 0.000003333333333 p \text{ tm} \\ 1 & 0.000003333333333 p \text{ tm} \leq 0 \\ 1.000000000 - 0.00006666666666 p \text{ tm} & \text{otherwise} \end{cases}$$

> d_H:=piecewise(height_4d_f>=max_H,1,height_4d_f<=min_H,0,(height_4d_f-min_H)/(max_H-min_H));

> temp_4d_f;

(0.00422588016435192 tm + 0.0139130005956534) (0.0171509596109104 p + 0.476265136129974) (-0.0199810653990074 c + 32.8932789734025) + 17.6324336859621

> d_temp1:=piecewise(temp_4d_f>=max_temp1,1,temp_4d_f<=min_temp1,0,(temp_4d_f-min_temp1)/(max_temp1-min_temp1));

> d_temp2:=piecewise(temp_4d_f>=max_temp2,0,temp_4d_f<=min_temp2,1,(max_temp2-temp_4d_f)/(max_temp2-min_temp2));

> d_temp:=piecewise(

temp_4d_f>=max_temp2,0,

temp_4d_f<=min_temp1,0,

temp_4d_f=max_temp1,1,

(temp_4d_f>min_temp1)and(temp_4d_f<max_temp1),(temp_4d_f-min_temp1)/(max_temp1-min_temp1),

(temp_4d_f>max_temp1)and(temp_4d_f<max_temp2),(max_temp2-temp_4d_f)/(max_temp2-max_temp1));

>

display(plot3d(subs(c=C1,d_H),p=P1..P3,tm=0..60,color=blue,style=surface,transparency=0.25,lightmodel=light3),

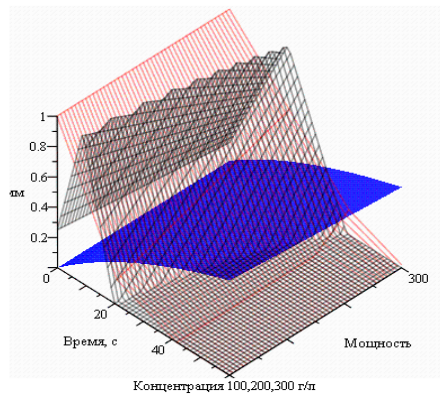
plot3d(d_A,p=P1..P3,tm=0..1000,color=red,style=line,transparency=0),

#plot3d(subs(c=C1,d_temp1),p=P1..P3,tm=0..60,color=black,style=line,transparency=0),

#plot3d(subs(c=C1,d_temp2),p=P1..P3,tm=0..60,color=black,style=line,transparency=0),

plot3d(subs(c=C1,d_temp),p=P1..P3,tm=0..60,color=black,style=line,transparency=0),

labels=["Мощность", "Время, с", "Высота, мм"],caption="Концентрация 100,200,300 г/л",axes=framed,view=[300..600,0..60,0..1]);



>

> **#вычисляем объединенный критерий оптимальности**

> $D_K := \text{surd}(d_A * d_H * d_{temp}, 3):$

> $\#D_K := \text{surd}(d_{temp} * d_H, 2):$

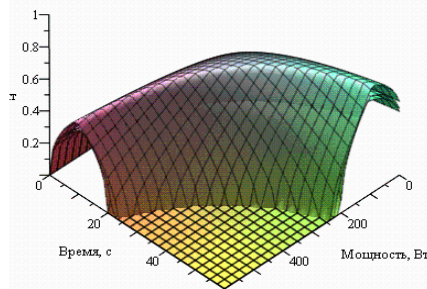
> *with(Optimization):*

> *display(plot3d(subs([c=C1,p=p],D_K),p=0..P3,tm=0..60),*

plot3d(subs([c=C2,p=p],D_K),p=0..P3,tm=0..60),

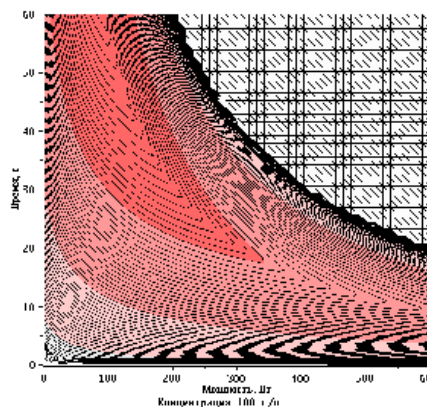
plot3d(subs([c=C3,p=p],D_K),p=0..P3,tm=0..60),

labels=["Мощность, Вт", "Время, с", "Коэффициент"], axes=framed, view=[0..600, 0..60, 0..1]);



> $\text{maxh} := \text{NLPsolve}(\text{subs}([c=C1], D_K), \text{maximize}, \text{method}=\text{nonlinearsimplex}, \text{evaluationlimit}=1000);$
*display(contourplot(subs([c=C1,p=p], D_K), p=0..P3, tm=0..60, contours=[seq(0+i*maxh[1]/100, i=0..100)], filledregions = true, coloring = [white, red], thickness=0),*
labels=["Мощность, Вт", "Время, с"], caption="Концентрация 100
г/л", axes=framed, view=[0..P3, 0..60]
, pointplot([rhs(maxh[2][1]), rhs(maxh[2][2])], symbol=cross)
, labeldirections=[horizontal, vertical], thickness=3, font=[Courier, bold, 14], legendstyle=[font=[Courier, bold, 12]]);

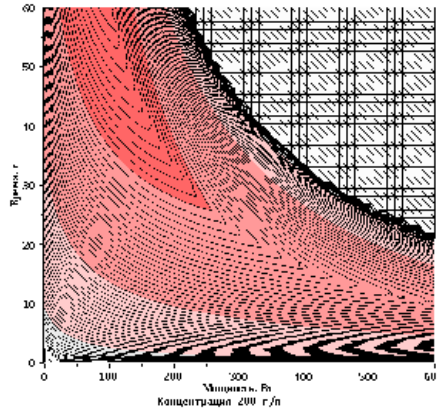
$\text{maxh} := [0.999999999779343, [p = -6.93122104458295, tm = 368.920332121198]]$



> $\text{maxh} := \text{NLPsolve}(\text{subs}([c=C2], D_K), \text{maximize}, \text{method}=\text{nonlinearsimplex}, \text{evaluationlimit}=1000);$

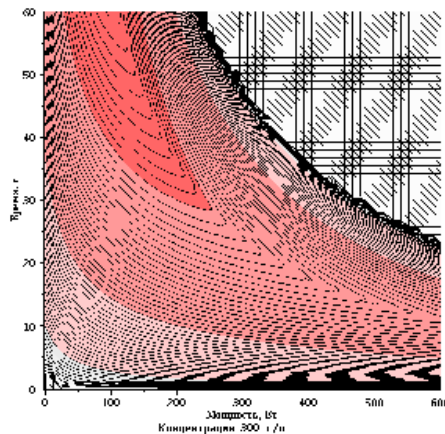
```
display(contourplot(subs([c=C2,p=p],D_K),p=0..P3,tm=0..60,contours=[seq(0+i*maxh[1]/100,i=0..100)],filledregions = true, coloring = [white, red],thickness=0),
labels=["Мощность, Вт","Время, с"],caption="Концентрация 200
г/л",axes=framed,view=[0..P3,0..60]
,pointplot([rhs(maxh[2][1]),rhs(maxh[2][2])],symbol=cross)
,labeldirections=[horizontal,vertical],thickness=3,font=[Courier,bold,14],legendstyle=[font=[Courier,bold,12]]);
```

```
maxh := [0.9999999998729128, [p = -25.5641720772069, tm = 3757.70757558657]]
```



```
> maxh:=NLPsolve(subs([c=C3],D_K),maximize,method=nonlinearsimplex,evaluationlimit=1000);
display(contourplot(subs([c=C3,p=p],D_K),p=0..P3,tm=0..60,contours=[seq(0+i*maxh[1]/100,i=0..100)],filledregions = true, coloring = [white, red],thickness=0),
labels=["Мощность, Вт","Время, с"],caption="Концентрация 300
г/л",axes=framed,view=[0..P3,0..60]
,pointplot([rhs(maxh[2][1]),rhs(maxh[2][2])],symbol=cross)
,labeldirections=[horizontal,vertical],thickness=3,font=[Courier,bold,14],legendstyle=[font=[Courier,bold,12]]);
```

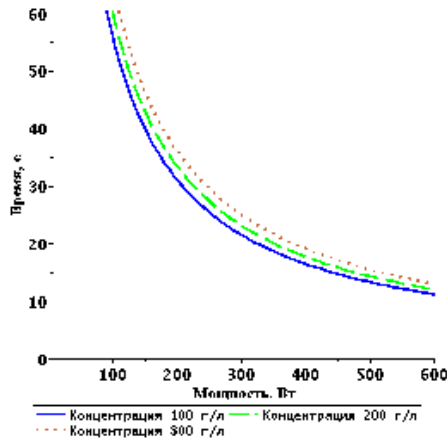
```
maxh := [0.980757068829600787, [p = -25.9266791529962, tm = 4831.16837835224]]
```



```
> opt_pt:=(power,con)-
> rhs(NLPsolve(subs([c=con,p=power],D_K),maximize,method=nonlinearsimplex,evaluationlimit=1000)[2][1]):
>
> points_pt:=(con)->[seq([i*10,opt_pt(i*10,con)],i=0..100)]:
> f_pt:=(con)->Fit(a0/(a1+p),points_pt(con),p):
display(
#pointplot(points_pt(C3),color=red),
plot(f_pt(C1),p=10..1000,color=blue,linestyle=solid,legend="Концентрация 100 г/л"),
plot(f_pt(C2),p=10..1000,color=green,linestyle=dash,legend="Концентрация 200 г/л"),
plot(f_pt(C3),p=10..1000,color=gold,linestyle=dot,legend="Концентрация 300 г/л"),
```



```
view=[10..600,0..60],labels=["Мощность, Вт","Время, с"]
,labeldirections=[horizontal,vertical],thickness=3,font=[Courier,bold,14],legendstyle=[font=[Courier,bold,12]]);
```



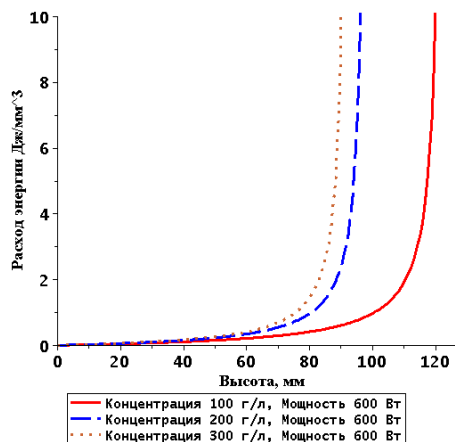
```
> evalf(time_100=f_pt(C1),3);
evalf(time_200=f_pt(C2),3);
evalf(time_300=f_pt(C3),3);
```

$$time_{100} = \frac{6980.}{24.8 + p}$$

$$time_{200} = \frac{7520.}{25.1 + p}$$

$$time_{300} = \frac{8130.}{25.2 + p}$$

```
> A_H_f:=(con,power)-
> subs(tm=h,subs([tm=rhs(isolate(subs([c=con,p=power],height_4d_f)=h,tm)),p=power],A_app_va_t
)):
>
plot([A_H_f(100,600),A_H_f(200,600),A_H_f(300,600)],h=0..130,y=0..10,color=[red,blue,gold],disc
ont=true
,labels=["Высота, мм","Расход энергии Дж/мм^3"]
,linestyle=[solid,dash,dot]
,legend=["Концентрация 100 г/л, Мощность 600 Вт","Концентрация 200 г/л, Мощность 600
Вт","Концентрация 300 г/л, Мощность 600 Вт"]
,labeldirections=[horizontal,vertical],thickness=3,font=[Courier,bold,14],legendstyle=[font=[Courier,bold,12]]);
```



**ДОКУМЕНТЫ, ПОДТВЕРЖДАЮЩИЕ ВНЕДРЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ
АЭРОДИНАМИЧЕСКОГО ФОРМИРОВАНИЯ ВОРСОВОГО ПОКРЫТИЯ**

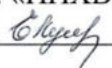
УТВЕРЖДАЮ
Главный инженер
РУП ФХИ «Купава»
А.В. Винокурова
« 12 » 2008
М.П.




Проект технологического регламента
получения
многослойных текстильных материалов

Разработано:

аспирант каф. «ПНХВ»
Чукасова-Ильюшкина
Е.В. _____

аспирант каф. «ПНХВ»
Кулаженко Е.Л. 

к.т.н., доц. каф. химии
докторант каф. «ПНХВ»
Ясинская Н.Н. 

Витебск 2008

УТВЕРЖДАЮ
 Главный инженер РУП «Купава»

(подпись)
 Винокурова А.В.
 (инициалы, фамилия)
 «12» _____ 2008г.



АКТ

о практическом использовании результатов исследования

в _____ швейной промышленности
 (сфера, в которой нашли практическое применение результаты исследования*)
 Комиссия в составе _____ Белая Е.И., Полевечко О.В., Чукасова-Ильюшкина Е.В.,
 Кулаженко Е.Л., Ясинская Н.Н. настоящим подтверждает,
 что _____ Республиканским унитарным предприятием Витебской фабрики
 художественных изделий «Купава»
 (название структурного подразделения организации)
 осуществлено внедрение в технологический процесс изготовления швейных изделий
 технологии получения многослойных материалов с использованием отходов текстильной
 промышленности
 (указываются конкретные научные результаты, которые нашли применение)
 полученных _____ аспирантом Чукасовой – Ильюшкиной Е.В., аспирантом Кулаженко Е.Л.,
 докторантом Ясинской Н.Н.
 (фамилия, имя, отчество автора (авторов) исследования)
 при выполнении НИР на тему «Разработать технологические процессы и освоить
 производство новых видов многослойных текстильных материалов бытового и
 технического назначения»
 (название программы, проекта, темы НИР)
 для _____ расширения ассортимента многослойных материалов и области использования
 текстильных отходов
 (указываются решаемые практические задачи)
 на основании чего _____ получены многослойные текстильные материалы с волокнистым
 покрытием для изготовления швейных изделий
 (приводятся конкретные результаты практического использования)
 Экономический эффект от использования результатов составил _____ 9267100 (расчет
 прилагается).

Члены комиссии:

(подпись)

Ясинская Н.Н.
 (инициалы, фамилия)
 Белая Е.И.
 Полевечко О.В.
 Чукасова-Ильюшкина Е.В.
 Кулаженко Е.Л.

12.05.2008

(дата)

УТВЕРЖДАЮ
 Главный инженер
 РУП Витебская фабрика
 художественных изделий
 «Купава»

«12» _____ 2008

РАСЧЕТ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВНЕДРЕНИЯ
 ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ МНОГОСЛОЙНЫХ МАТЕРИАЛОВ В
 ПРОИЗВОДСТВО ИЗДЕЛИЙ НА ПРЕДПРИЯТИИ «КУПАВА»

1. Расчет производственной себестоимости на единицу продукции
 представлен в таблице 1.

Таблица 1

КАЛЬКУЛЯЦИЯ
 Наименование изделия Жакет женский
 Артикул 8с98-266

Статья затрат	%	Сумма затрат на изделие с вышивкой	Сумма затрат на изделие с напылением
Ткань льняная 6457×1.45 м		9363	9363
Клеевая прокладка 630×0.25 м		158	158
Нитки		4332	457
Пуговицы 4 шт.		96	96
Краска акриловая		-	2000
Итого основное сырье		13949	12074
Вспомогательные материалы		400	400
Зарплата основная		15458	3399
Зарплата дополнительная	15	2319	510
Отчисления на соцстрах, в фонд занятости	35	6222	1368
Общепроизводственные расходы	123,7	19121	4205
Общехозяйственные расходы	237,4	36697	8069
Полная себестоимость		94166	30025
Прибыль	20	18833	6005
Оптовая цена		112999	36030
Налог с/х и жилищный	2	2306	735
Отпускная цена без НДС		115305	36770
НДС	18	20755	6619
Отпускная цена с НДС		136060	43389

Средняя производственная себестоимость одной единицы продукции с частичным волокнистым покрытием составила 43389 руб. с учетом НДС в ценах на апрель 2008г.

2. Для расчета экономического эффекта сравним производственную себестоимость получения такого же рисунка получаемого с помощью вышивки гладью на оборудовании данного предприятия.

Производственная себестоимость одной единицы продукции с вышивкой составляет 136060 руб. в ценах на апрель 2008г.

Таким образом, экономический эффект от замены вышивки на изготовление рисунка с волокнистым покрытием составит:

$$AC = C_b - C_o = 13\ 6060 - 43\ 389 = 92671 \text{ руб (на единицу продукции).}$$

При объеме производства 100 единиц в год планируемый годовой экономический эффект от внедрения данной технологии составит:

$$\text{Эг} = \text{ДС} * \text{Вг} = 92671 * 100 = 9267100 \text{ руб.}$$

СОГЛАСОВАНО:

Проректор по научной работе
Учреждения образования
«Витебский государственный
технологический университет»
В. В. ПЯТОВ
« 1 » 2007 г.

**УТВЕРЖДАЮ:**

Директор
(должность руководителя)
«Спецпожтехника»
(наименование предприятия)
А. В. ВУГЛЕР
« 1 » 03 2007 г.
М.П.

АКТ**об использовании (внедрении) НИР**

Мы, нижеподписавшиеся, представители предприятия _____ «Спецпожтехника»
технолог Киселев Николай Николаевич

(наименования предприятия, должность, Ф.И.О.)

с одной стороны, и представители Учреждения образования «Витебский государственный технологический университет» зав. кафедрой ПНХВ Коган А.Г., доцент кафедры химии докторант каф. «ПНХВ» Ясинская Н.Н., аспирант кафедры ПНХВ Чукасова-Ильющкина Е.В., аспирант кафедры «ПНХВ» Кулаженко Е.Л., начальник НИС Беликов С.А.

(должность, Ф.И.О.)

с другой стороны, составили настоящий акт об использовании (внедрении) результатов хозяйственной (госбюджетной) научно-исследовательской работы № 348 «Технология получения композиционных материалов с использованием химических волокон и отходов текстильного производства»

(наименование НИР)

стоимостью 23 миллиона рублей ()

Срок проведения работы: начало «01» 03 2006г.
окончание «31» 12 2006г.

Принята заказчиком « 15 » января 2007 года, внедрена и используется с «15» января 2007 года.

Наименование объекта внедрения технология аэродинамического напыления

Объем внедрения (натур. ед.) 1000 м²

Результат, полученный от использования (внедрения) НИР: новый ассортимент текстильных покрытий

В объекте использованы заявка № а 20051295; заявка № а 20050939
(№№ патентов, заявок)

Годовой фактический / ожидаемый (ненужное зачеркнуть) экономический эффект от внедрения составляет цена 1м² 30000 рублей (тридцать тысяч рублей)

(цифрами и прописью)

Долевое участие УО «ВГТУ» --- % составляет ---

(цифрами и прописью)

Расчет экономического эффекта прилагается и является неотъемлемой частью настоящего акта

Представители УО «ВГТУ»

Руководитель НИР
Коган А.Г.
(подпись) (Ф.И.О.)

Начальник НИС
Беликов С.А.
(подпись) (Ф.И.О.)

Ясинская Н.Н.
(подпись) (Ф.И.О.)

Чукасова-Ильющкина Е.В.
(подпись) (Ф.И.О.)

Кулаженко Е.Л.
(подпись) (Ф.И.О.)

Представители предприятия

Киселев Н.Н.
(подпись) (Ф.И.О.)

Учреждение образования
Витебский государственный технологический университет

СОГЛАСОВАНО
Заместитель
Главного государственного
санитарного врача
Республики Беларусь
" 14 " _____ г.
Рег. № _____



УТВЕРЖДАЮ:
Проректор по
научной работе
УО «ВГТУ»

Б.В. Пятов
" 14 " _____ г.
2007



ОБОИ ТЕКСТИЛЬНЫЕ ВОРСОВЫЕ *


Технические условия
ТУ ВУ 300031282.043-2007

Срок введения
с « » _____ 200
до « » _____ 200

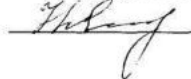
Разработано:

УО «ВГТУ»

аспирант кафедры «ПНХВ»

 Е.В. Чукасова-Ильющкина

доцент кафедры «Химия»

 Н.Н. Ясинская

УТВЕРЖДАЮ

Зам. генерального директора
по техническому развитию
ОАО «Гомельобои»

(подпись)
Л.Н.Реджебова
(инициалы, фамилия)
«19» сентября 2008г.
МП

АКТ

о практическом использовании результатов исследования

в бумажной промышленности
(сфера, в которой нашли практическое применение результаты исследования*)
Комиссия в составе: Третьяков В.К., Старовойтов В.С., Кулаженко Е.Л., Чукасова-Ильюшкина Е.В., Ясинская Н.Н. настоящим подтверждает,
что Открытым акционерным обществом «Гомельобои»
(название структурного подразделения организации)
осуществлено внедрение в технологический процесс изготовления настенных покрытий технологии получения многослойных материалов с использованием отходов текстильной промышленности
(указываются конкретные научные результаты, которые нашли применение)
полученных аспирантом Кулаженко Е.Л., аспирантом Чукасовой – Ильюшкиной Е.В., докторантом Ясинской Н.Н.
(фамилия, имя, отчество автора (авторов) исследования)
при выполнении НИР на тему «Разработать технологические процессы и освоить производство новых видов многослойных текстильных материалов бытового и технического назначения»
(название программы, проекта, темы НИР)
для расширения ассортимента многослойных материалов и области использования текстильных отходов
(указываются решаемые практические задачи)
на основании чего получены многослойные материалы с волокнистым покрытием строительного назначения
(приводятся конкретные результаты практического использования)
Экономический эффект от использования результатов составил 21394 руб. (расчет прилагается).

Члены комиссии:

Л.Н.Реджебова
(подпись)

Е.В.Ильюшкина

В.С.Старовойтов

Третьяков В.К.
(ФИО)
Чукасова-Ильюшкина Е.В.
Кулаженко Е.Л.
Старовойтов В.С.
Ясинская Н.Н.

19.09.2008г.

(дата)

Расчет экономического эффекта, получаемого от использования аэродинамического способа получения многослойных рулонных текстильных материалов

Расчет проводился с учетом объема планируемого выпуска в количестве 1000 условных кусков. Расчет производственной себестоимости на единицу продукции представлен в таблице

Таблица - Расчет производственной себестоимости

Статья затрат	Норма расхода	Цена, руб.	Сумма, тыс. руб.
Бумага 80 г/м ² , кг	3910	120	469200
Ворс, кг	240	200	48000
Химикаты			467887
Итого основное сырье			985087
Вспомогательные материалы	0,4	2370	948
Упаковочные материалы			56454
Электроэнергия			23615
Зарплата основная и дополнительная			175700
Отчисления на соцстрах			61495
ИТОГО			1303299
Общепроизводственные расходы			1612180
Общехозяйственные расходы			3094031
Полная себестоимость			6009510
Прибыль			120190,2
Отпускная цена без учета налогов			6129700,2
Единый налог с выручки			122594,004
НДС			1125412,96
Отпускная цена с учетом налогов			7377707,16

Площадь условного куска составляет 3 м², площадь 1-го нормального куска (1 трубки) составляет 5,34 м². Таким образом, планируемая отпускная цена с НДС для одной трубки обоев составляет 13140 рублей.

Планируемый экономический эффект при изготовлении обоев текстильных ворсовых с использованием подготовленных коротковолокнистых отходов выражается в дополнительной прибыли, которую получит предприятие при освоении данного вида продукции и при выпуске 100000 н.к обоев составит:

$$Эг = 100000 * 120,190 / 3 * 5,34 = 21393,820 \text{ тыс. рублей}$$

УТВЕРЖДАЮ
 Директор филиала «Гомельобои»
 ОАО «Белорусские обои»



АКТ

о практическом использовании результатов исследования

в бумажной промышленности
 (сфера, в которой нашли практическое применение результаты исследования*)
 Комиссия в составе: Третьяков В.К., Кулаженко Е.Л., Ясинская Н.Н., Коган А.Г.,
 настоящим подтверждает, что филиалом «Гомельобои» ОАО «Белорусские обои»
 (название структурного подразделения организации)
осуществлено внедрение в технологический процесс изготовления обоев бумажных
декорированных волокнистым материалом с использованием отходов текстильной
промышленности
 (указываются конкретные научные результаты, которые нашли применение)
 полученных ст.преп. Кулаженко Е.Л., докторантом Ясинской Н.Н.
 (фамилия, имя, отчество автора (авторов) исследования)
 при выполнении НИР на тему «Разработать и исследовать технологический процесс
подготовки волокнистой массы и нанесения ее на основу»
 (название программы, проекта, темы НИР)
 для расширения ассортимента композиционных материалов и области использования
текстильных отходов
 (указываются решаемые практические задачи)
 на основании чего получены композиционные материалы с волокнистым покрытием
строительного назначения (обои бумажные декорированные волокнистым материалом)
 (приводятся конкретные результаты практического использования)
 Экономический эффект от использования результатов составил 145,180 тыс руб.
 (расчет прилагается).

Члены комиссии:

[Signature]
 (подпись)
[Signature]
[Signature]
[Signature]

Коган А.Г.
 (ФИО)
Ясинская Н.Н.
Третьяков В.К.
Кулаженко Е.Л.

23.09 2010
 (дата)

УТВЕРЖДАЮ
Зам. генерального директора
по техническому развитию
ОАО «Гомельобой»

Л.Н.Реджебова
 «13» марта 2008 г.



АКТ ИСПЫТАНИЯ

г. Гомель

«13» марта 2008 г.

Заказчик	ОАО «Гомельобой»
Предмет испытания	Установка для нанесения волокнистого материала на поверхность основы
Название учреждения, проводящего испытания	ОАО «Гомельобой»
Названия учреждения-разработчика объекта испытания	УО «Витебский государственный технологический университет»

Акт испытаний составлен на 3 страницах. Размножение частей акта только с письменного разрешения ОАО «Гомельобой». Результаты испытания действительны только для испытанного устройства.



1. Заказчик

По заказу ОАО «Гомельобои» при выполнении НИР на тему: «Разработать и исследовать технологический процесс подготовки волокнистой массы и нанесения ее на основу» научными сотрудниками кафедры «Прядение натуральных и химических волокон» УО «Витебский государственный технологический университет» Чукасовой-Ильющкиной Е.В., Ясинской Н.Н. разработана и изготовлена экспериментально-опытная установка для нанесения волокнистого материала на поверхность основы. ОАО «Гомельобои» проводит испытания данной установки с целью определения возможности ее использования на предприятии при производстве обоев с волокнистым покрытием.

2. Предмет испытания

Проводятся испытания установки для нанесения волокнистого материала на поверхность основы.

3. Название учреждения, проводящего испытания

ОАО «Гомельобои», Республика Беларусь, 246021, г. Гомель, ул. Севастопольская, 45.

4. Названия учреждения-разработчика объекта испытания

УО «Витебский государственный технологический университет» кафедра «Прядение натуральных и химических волокон», Республика Беларусь, 220004, г. Витебск, пр-т. Московский, 72.

Результаты испытания

В результате проведенных испытаний установки для нанесения волокнистого материала на поверхность основы установлено:

- установка для нанесения волокнистого материала на поверхность основы при работе формирует равномерный волокнистый настил;
- при изготовлении установки для нанесения волокнистого материала на поверхность основы использована современная элементная база и технология производства;
- установка для нанесения волокнистого материала на поверхность основы соответствует основным параметрам и техническим характеристикам, данным конструкторской документации (конструкторская документация прилагается);
- установка для нанесения волокнистого материал на поверхность основы безопасна для окружающей среды.

Заключение

Установка для нанесения волокнистого материала на поверхность основы рекомендуется для эксплуатации при производстве обоев с волокнистым покрытием.

**ДОКУМЕНТЫ, ПОДТВЕРЖДАЮЩИЕ ВНЕДРЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ
ФОРМИРОВАНИЯ СЛОИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ С ТКАНЫМ
ПОКРЫТИЕМ**

УО «ВГТУ»
ОАО «Белорусские обои»

УТВЕРЖДАЮ
Директор филиала «Белобои»
ОАО «Белорусские обои»
В.И. Смирнов
« » _____ 2010


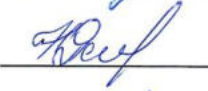


УТВЕРЖДАЮ
Проректор по научной
работе УО «ВГТУ»
В.В. Пятов
«25» _____ 2010



ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ РЕГЛАМЕНТ
ПРОИЗВОДСТВА ТЕКСТИЛЬНЫХ ОБОЕВ

Разработано:

 И.Н. Калиновская
 Н.Н. Ясинская
 А.Г. Коган

СОГЛАСОВАНО:

Проректор по научной работе
Учреждения образования
«Витебский государственный
технологический университет»
М.И. Литовский

**УТВЕРЖДАЮ:**

Главный инженер
(должность руководителя)

ОАО «Белорусские обои»
(наименование предприятия)

В.И. Смирнов
(подпись) (Ф.И.О.)

« 3 » _____ 2006 г.

АКТ**об использовании (внедрении) НИР**

Мы, нижеподписавшиеся, представители предприятия ОАО «Белорусские обои» главный инженер Смирнов В.И., технолог Давыдов В.В.

(наименование предприятия)

(должность, Ф.И.О.)

с одной стороны, и представители Учреждения образования «Витебский государственный технологический университет» зав. кафедрой ПНХВ Коган А.Г., доцент кафедры химии Ясинская Н.Н.

(должность, Ф.И.О.)

с другой стороны, составили настоящий акт об использовании (внедрении) результатов хозяйственной (госбюджетной) научно-исследовательской работы № 594 Освоить и внедрить в производство технологические процессы получения ламинированных текстильных материалов (текстильные настенные покрытия)

(наименование НИР)

стоимостью двадцать восемь миллионов руб.

Срок проведения работы: начало « 01 » 01 2006 г.
окончание « 31 » 12 2006 г.

Принята заказчиком « 1 » января 2007 г., внедрена и используется с « 1 » января 2007 г.

Наименование объекта внедрения текстильные настенные покрытия

Объем внедрения (натур. ед.) 15000 м пог.

Результат, полученный от использования (внедрения) НИР: новый ассортимент настенных покрытий

В объекте внедрения использованы _____

(№№ патентов, заявок)

Годовой фактический / ожидаемый (ненужное зачеркнуть) экономический эффект от внедрения составляет _____

(цифрами и прописью)

Долевое участие УО «ВГТУ» _____ %, что составляет _____

(цифрами и прописью)

Расчет экономического эффекта прилагается и является неотъемлемой частью настоящего акта.

Представители УО «ВГТУ»

Руководитель НИР

Коган А.Г.
(подпись) (Ф.И.О.)

Начальник НИС

Беликов С.А.
(подпись) (Ф.И.О.)

Ясинская Н.Н.
(подпись) (Ф.И.О.)

Представители предприятия

Смирнов В.И.
(подпись) (Ф.И.О.)

Давыдов В.В.
(подпись) (Ф.И.О.)

(подпись) (Ф.И.О.)

Калькуляция на текстильные обои

	Текстильные обои, т.у.к.		
	Норма расхода	Цена, руб.	Сумма, руб
Бумага 80 г/м ²	3360	125,033	420111
Текстильный материал	3136	2580	8090880
Возвратные отходы			- 6120
Транспортные расходы			26700
Химикаты			
Краска "Силка"	0,75	42103	31577
Спирт этиловый	2,5	1434	3585
ПВС	1,44	7224	10403
ОЛД-02-ЭМА	3,6	1844	6638
ПВА	2,7	1770	4779
Дибутилфталат	0,36	1770	637
Кислота ортофосфорная	0,005	2858	14
КМЦ	0,05	2548	127
ИТОГО:			8589331
Вода			869
Топливо			7564
Эл. энергия			18254
Зарплата основная			78196
Отчисления на соц. Страх			27369
Чернобыльский фонд, ФЗ			3128
Страхование от несчастных случаев			782
Упаковочные материалы			26780
Общепроизводственные расходы			258946
Цеховая себестоимость			9011219
Общехозяйственные расходы			699271
Внепроизводственные расходы			50026
Полная себестоимость			9760516
Рентабельность (25%)			2440129
Оптовая цена			12200645
Налог в местный бюджет (1,15%)			141940
Налог в республиканский бюджет (3,0%)			381729
НДС			2290377
Отпускная цена, 1 т.у.к.			15014691
Отпускная цена, 1 н.к.			26726
Отпускная цена 1 н.к. в дол. США			12,39

Расчет полной себестоимости производится на тысячу условных кусков обоев (т.у.к.). Расчет отпускной цены осуществляется для т.у.к. и нормального куска обоев (н.к.), длина которого соответствует длине рулона обоев, то есть 110,0 см ± 1,5%.

СОГЛАСОВАНО:

Проректор по научной работе
Учреждения образования
«Витебский государственный
технологический университет»

В.В. Пятов

« 4 » _____ 2008 г.

М.П.

УТВЕРЖДАЮ:

Ф.И.О. главного инженера

(должность руководителя)

РУПТП "Оршанский льнокомбинат"

(наименование предприятия)

А.В. Василевская

(подпись)

(Ф.И.О.)

« 3 » _____

2008 г.

М.П.

АКТ**об использовании (внедрении) НИР**

Мы, нижеподписавшиеся, представители предприятия РУПТП "Оршанский льнокомбинат"
(наименование предприятия)

начальник технического отдела Самоцветов К.В., главный специалист
СРНАП Сазонова Т.В.

(должность, Ф.И.О.)

с одной стороны, и представители Учреждения образования «Витебский государственный технологический университет» зав. кафедрой ПНХВ Коган А.Г., лаборант кафедры ПНХВ
Калиновская И.Н., доцент кафедры химии Ясинская Н.Н., начальник НИС Беликов
С. А.

(должность, Ф.И.О.)

с другой стороны, составили настоящий акт об использовании (внедрении) результатов хозяйственной (госбюджетной) научно-исследовательской работы № 831 «Разработать технологические процессы и освоить производство новых видов многослойных текстильных материалов бытового и технического назначения»

(наименование НИР)

стоимостью сто восемьдесят миллионов
руб.

Срок проведения работы: начало « 03 » 01 2007 г.
окончание « 30 » 12 2008 г.

Принята заказчиком « 10 » 08 2007 г., внедрена и используется с « 10 »
08 2007 г.

Наименование объекта внедрения декоративная ткань для текстильных настенных покрытий

Объем внедрения (натур. ед.) 25000 м пог.

Результат, полученный от использования (внедрения) НИР: новый ассортимент тканей для текстильных настенных покрытий

В объекте внедрения использованы _____

(№№ патентов, заявок)

Годовой фактический / ~~ожидаемый~~ (ненужное зачеркнуть) экономический эффект от внедрения составляет _____

1284,225 тыс. руб.

Долевое участие УО «ВГТУ» _____ %, что составляет _____

(цифрами и прописью)

Представители УО «ВГТУ»

Руководитель НИР

Коган А.Г.

(подпись)

(Ф.И.О.)

Начальник НИС

Беликов С.А.

(подпись)

(Ф.И.О.)

Калиновская И.Н.

(подпись)

(Ф.И.О.)

Ясинская Н.Н.

(подпись)

(Ф.И.О.)

Представители предприятия

Самоцветов К.В.

(подпись)

(Ф.И.О.)

Сазонова Т.В.

(подпись)

(Ф.И.О.)

(подпись)

(Ф.И.О.)

(подпись)

(Ф.И.О.)

ПРИЛОЖЕНИЕ Н

**ДОКУМЕНТЫ, ПОДТВЕРЖДАЮЩИЕ ВНЕДРЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ
ФОРМИРОВАНИЯ КОМБИНИРОВАННЫХ КАРКАСНЫХ
ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Центр испытаний и сертификации учреждения образования
"Витебский государственный технологический университет"
Испытательный центр

210035, г. Витебск, Московский проспект, 72
тел. 47-10-78, тел/факс: 48-07-90,
e-mail: ic@vstu.by

Аккредитован на техническую компетентность
и независимость в Системе аккредитации РБ
Аттестат аккредитации № ВУ/112 02.1.0.0862
до 15.05.2015



УТВЕРЖДАЮ:
Начальник ЦИиС
Л.Н. Шеверина
«28» ноября 2013 г.

На 3-х страницах

ПРОТОКОЛ ИСПЫТАНИЙ ПРОДУКЦИИ

Наименование продукции, изготовитель (страна, фирма): 1) Текстильный композиционный материал арт. 10С9-ВШ, состав сырья: 100% - вискоза, производство ОАО «Витебский комбинат шелковых тканей», обр. 1.

Заявитель, его адрес: УО «Витебский государственный технологический университет», кафедра «Прядение натуральных и химических волокон», 210035, г. Витебск, Московский пр-т, 72

ТНПА, устанавливающие требования к объекту испытания, № пунктов: _____
Количество образцов, ТНПА на отбор, дата акта отбора образцов, организация, проводившая отбор: по 3 (три) точечные пробы тканей, по ГОСТ 20566-75, акт отбора от 17.11.2011, кафедра «Прядение натуральных и химических волокон»

Вид испытаний: для собственных нужд

Дата получения образцов: 17.11.2013 г.

Продолжительность испытаний (начало-конец): 18.11.2013-19.11.2013 г.

Условия проведения испытаний: температура – 18-19 °С, относительная влажность – 63-64 %

ИСПЫТАТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ИСПЫТАНИЙ

№ п/п	Наименование испытательного оборудования, средства измерений	Заводской номер	Срок действия метрологической аттестации, поверки	Примечание
1	2	3	4	5
1.	Весы технические ВА-4М	0065	март 2014	
2.	Линейка металлическая	-	июль 2014	
3.	Рулетка измерительная	-	ноябрь 2014	
4.	Лупа текстильная ЛТ-4 ^х	б/н	февраль 2014	
5.	Прибор ИЭСП-2	20	сентябрь 2014	
6.	Секундомер СОСпр-2б	6504	декабрь 2013	
7.	Прибор ПЖУ-12М	769	август 2014	
8.	Шкаф сухо-тепловой ГП 40-400	0041	октябрь 2015	
9.	Весы лабораторные электронные РА 214С	8330500684	октябрь 2014	
10	Термометр лабораторный	-	июнь 2017	
11	Весы технические ВА-4М	227	октябрь 2014	
12	Весы ВЛР-200	355	октябрь 2014	

Протокол испытаний продукции

1	2	3	4	5
13.	Машина разрывная РТ-250	94	март 2014	
14.	Прибор ДИТ-2М	8	Июль 2015	
15.	Фотометр фотоэлектрический КФК-3-01 «ЗОМЗ»	1270724	декабрь 2014	
16.	Климатический испытательный шкаф КРВ 1/4	47 (инв. № 07109994)	ноябрь 2014	
17.	Прибор измерительный ПИ-002/2А	678	ноябрь 2014	
18.	Гигрометр психометрический ВИТ-1	30	июль 2014	

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ

Наименование показателя и требований, единицы измерения	Обозначения ТНПА, устанавливающих требования, № пунктов	Нормированное значение	Результаты испытаний	Обозначение ТНПА на методы испытаний	Вывод о соответствии ТНПА
1	2	3	4	5	6
1. Поверхностная плотность, г/м ² : - обр. 1 текстильный композиционный материал арт. 10С9-ВШ, состав сырья: 100% - вискоза		по факту	561,3	ГОСТ 3811-72	
2. Разрывная нагрузка, Н: - обр. 1 текстильный композиционный материал арт. 10С9-ВШ, состав сырья: 100% - вискоза по основе по утку		по факту	1413 2374	ГОСТ 3813-72	
3. Удлинение при разрыве, % - обр. 1 текстильный композиционный материал арт. 10С9-ВШ, состав сырья: 100% - вискоза по основе по утку		по факту	23,1 28,3	ГОСТ 3813-72	
4. Изменение размеров после мокрой обработки, %: - обр. 1 текстильный композиционный материал арт. 10С9-ВШ, состав сырья: 100% - вискоза по основе по утку		по факту	-12,5 -12,7	ГОСТ 30157.0-95 ГОСТ 30157.1-95	
5. Удельное поверхностное электрическое сопротивление, Ом: - обр. 1 текстильный композиционный материал арт. 10С9-ВШ, состав сырья: 100% - вискоза		по факту	5,1·10 ¹¹	ГОСТ 19616-74	

Протокол испытаний продукции

1	2	3	4	5	6
6. Жёсткость, гс - обр. 1 текстильный композиционный материал арт. 10С9-ВШ, состав сырья: 100% - вискоза в продольном направлении в поперечном направлении		по факту	31 51	ГОСТ 10550-93 ГОСТ 8977-74	
7. Стойкость к истиранию, циклы - обр. 1 текстильный композиционный материал арт. 10С9-ВШ, состав сырья: 100% - вискоза		по факту	Свыше 1500	ГОСТ 18976-73	
8. Содержание формальдегида, мкг/г: - обр. 1 текстильный композиционный материал арт. 10С9-ВШ, состав сырья: 100% - вискоза		по факту	0	ГОСТ 25617-83	
9. Содержание аппрета, % - обр. 1 текстильный композиционный материал арт. 10С9-ВШ, состав сырья: 100% - вискоза		по факту	4,8	ГОСТ 25617-83	

Испытания провели:

инженер
должность


подпись

С.С. Чугунова
ФИО

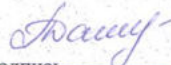
ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты испытаний текстильного композиционного материала арт. 10С9-ВШ, состав сырья: 100% - вискоза, производство ОАО «Витебский комбинат шёлковых тканей» представлены в таблице.

Результаты испытаний распространяются только на испытанные образцы.
Воспроизведение протокола возможно только в полном объеме и с письменного разрешения ЦИиС Витебского государственного технологического университета.

Достоверность полученных результатов проверил:

инженер I кат.
должность


подпись

Т.В. Адаменко
ФИО

**ЦИиС УО «ВГТУ»
СЕКТОР ИСПЫТАНИЙ**

Данный протокол оформлен на двух листах в 2-х экземплярах и направлен:
1 экз. – в дело УО «ВГТУ» кафедра «ПНиХВ»,
2 экз. – в дело ЦИиС Витебского государственного технологического университета.

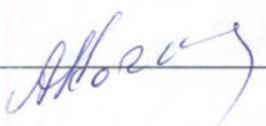
УТВЕРЖДАЮ
 Главный инженер
 ОАО «ВКШТ»
 В.П. Данилов
 « » 2013г.



Проект технологического регламента процесса получения текстильного композиционного материала из вискозных нитей способом импрегнирования

Разработано:
 УО «ВГТУ»:

Научный руководитель НИР,
 д.т.н., проф. каф. «ПНХВ»

 Коган А.Г.

к.т.н., доц.каф. «Химия»

 Ясинская Н.Н.

Инженер «ЦИИС»

 Мурычева В.В.

Разработано:
 ОАО «ВКШТ»:

Начальник
 технического отдела

 Т.В. Абазовик

Витебск 2013



Материалы текстильные композиционные
Технические условия (проект)
ТУ ВУ 300031282.070-2013

Разработано:
УО «ВГТУ»:

Научный руководитель НИР,
д.т.н., проф. каф. «ПНХВ»

 Коган А.Г.

к.т.н., доц.каф. «Химия»


 Ясинская Н.Н.

Инженер «ЦИиС»

 Мурычева В.В.

Разработано:
ОАО «ВКШТ»:

Начальник
технического отдела

 Т.В. Абазовик

Витебск 2013

УТВЕРЖДАЮ
 Директор ЧП «ВитМа»
 Сарбай Г.Г.
 10 / 2013 г.
 М.П.
 ЧУВАШСКОЕ УНИВЕРСАЛЬНОЕ
 ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ
 ПРЕДПРИЯТИЕ
 г.Вятка

Заключение

о переработке текстильных композиционных материалов

Текстильные композиционные материалы со специальными видами отделки, выработанные по технологии, разработанной по заданию отраслевой научно-технической программы «Инновационные технологии в легкой промышленности» №841/941 на тему «Разработать технологию производства технических материалов специального назначения», использованы в производстве галантерейных изделий – сумки.

Таблица – Физико-механические показатели текстильных композиционных материалов

Наименование показателя	Единица измерения	Значение	
		ТКМ из вискозных нитей	ТКМ из льняных нитей
Линейная плотность нитей - основы - утка	текс	195 390	110 86x2
Плотность ткани - по основе - по утку	нит/10см	80 62	86 126
Жесткость - в продольном направлении - в поперечном направлении	г	50 145	24,4 6,2
Удельное поверхностное электрическое сопротивление	Ом	$3,0 \cdot 10^{10}$	$1,7 \cdot 10^{10}$
Поверхностная плотность	г/м ²	576	238

В результате апробации установлена возможность использования текстильных композиционных материалов со специальными видами отделки для производства галантерейных изделий (акт апробации прилагается).

СОГЛАСОВАНО:

Проректор по научной работе
Учреждения образования
«Витебский государственный
технологический университет»


(подпись) Е.В. Ванкевич
(Ф.И.О.)
« » 2013 г.
М.П.

УТВЕРЖДАЮ:

Директор
(должность руководителя)
ЧП «ВитМа»
(наименование предприятия)


(подпись) Г.Г. Сарбай
(Ф.И.О.)
М.П. 2013 г.

АКТ**об использовании (внедрении) НИР**

Мы, нижеподписавшиеся, представители предприятия ЧП «ВитМа», директор Сарбай Г.Г.
(наименование предприятия, должность, Ф.И.О.)
с одной стороны, и представители Учреждения образования «Витебский государственный технологический университет» зав. кафедрой «ПНХВ» Коган А.Г., доцент кафедры химии Ясинская Н.Н., аспирант кафедры «ПНХВ» Базеко В.В.
(должность, Ф.И.О.)

с другой стороны, составили настоящий акт об использовании (внедрении) результатов хозяйственной (госбюджетной) научно-исследовательской работы № 841/941 «Разработать технологию производства технических материалов специального назначения»
(наименование НИР)

стоимостью четыреста девяносто четыре миллиона четыреста тысяч руб.

Срок проведения работы: начало «03» января 2012 г.
окончание «31» декабря 2016 г.

Принята заказчиком «01» апреля 2013 г., внедрена и используется с «01» апреля 2013 г.

Наименование объекта внедрения текстильные композиционные материалы

Объем внедрения (натур. ед.) 1000 пог.м.

Результат, полученный от использования (внедрения) НИР: галантерейные изделия со специальными видами заключительной отделки


В объекте внедрения использованы _____
(№№ патентов, заявок)


Годовой фактический / ожидаемый (ненужное зачеркнуть) экономический эффект от внедрения составляет


179,940,000 (сто семьдесят девять миллионов девятьсот сорок тысяч) бел.руб.
(цифрами и прописью)

Расчет экономического эффекта прилагается и является неотъемлемой частью настоящего акта.

Представители УО «ВГТУ»


Руководитель НИР

(подпись) Коган А.Г.
(Ф.И.О.)

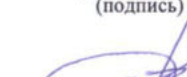
Начальник НИЧ

(подпись) Беликов С.А.
(Ф.И.О.)


(подпись) Ясинская Н.Н.
(Ф.И.О.)


(подпись) Базеко В.В.
(Ф.И.О.)

Представители предприятия


(подпись) Агапова Е.В. (технолог)
(Ф.И.О.)


(подпись) Романко Г.И. (экономист)
(Ф.И.О.)

РАСЧЕТ
экономического эффекта от внедрения нового вида материалов для производства сумок

Наименование статьи затрат	До внедрения нового материала, руб, на 1 ед изделия	После внедрения нового материала(лен), руб на 1 ед изделия	Экономический эффект, руб на 1 ед. изделия
Материальные затраты	94995	89062	5933
Оплата труда	32960	33430	-470
ФСЗН	11206	11366	-160
Итого	139161	133858	5303

Наименование статьи затрат	До внедрения нового материала, руб, на 1 ед изделия	После внедрения нового материала(декоративная ткань), руб на 1 ед изделия	Экономический эффект, руб на 1 ед. изделия
Материальные затраты	94995	86804	8191
Оплата труда	32960	36834	-3874
ФСЗН	11206	12524	-1318
Итого	139161	136162	2999

Экономист



Г.И.Романко



УТВЕРЖДАЮ

Заместитель генерального
директора по техническим
вопросам ООО «Белбелт»

С. В. Шатовалов

(инициалы, фамилия, подпись)

«17»

05

КАБЕЛ 2011гг



Заключение
о переработке текстильных декоративных материалов

Ткани декоративные со специальными видами отделки, выработанные по технологии разработанной по заданию концерна Беллегпром №437 «Разработать и исследовать технологию получения новых видов текстильных материалов со специальными видами заключительной отделки» использованы в производстве обуви (получены экспериментальные образцы). Акт опытной носки прилагается.

Таблица – Физико-механические показатели тканей

Наименование показателя	Единица измерения	Значение		
		вариант 1	вариант 2	вариант 3
Ширина заправки основы: - по берду; - по фону; - кромки.	см	158,5		
		154,0		
		4,5		
Ширина ткани:- суровой; - готовой.	см	150		
		140		
Уработка основы	%	6,6		
Линейная плотность нитей:- основы (вискоза); - утка (вискоза); - кромки (вискоза); - басовки (п/э+вискоза).	текс	195		
		390		
		195		
		16,6x2		
Число нитей:- основы; - кромки; - басовки; - общее.		1232		
		18		
		12		
		1262		
Плотность по основе:	нит/10см	92	90	91
Плотность по утку:	нит/10см	77	80	78
Номер берда	зуб/10см	40		
Число ремиз		12		
Проборка:- фона; - кромок.		рядовая по рисунку		
Длина основы	м	90		
Жесткость в продольном направлении:	г	50	136	47
Жесткость в поперечном направлении:	г	145	211	115
Удельное поверхностное электрическое сопротивление:	Ом	$3,0 \cdot 10^{10}$	$3,2 \cdot 10^{10}$	$3,3 \cdot 10^{10}$
Поверхностная плотность:	г/м ²	576	547	536

В результате апробации установлена возможность использования декоративных тканей со специальными видами отделки в производстве обуви.

Технолог МКО Шкеев
(подпись)

Климова М.А.
(инициалы, фамилия)

УТВЕРЖДАЮ



(подпись) Дзюба А.И.
(инициалы, фамилия)
«15» мая 2011 г.

АКТ

о практическом использовании результатов исследования

в строительстве
(сфера, в которой нашли практическое применение результаты исследования*)

Комиссия в составе Дзюба А.И., Лешкевич Н.Н., Бадко В.В.
настоящим подтверждает,

что капитальные строительные укрупненные предприятия
осуществили на объектах декоративных панелей
(название структурного подразделения организации)

со специальными видами отделки в качестве настенных
и потолочных покрытий

полученных (указываются конкретные научные результаты, которые нашли применение)
активными Бадко В.В. и доктором Лешкевич Н.Н.

(фамилия, имя, отчество автора (авторов) исследования)
при выполнении НИР на тему Разработать и исследовать технологию
получения новых видов декоративных панелей со
специальными видами фактурной отделки
(название программы, проекта, темы НИР)

для расширения ассортимента коллекционных декоративных
панелей и объектов использования декоративных панелей
(указываются решаемые практические задачи)

на основании чего установлена возможность применения декоратив-
ных панелей в качестве строительных панелей
(приводятся конкретные результаты практического использования)

Экономический эффект от использования результатов составил _____ (расчет прилагается).

Члены комиссии:

(подпись)

Дзюба А.И.
(инициалы, фамилия)
Лешкевич Н.Н.
Бадко В.В.

СОГЛАСОВАНО:

Проректор по научной работе
Учреждения образования
«Витебский государственный
технологический университет»
Е.В. ВАНКЕВИЧ
2013 г.

г.

М.П.

М.П.

УТВЕРЖДАЮ:

Главный инженер

(должность руководителя)

ОАО «ВКШТ»

(наименование предприятия)

В.П. Данилов

2013

« »

М.П.

АКТ**об использовании (внедрении) НИР**

Мы, нижеподписавшиеся, представители предприятия главный инженер ОАО «ВКШТ»
Данилов В.П. (наименования предприятия, должность, Ф.И.О.)

с одной стороны, и представители Учреждения образования «Витебский государственный техно-
логический университет» зав. кафедрой «ПНХВ» профессор Коган А.Г., доцент кафедры
«Химия» Ясинская Н.Н., аспирант кафедры «ПНХВ» Мурычева В.В.

(должность, Ф.И.О.)

с другой стороны, составили настоящий акт об использовании (внедрении) результатов научно-
исследовательской работы № 841/941 «Разработать технологию производства технических ма-
териалов специального назначения» (наименование НИР)

Срок проведения работы: начало «03» 01 2012г.
окончание «31» 12 2013г.

Принята заказчиком «01» декабря 2013 года, внедрена и используется с «01» января 2014
года.

Наименование объекта внедрения технология производства технических материалов

Объем внедрения (натур. ед.) 1000 пог. м.

Результат, полученный от использования (внедрения) НИР текстильные композицион-
ные материалы специального назначения

Годовой ожидаемый экономический эффект от внедрения составляет 240 000 000 (две-
сти сорок миллионов рублей) (цифрами и прописью)

Расчет экономического эффекта прилагается и является неотъемлемой частью настояще-
го акта

Представители УО «ВГТУ»

Руководитель НИР, зав. каф. «ПНХВ»
д.т.н., проф.,

Коган А.Г.
(подпись) (Ф.И.О.)

к.т.н., доц. каф. «Химия»

Ясинская Н.Н.
(подпись) (Ф.И.О.)

аспирант

Мурычева В.В.
(подпись) (Ф.И.О.)

Представители предприятия

Главный инженер

ОАО «ВКШТ»

В.П. Данилов
(подпись) (Ф.И.О.)

Ведущий специалист по РИД
Т.В. Агазова

РАСЧЕТ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА ТЕКСТИЛЬНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

При внедрении текстильных композиционных материалов специального назначения в производство определяется ожидаемый экономический эффект. Ожидаемый экономический эффект предполагается достигнуть за счет реализации программы импортозамещения. Для расчета ожидаемого экономического эффекта сравнивается отпускная цена текстильных композиционных материалов зарубежного производства с планируемой отпускной ценой разработанных текстильных композиционных материалов. Расчет осуществлялся с учетом объема планируемого выпуска в количестве 1000 п.м. и производился на единицу продукции. При производстве композиционных материалов расчет полной себестоимости производится на сто погонных метров. Расчет отпускной цены осуществляется на суровый (снятый с ткацкого оборудования) и готовый композиционный материал (после процесса аппретирования, сушки и термификации).

Данные расчета отпускной цены на суровый и готовый текстильный композиционный материал специального назначения представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Расчет отпускной цены текстильных композиционных материалов специального назначения

Статьи затрат	Суровый	Готовый
Сырье	867 018	867 191
Вспомогательные материалы	4 924	186 512
Пар, вода на технологические нужды	0	12 347
Электроэнергия	6 574	19 708
Заработная плата производственных рабочих	20 423	23 749
Отчисления в Фонд социальной защиты населения	6 944	8 075
Отчисления в Белгосстрах	123	142
Общепроизводственные расходы	33 116	57 656
Общехозяйственные расходы	34 536	40 160
Прочие	1 761	2 048
Производственная себестоимость	1 800 000	2 000 000
Коммерческие расходы:	0	465
- упаковка	0	465
- услуги «Белтаможсервис»	0	0
- транспортные расходы	0	0
Полная себестоимость 100 п.м.	1 800 000	2 000 000

Полная себестоимость 1 п.м.	18 000	20 000
Рентабельность, %	23	20
Прибыль	4 140	4 000
Отпускная цена без НДС	22 140	24 000

В таблице 2 представлена сравнительная характеристика свойств и цены разработанных текстильных композиционных материалов и текстильных композиционных материалов зарубежных фирм.

Таблица 2 – Сравнительная характеристика свойств и цены текстильных композиционных материалов различных производителей

Показатель	Разработанные текстильные композиционные материалы	Текстильные композиционные материалы фирмы Rash, (Германия)	Текстильные композиционные материалы фирмы DECORI&DECORI (Италия)
Текстильная основа	ткань вискозная	ткань льняная	ткань полиамидная
Масса, г/м ²	450	500	300
Жесткость, сН	21,6	20,5	19,7
Гигроскопичность, %	12,7	3,1	3,4
Удельное поверхностное электрическое сопротивление, Ом	3,2•10 ¹⁰	2,3•10 ¹⁰	3,0•10 ¹⁰
Пылеемкость, г/м ² •с	1,1	3,5	3,5
Истирание, циклов	1500	1200	1500
Стоимость 1 пог.м.	24 000	160 000	120 000

Анализ свойств и цены разработанных текстильных композиционных материалов специального назначения показывает, что при наличии свойств, не уступающих иностранным аналогам, разработанные текстильные композиционные материалы имеют цену в 4,8 - 8 раз ниже (в зависимости от фирмы-производителя) что подтверждает конкурентоспособность текстильных композиционных материалов на белорусском рынке. Разработанные текстильные композиционные материалы специального назначения также являются достойным импортозамещающим материалом.

Ожидаемый экономический эффект при изготовлении текстильных композиционных материалов выражается в дополнительной прибыли, которую может получить предприятие при выпуске данного вида продукции.

Рентабельность = 20%

$$\begin{aligned} \Pi &= (R \cdot C / C_{\text{полн.}}) / 100 = 0,2 \cdot 2\,000\,000 = 400\,000 \text{ руб} \\ C_{\text{опт.}} &= C / C_{\text{полн.}} + \Pi = 2\,000\,000 + 400\,000 = 2\,400\,000 \text{ руб.} \end{aligned}$$

При объеме планируемого выпуска в количестве 1000 п.м. экономический эффект (Э) составит

$$\text{Эк. эффект} = C_{\text{онт}} \cdot B / 10 = 2\,400\,00 \cdot 1000 / 10 = 240\,000\,000 \text{ рублей.}$$

Расчет полной себестоимости, отпускной цены текстильных композиционных материалов специального назначения и экономического эффекта производился по состоянию на 01 октября 2013 года.

УТВЕРЖДАЮ
 Антикризисный управляющий
 ОАО «Витебский комбинат
 шелковых тканей»



Т.Ю.Исакова
 2019 г.

СПРАВКА

об использовании результатов научного исследования

Результаты диссертационного исследования, выполненные лично к.т.н. Ясинской Н.Н. и при ее непосредственном участии, направленные на разработку технологий формирования новых текстильных композиционных материалов со специальными свойствами внедрены в 2013 году и используются при производстве инновационной продукции ОАО «Витебский комбинат шелковых тканей».

В период с 2015 года по 2019 год выпущено 322528 п.м. многофункциональных текстильных композиционных материалов со специальными свойствами и реализовано на сумму 1939,7 тыс. рублей, в том числе:

- в 2015 году – на 777 млн.руб. (77,7 тыс. руб.);
- в 2016 году – на 210 млн.руб. (21 тыс. руб.);
- в 2017 году – на 665 тыс.руб.;
- в 2018 году – на 323 тыс.руб.;
- в 2019 году – на 853 тыс.руб.

Начальник технологического отдела

Абазовик Т.В.

**ДОКУМЕНТЫ, ПОДТВЕРЖДАЮЩИЕ ВНЕДРЕНИЕ СВЧ ТЕХНОЛОГИИ
ФОРМИРОВАНИЯ КОМБИНИРОВАННЫХ КАРКАСНЫХ
ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

СОГЛАСОВАНО

Проректор по научной работе УО «ВГТУ»


 Е.В. Ванкевич
 2013 года


М.П.

УТВЕРЖДАЮ

Главный инженер ОАО «ВКШТ»


 В.П. Данилов
 2013 года


М.П.

АКТ

об использовании (внедрении) НИР

Мы, нижеподписавшиеся представители предприятия главный инженер
 ОАО «ВКШТ» Данилов В.П.

(наименование предприятия, должность Ф.И.О.)

с одной стороны, и представители Учреждения образования «Витебский государственный технологический университет» заведующий кафедрой «ПНХВ» профессор Коган А.Г., доцент кафедры «Химия» Ясинская Н.Н., заведующий кафедрой «ТиОМП» профессор Ольшанский В.И., ассистент кафедры «Информатика» Бизюк А.Н., ассистент кафедры «ТиОМП» Жерносек С.В.

(должность, Ф.И.О.)

С другой стороны, составил настоящий акт об использовании (внедрении) результатов госбюджетной научно-исследовательской работы №381 «Энергоэффективные технологии отделочного производства в текстильной промышленности»

Срок проведения: начало: «01» января 2011 года
 окончание: «31» декабря 2013 года

Принята заказчиком «01» сентября 2013 года, внедрена и используется.

Наименование объекта внедрения энерго-ресурсосберегающая технология отделки текстильных материалов

Результат, полученный от использования (внедрения) НИР: снижение энергозатрат

Годовой экономический эффект от внедрения составляет 230 млн. 489 тыс. 280 руб. (двести тридцать миллионов четыреста восемьдесят девять тысяч двести восемьдесят рублей)

Расчет экономического эффекта прилагается и является неотъемлемой частью настоящего акта.

Представители УО «ВГТУ»

Руководитель НИР


 А.Г. Коган
 (подпись) (Ф.И.О.)

Начальник НИЧ


 С.А. Беликов
 (подпись) (Ф.И.О.)


 Н.Н. Ясинская
 (подпись) (Ф.И.О.)



 В.И. Ольшанский
 (подпись) (Ф.И.О.)



 А.Н. Бизюк
 (подпись) (Ф.И.О.)


 С.В. Жерносек
 (подпись) (Ф.И.О.)

Представители предприятия

Главный инженер ОАО «ВКШТ»


 В.П. Данилов
 (подпись) (Ф.И.О.)

Ведущий специалист по НИР

 Т.В. Лазовская

РАСЧЕТ ЭКОНОМИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА ОТ ВНЕДРЕНИЯ ОПТИМАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ СВЧ СУШКИ

Расчет экономической эффективности произведен на основе снижения затрат при замене конвективной сушильной установки установленной мощностью $N_1 = 30$ кВт на установку СВЧ-сушки для заключительной стадии обработки текстильных материалов. При расчете экономической эффективности использованы оптимальные режимные параметры сушки.

Теплота, идущая на испарение влаги, вычислялась по уравнению

$$Q_{\text{и}} = r \cdot j \cdot \frac{F_{\text{и}}}{3600} \cdot 100 = \frac{c_0}{Rb_0} \cdot \frac{d\bar{t}}{d\bar{u}} \cdot j \cdot \frac{F_{\text{и}}}{3600} \cdot 100 = \frac{1600}{0,35} \cdot 0,4 \cdot 23,5 \cdot \frac{1}{3600} \cdot 100 = 1194 \text{ Вт},$$

где r – теплота парообразования, Дж / кг; j – интенсивность испарения влаги, кг/м² ч ; $F_{\text{и}}$ – поверхность испарения материала, м² ; $Rb_0 = c_0 b / r = 0,35$ – критерий Ребиндера для сухого материала; $b = d\bar{t} / d\bar{u}$ – температурный коэффициент сушки, °C ; $c_0 = 1600$ Дж/кг °C – теплоемкость сухого материала, кДж/кг °C .

Для обеспечения оптимальной мощности СВЧ-излучения и исключения возможности перерасхода энергии, а также пересушивания материала процесс сушки необходимо прекращать при достижении значения $Rb = 0,35$.

Теплота на нагрев материала поверхностной плотности 480 г/м²

$$Q_{\text{н}} = G_0 \cdot c_0 \cdot t_{\text{м}} / \tau = 0,38 \cdot 1600 \cdot 90 / 90 = 608 \text{ Вт},$$

где G_0 – абсолютно сухой вес материала, кг; $t_{\text{м}}$ – температура материала в рассматриваемый момент времени, °C ; τ – время сушки до кондиционного влагосодержания, с.

Потери тепла в окружающую среду

$$Q_{\text{п}} = 0,05(Q_{\text{и}} + Q_{\text{н}}) = 0,05(1194 + 608) = 90,1$$

Оптимальная мощность СВЧ-излучения при сушке влажного материала определяется по зависимости

$$N = \frac{1,16(Q_{\text{и}} + Q_{\text{н}} + Q_{\text{п}})}{\eta_{\Gamma} \eta_{\text{к}}} = \frac{1,16(1194 + 608 + 90,1)}{0,65 \cdot 0,5} = 6753 \text{ Вт}.$$

где $Q_{\text{н}}$ – теплота, затраченная на нагрев влажного материала, Вт; $Q_{\text{и}}$ – теплота, затраченная на испарение влаги из материала, Вт; $Q_{\text{п}}$ – потери тепла в

окружающую среду, Вт; η_{Γ} , η_{κ} – К.П.Д. генератора, равный $\eta_{\Gamma} = 0,65$, и контура, равный $\eta_{\kappa} = 0,5$.

Путем измерений с помощью цифрового ваттметра была определена суммарная мощность установки $N_2 \approx 7$ кВт.

Экономия электрической энергии от внедрения при годовом фонде времени 276 дней и 8 часовом рабочем дне составляет

$$\Delta N = (N_2 - N_1) \cdot 8 \cdot 276 = 50784 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

Годовой экономический эффект от внедрения разработанной установки и оптимизированной технологии СВЧ-сушки составляет

$$\mathcal{E}_{\text{год}} = \Delta N \cdot C = 50784 \cdot 1711 = 86\,891\,424 \text{ руб},$$

где $C = 1711$ стоимость 1 кВт·ч энергии для промышленного сектора (на 01.12.2015 г.).

Общий экономический эффект составляет

$$\mathcal{E} = 86 \text{ млн } 891 \text{ тыс. } 424 \text{ рубля}.$$