

На правах рукописи



БЕЛОВА Ирина Сергеевна

**РАЗВИТИЕ ТЕХНОЛОГИИ КЛЕЕВОГО УПРОЧНЕНИЯ
ПРОДУКТОВ ПРЯДЕНИЯ**

2.6.16 – Технология производства изделий текстильной и легкой
промышленности

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Кострома, 2024

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Костромской государственной университет» на кафедре теории механизмов и машин, деталей машин и проектирования технологических машин.

Научный руководитель

Рудовский Павел Николаевич,
доктор технических наук, профессор, профессор кафедры теории механизмов и машин, деталей машин и проектирования технологических машин ФГБОУ ВО «Костромской государственной университет».

Официальные оппоненты

Севостьянов Петр Алексеевич,
доктор технических наук, профессор, профессор кафедры автоматизированных систем обработки информации и управления Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина», г. Москва.

Климова Наталья Сергеевна,
кандидат экономических наук, доцент по специальности «Материаловедение производств текстильной и легкой промышленности», доцент кафедры интеллектуальных систем и защиты информации ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна», г. Санкт-Петербург

Ведущая организация

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «**Ивановский государственный политехнический университет**», г. Иваново.

Защита состоится «15» мая 2024 г. в 12.00 часов на заседании диссертационного совета Д 24.2.317.01 на базе ФГБОУ ВО «Костромской государственной университет» по адресу: г. Кострома, ул.Дзержинского, д.17/11, ауд. 214.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГБОУ ВО «Костромской государственной университет»: <http://www.ksu.edu.ru>

Текст автореферата размещен на сайте ВАК России: <http://vak3.ed.gov.ru>.

Автореферат разослан «__»_____2024г.

Ученый секретарь
диссертационного совета Д 24.2.317.01,
доктор технических наук, доцент



Л.Л. Чагина

Общая характеристика работы

Актуальность темы исследования

В последнее время продукция из льна занимает достаточно уверенную позицию на рынке текстильных изделий. Согласно прогнозу ЭКЦ «ИнвестПроект», объем производства текстильных тканей в России к 2035 году может достигнуть 14,2 млрд. кв.м., что позволит сократить импорт тканей. Статистика инвестиционного климата в отрасль производства тканей позитивна, хотя частные инвестиции несколько снизились. Если в ближайшие 5–10 лет российская текстильная отрасль действительно сможет освоить большую часть внутреннего рынка, то выйдет на значительные объемы экспорта не только в ближнее, но и в дальнее зарубежье. По итогам 2022 года производство льняных тканей в России увеличилось на 2% и достигло уровня 25,7 млн. кв. м. К 2035 году рост производства тканей может составить 22%.

Ассортимент льняных тканей достаточно широк: столовые, бельевые, полотенечные, одежные и др. Актуальность развития производства льняной продукции обуславливается, прежде всего, его замечательными природными свойствами. Льняное волокно иногда называют «золотом» текстиля. Лен отвечает многим требованиям, предъявляемым к изделиям: прочность, стойкость к стиранию, гигроскопичность, теплостойкость, светоустойчивость, отсутствие статического электричества и т.д. Поэтому многие специалисты прогнозируют рост производства различных изделий из чисто льняных тканей, а также льняных тканей с некоторой долей включения химических волокон или нитей.

При производстве льняной пряжи применяют кольцевые машины сухого и мокрого прядения. Кольцевая пряжа мокрого прядения обладает хорошими потребительскими свойствами. Однако на сегодняшний день традиционные способы производства льняной пряжи с применением кручения исчерпали свои возможности в увеличении скорости выпуска и стали малопродуктивными.

Данную проблему пытались решить путем применения вьюркового способа прядения. Это позволило повысить производительность оборудования и производительность труда. Однако получаемая пряжа имеет низкую прочность.

Актуальность выбранной темы исследования согласуется с государственной политикой Российской Федерации, направленной на решение задач по импортозамещению. Одной из важнейших задач государственной программы Российской Федерации «Развитие промышленности и повышение ее конкурентоспособности» является обеспечение технологического развития отечественной промышленности за счет создания прорывных, ресурсосберегающих, экологически безопасных промышленных технологий. Развитие легкой, в том числе текстильной промышленности, отвечает задачам, необходимым для достижения долгосрочных целей устойчивого социально-экономического развития РФ.

Целью исследования является создание высокопроизводительного способа получения льняной пряжи за счет сочетания вьюркового и клеевого способов формирования.

Задачи исследования:

- анализ существующих методов клеевых способов получения пряжи;
- разработка экспериментальной установки для изготовления пряжи совмещенным вьюрково-клеевым способом;
- обоснование технологических параметров устройства для получения пряжи совмещенным вьюрковым и клеевым способом прядения;

- планирование экспериментов по изучению зависимости прочности пряжи от технологических параметров процесса формирования;
- наработка образцов льняной пряжи совмещенным вьюрково-клеевым способом прядения;
- исследование характеристик полученного продукта прядения;
- исследование распределения волокон в сечении пряжи;
- разработка математической модели для прогнозирования прочности пряжи, полученной совмещенным способом;
- разработка имитационно-статистической модели для прогнозирования прочности продуктов прядения, полученных совмещенным вьюрково-клеевым способом.

Научная новизна работы заключается в разработке высокопроизводительного и экологичного способа изготовления льняной пряжи путем сочетания вьюркового и клеевого способов и методики прогнозирования ее физико-механических свойств.

В диссертации впервые:

- разработана методика по определению силы адгезии льняного волокна к связующему;
- проведен анализ распределения волокон по сечению ровницы и пряжи, формируемых вьюрковым способом;
- предложены формулы для расчета числа контактов волокон в продукте прядения с учетом их распределения по сечению;
- разработана имитационно-статистическая модель прогнозирования прочности вьюрковой пряжи с клеевым упрочнением.

Практическая значимость работы заключается в том, что:

- экспериментально обоснованы режимы формирования вьюрковой пряжи с клеевым упрочнением;
- обосновано использование в качестве клеящего состава серицина, экологически чистого клея, получаемого из отходов шелкомотания;
- разработаны рекомендации по использованию клеевых составов для упрочнения вьюрковой пряжи, обеспечивающие уровень прочности, необходимый для использования пряжи в ткачестве.

Методология и методы исследования.

При выполнении работы были применены теоретические и экспериментальные методы исследования, методы теоретической механики, функциональное моделирование, методы текстильного материаловедения, спектральный анализ неровноты продуктов прядения, методы математической статистики.

При обработке экспериментальных данных применялись ПЭВМ и пакеты прикладных программ: Microsoft Excel, MathCAD 15, MatLab, Adobe PhotoShop 8.0., а также разработаны собственные программные продукты на языке программирования Python.

Достоверность полученных результатов обусловлена их согласованностью с известными теоретическими и экспериментальными данными, применением методов обработки результатов многократных испытаний, применением средств современной компьютерной обработки данных и программирования, основных методов статистической обработки экспериментальных данных при доверительной вероятности не менее 95 %.

Апробация результатов исследования:

Основные материалы работы были доложены на:

- XXII Международном научно-практическом форуме «SMARTEX-2019», г. Иваново;
- Международном научно-техническом симпозиуме «Вторые международные Косыгинские чтения, приуроченные к 100-летию РГУ имени А.Н. Косыгина» на международном Косыгинском форуме-2019, г. Москва;
- Международной научной конференции, посвященной 110-летию со дня рождения профессора А.Г. Севостьянова, г. Москва;
- Всероссийской научно-практической конференции «Научные исследования и разработки в области дизайна и технологий», 2020 г., г. Кострома;
- Всероссийской научно-практической конференции «Научные исследования и разработки в области дизайна и технологий», 2021г., г. Кострома;
- Международном научно-техническом симпозиуме, посвященном 110-летию А.Н. Плановского, в рамках Третьего Международного Косыгинского форума «Современные задачи инженерных наук», г. Москва;
- Всероссийском семинаре по теории механизмов и машин (Костромской филиал по ТММ им. И. И. Артоболевского, РАН), секция «Текстильное машиноведение», 2022, г. Кострома;
- Национальной молодежной научно-технической конференции «ПОИСК-2023», г. Иваново;
- расширенном заседании кафедры Теории механизмов и машин, деталей машин и проектирования технологических машин ФГБОУ ВО «Костромской государственный университет», г. Кострома.

Личный вклад автора. Соискателю принадлежит основная роль в непосредственном выполнении теоретических и экспериментальных исследований, обобщении результатов, формулировке выводов.

Публикации. По теме исследования опубликовано 13 научных работ. В том числе 5 статей в журналах, рекомендуемых ВАК для опубликования основных научных результатов кандидатских диссертаций, из них 3 статьи в журналах, индексируемых в международных базах SCOPUS.

Содержание диссертации соответствует п. 1, 2, 3, 6 паспорта специальности 2.6.16 «Технология производства изделий текстильной и легкой промышленности».

П1. Инновационное развитие технологий первичной обработки и переработки волокон и производства нитей, материалов и изделий текстильной и легкой промышленности (ИТЛП).

П2. Проектирование структуры и прогнозирование показателей свойств и качества волокон, нитей, материалов и ИТЛП.

П3. Технологии (в том числе, нанотехнологии) волокон, нитей, материалов и ИТЛП.

П6. Разработка малоотходных, энергосберегающих, экологичных технологий производства и первичной обработки текстильных материалов и сырья.

Объем и структура диссертации. Работа состоит из введения, 4 глав, общих выводов и заключения, списка использованной литературы из 92 наименований и приложений. Основная часть работы изложена на 124 страницах, содержит 80 рисунков и 20 таблиц. Приложения представлены на 11 страницах.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы исследования, определена ее направленность и представлена общая характеристика работы, отражающая научную и практическую значимости диссертационного исследования.

В первой главе проведен анализ современного состояния проблемы получения льняной пряжи традиционными способами. Изучение существующих способов прядения привело к выводу о том, что повышение скорости прядения и производительности возможно при исключении из прядильного процесса связи веретена, кольца и бегунка.

Представлен обзор существующих клеевых и вьюрковых способов получения пряжи. Положительные опыты с проклеиванием пряжи без действительной крутки дают основание для продолжения работ по упрочнению пряжи этим способом с использованием новых экологически чистых клеящих веществ. Представляется перспективным объединение способа PAVENA и вьюркового способа для получения льняной пряжи при соответствующей их модификации. Поскольку при вьюрковом способе прядения льна формирование мычки производится из ровницы, прошедшей химическую обработку в водном растворе, и катушка с ровницей располагается в ванне с водой, представляется целесообразным заместить воду клеевым составом. Ровница при ее переработке в пряжу находится в ванне продолжительное время, что обеспечит качественную пропитку ее клеящим составом. В качестве клея необходимо выбрать состав, не снижающий экологические качества готовых изделий и не требующий последующего удаления из готовой ткани или трикотажа.

Прочность пряжи обуславливается адгезией волокон и связующего. Проведенный анализ существующих методов количественной оценки адгезии показал, что метод тангенциального приложения нагрузки при растяжении является наиболее приемлемым для определения адгезии волокон к связующему, используемому при выработке пряжи клеевым способом. При этом в качестве единичного показателя адгезии льняного волокна к связующему предлагается использовать отношение разрывной нагрузки образца бескруточной ровницы к суммарной длине скользящих при разрыве волокон.

Во второй главе представлено обоснование технологии получения льняной пряжи комбинированным способом

В качестве склеивающего вещества в настоящее время применяют растворы ПВА, крахмала и поливинилового спирта (ПВС). Ткань, полученная из пряжи, выработанной клеевым способом, должна проходить обработку, аналогичную расшлихтовке, но с более жесткими режимами. Из-за того, что связующее проникает в пряжу на полную глубину. «расшлихтовка» тканей потребует более интенсивных режимов, что в свою очередь приводит к дополнительным затратам энергии и воды.

Выходом из такого положения является выбор в качестве связующего веществ, содержащихся в текстильных материалах природного происхождения. Предлагается в качестве связующего использовать серицин – природный клей, содержащийся в оболочке кокона тутового шелкопряда. Имеется опыт использования серицина, как основного элемента шлихты. По своим физико-химическим свойствам серицин отвечает всем требованиям, предъявляемым к связующему, используемому для производства пряжи клеевым способом. Серицин – компонент шелка, поэтому отвечает высоким гигиеническим требованиям, а значит, удаление серицина из

полученной пряжи не требуется. Это позволит снизить расходы на выработку тканей из пряжи, полученной по предлагаемой технологии.

Был проведен эксперимент, в процессе которого проводилось сравнение серицина с используемыми при выработке клеевой пряжи составами, таким как ПВА и ПВС. Предметом исследования являлись силы адгезии серицина к целлюлозным материалам.

На основе полученных экспериментальных данных построены графики зависимости сил адгезии от концентрации клея (рис. 1–3).

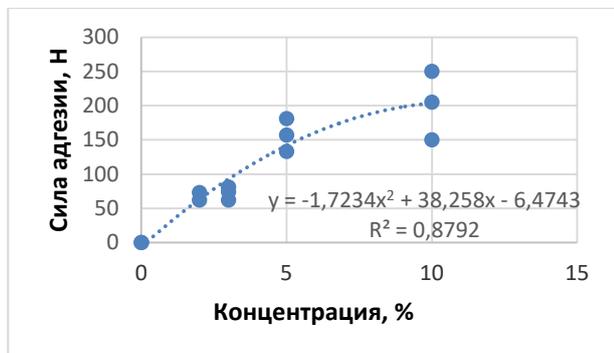


Рис.1 График зависимости сил адгезии от концентрации ПВА

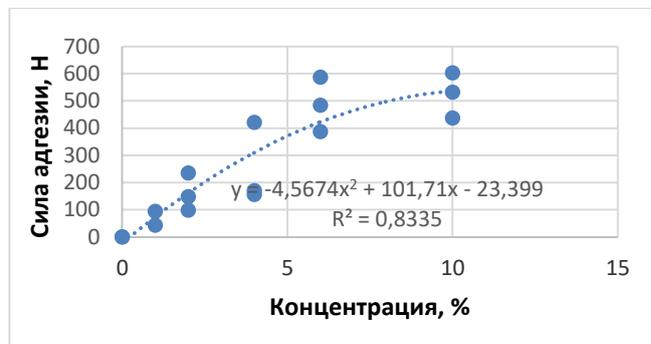


Рис.2 График зависимости сил адгезии от концентрации ПВС

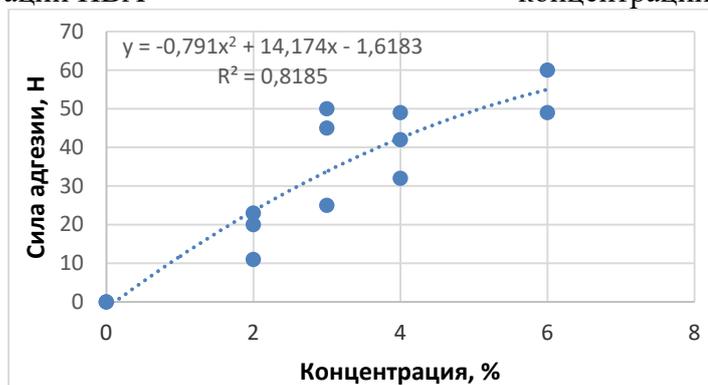


Рис.3 График зависимости сил адгезии от концентрации серицина

В поле графиков приведены результаты аппроксимации полученных экспериментальных данных кривыми второго порядка. Из графиков на рис. 1 – 3 видно, что с увеличением концентрации растворов, во всех случаях растет значение сил адгезии. Силы адгезии у ПВА почти в три, а у ПВС в восемь раз выше, чем у серицина. Однако при выборе клея для производства клеевой пряжи силы адгезии необходимо сопоставить с разрывной нагрузкой волокон. Был выполнен расчет сил адгезии при концентрации клеевых составов в концентрации 6%. Выбор концентрации объясняется особенностями технологии получения серицина из отходов переработки коконов. Сравнение значений разрывной нагрузки для соответствующих волокон со значениями сил адгезии показывает, что эти величины соизмеримы. Поэтому для получения пряжи клеевым способом можно рекомендовать серицин с концентрацией 6%. При использовании для этих целей ПВА и ПВС концентрацию раствора нужно снизить, чтобы удельная сила адгезии была порядка 0,1 – 0,15 Н/мм².

В третьей главе представлен процесс получения клеевой пряжи путем совмещения вьюркового и клеевого способов, а также проведен анализ ее физико-механических свойств.

Для проведения экспериментального исследования по получению пряжи комбинированным способом в качестве прядильной машины был выбран модуль

прядильный бескруточный марки МПБ-1 с двумя выпусками. Технологическая схема МПБ-1 показана на рис. 4.

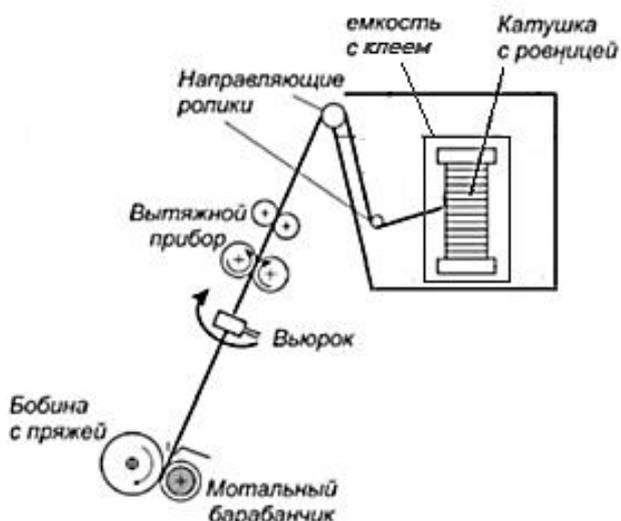


Рис. 4. Технологическая схема модуля прядильной бескруточной машины МПБ-1

В качестве исходного сырья была выбрана льняная ровница окислительной варки линейной плотности 600 Текс. Были приготовлены клеевые растворы в малых концентрациях (не более 6%).

В таблицах 1–4 приведены зависимости удельной разрывной нагрузки полученной вьюрковой пряжи из ровницы с пропиткой клеевыми растворами ПВА, ПВС, серицина и крахмала различной концентрации.

Из приведенных данных видно, что с ростом концентрации клеевых растворов несколько возрастает линейная плотность пряжи.

Это обусловлено тем, что некоторое количество клея после выработки и высушивания пряжи остается в ее составе. Согласно полученным данным пропитка любым из примененных клеевых растворов приводит к увеличению удельной разрывной нагрузки.

Таблица 1

Зависимость удельной разрывной нагрузки пряжи от концентрации клеевого раствора ПВА

	Концентрация ПВА, %			
	1	3	5	6
Линейная плотность, текс	64,2	64,5	65,1	65,5
Коэффициент вариации по линейной плотности, %	4,5	5,1	4,9	4,7
Удельная разрывная нагрузка, сН/текс	12,3	14,1	14,9	15,9
Коэффициент вариации по разрывной нагрузке, %	22,9	20,5	19,61	18,73

Таблица 2

Зависимость удельной разрывной нагрузки пряжи от концентрации клеевого раствора ПВС

	Концентрация ПВС, %			
	1	1,5	2	3
Линейная плотность, текс	65	65,4	66	67
Коэффициент вариации по линейной плотности %	5,3	5,8	6	5,4
Удельная разрывная нагрузка, сН/текс	11,9	12,3	13,41	14,3
Коэффициент вариации по разрывной нагрузке, %	23,39	22,63	20,44	19,16

Таблица 3

Зависимость удельной разрывной нагрузки пряжи от концентрации клевого раствора серицина

	Концентрация серицина, %			
	2	3	5	6
Линейная плотность, текс	64,5	64,8	65,6	66
Коэффициент вариации по линейной плотности, %	6	5,5	5,4	5,1
Удельная разрывная нагрузка, сН/текс	13,05	14,1	14,5	15,4
Коэффициент вариации по разрывной нагрузке, %	21,57	20,76	19,1	18,33

Таблица 4

Зависимость удельной разрывной нагрузки пряжи от концентрации клевого раствора крахмала

	Концентрация крахмала, %			
	1	1,5	2	3
Линейная плотность, текс	64,6	65	66	67
Коэффициент вариации по линейной плотности, %	5,3	5,5	6	5,8
Удельная разрывная нагрузка, сН/текс	12,03	12,7	13,1	14,03
Коэффициент вариации по разрывной нагрузке, %	24,29	23,03	22,10	21,63

Сравнение физико-механических характеристик полученной пряжи с показателями льняной кольцевой пряжи мокрого прядения показало, что пропитка ровницы клевым раствором приводит к увеличению прочности готовой пряжи. При этом достигается прочность, соответствующая пряже группы ОЛ первого сорта по ГОСТ 10078–85.

Введение клеящего состава в ровницу приводит не только к изменению прочности пряжи, но и влияет на протекание процессов формирования пряжи. Так, установлено, что при концентрациях растворов ПВС и крахмала более 3% происходит налипание мычки на валик первой линии вытяжного прибора. Это ведет к повышенной обрывности. Процесс прядения становился невозможным. При использовании серицина и ПВА такое явление не наблюдалось.

Пряжа, полученная с использованием пропитки раствором ПВА, получилась достаточно жесткой. Этот фактор может повлиять на процесс переработки пряжи в ткачестве и вязании, а также снизить качество готовой продукции. При применении серицина наработанная пряжа получилась более ровной и гладкой.

С целью изучения характеристик неровноты полученной пряжи были проведены исследования на автоматизированном лабораторном комплексе КЛА-М. На основе полученных данных были изучены характеристики неровноты по линейной плотности, построены спектрограммы наработанной пряжи.

Использование в качестве пропитки раствора серицина дает такие преимущества как упрочнение пряжи и экологичность получаемого продукта.

Растворы ПВА, ПВС позволяют обеспечить требуемую прочность пряжи, однако при этом существенно возрастает количество проколов внешнего вида, а полученная при использовании такой пряжи ткань нуждается в интенсивных режимах расшлихтовки.

Четвертая глава посвящена моделированию прочности клеевых продуктов прядения на основе анализа распределения волокон в пряже и ровнице.

Известно, что силы адгезии между волокнами пропорциональны площади контакта, которая в свою очередь определяется длиной участков скольжения соседних волокон и количеством этих участков. Количество контактов между волокнами в волокнистом продукте существенно зависит от распределения волокон по его поперечному сечению. Для создания математической модели прочности некрученого продукта проводились исследования такого распределения.

Для проведения эксперимента по исследованию поперечного сечения продукта прядения были выбраны образцы крученой и бескруточной льняной ровницы линейной плотности 550 Текс. Были получены цифровые изображения поперечных срезов крученой и бескруточной льняной ровницы. Типовые изображения полученных срезов представлены на рисунке 5.

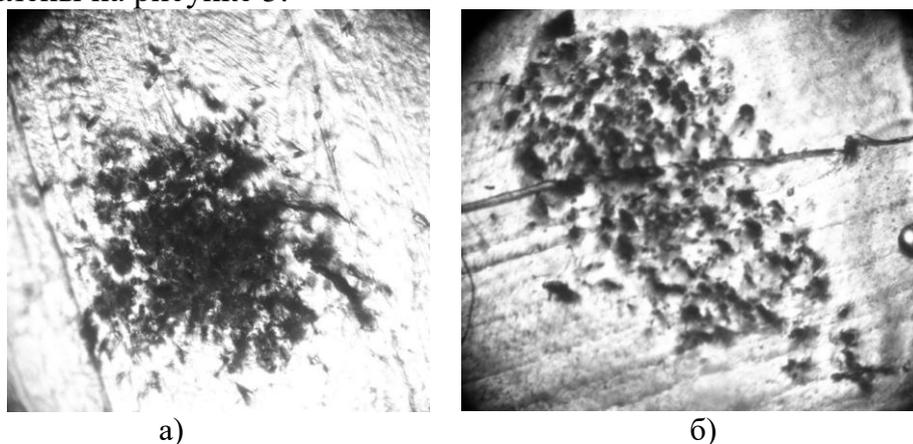


Рис. 5. Цифровое изображение поперечного сечения ровницы: а – крученой, б – бескруточной

С целью более четкой визуализации данных границ была проведена бинаризация полученных цифровых изображений, что позволило проводить исследования с учетом расположения черных и белых пикселей на изображении.

Для исследования полученного поперечного сечения продукта прядения в тангенциальном и радиальном направлениях через центр тяжести сечения проводились прямые, разбивающие изображение на 12 равновеликих секторов, а также концентрические окружности с центром в центре тяжести сечения. Пример результата разбиения поперечного среза крученой ровницы представлен на рисунке 6.

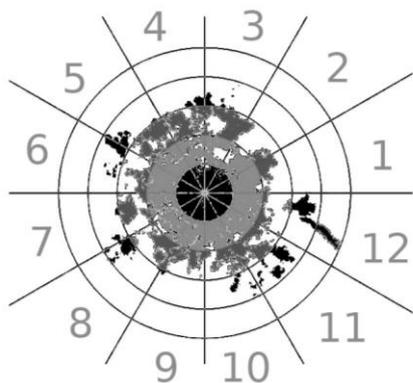


Рис.6. Радиальное и секторальное разбиение поперечного сечения крученой ровницы

В результате применения статистических методов была подтверждена гипотеза о нормальном распределении сечений волокон в поперечном сечении льняной ровницы в радиальном направлении, а также гипотеза о равномерном распределении сечений волокон в поперечном сечении крученой ровницы в тангенциальном направлении. В случае бескруточной ровницы распределение волокон по секторам не подчиняется равномерному закону. В качестве модели распределения сечений волокон в поперечном сечении бескруточной ровницы в тангенциальном направлении можно принять полученное экспериментальное распределение.

Для перехода от данных на оцифрованном изображении к реальным размерам площади поперечного сечения волокна и ровницы был определен масштаб, который составил 93,5 пикселей/мм.

С помощью компьютерной программы был произведен подсчет количества контактов между волокнами в поперечном сечении продукта прядения. Так как изображение поперечного сечения текстильного продукта представляет собой пятно произвольной формы, состоящее из контактирующих волокон, необходимо установить зависимость количества контактов волокон $Z(p)$ от площади (числа волокон n) и периметра сечения p (в пикселях).

На рисунке 7 представлены графики полученной математической модели при различных значениях количества контактирующих волокон n в поперечном сечении льняной ровницы.

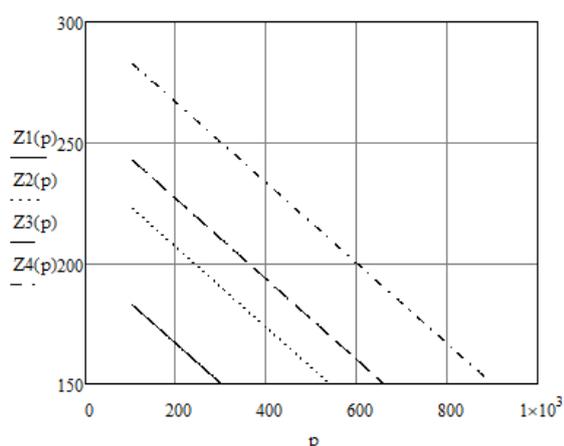


Рис. 7 Графики зависимости количества контактов между волокнами от периметра поперечного сечения p (пикс.): $Z1(p)$ при $n=100$; $Z2(p)$ при $n=120$; $Z3(p)$ при $n=130$; $Z4(p)$ при $n=150$

Анализируя полученные графические модели, можно сделать вывод, что увеличение числа контактирующих волокон приводит к увеличению периметра поперечного сечения ровницы, а также росту числа контактов между волокнами. При постоянном количестве контактирующих волокон с увеличением периметра сечения количество контактов уменьшается практически линейно.

Используя полученное значение количества контактов волокон, и, зная относительную силу адгезии, можно рассчитать прочность продукта прядения после сушки.

Для вычисления площади контактов между волокнами, входящими в состав прядильного продукта, используем формулу:

$$S_{\text{конт}} = \frac{1}{4} l Z(p) k d_g, \quad (1)$$

где l – средняя длина волокна, d_g – диаметр волокна, k – эмпирический коэффициент, учитывающий извитость волокон.

Введение коэффициента k связано с тем, что реальные волокна не являются прямолинейными, они имеют извитость.

На основе полученных выше зависимостей была предложена модель, предназначенная для прогнозирования разрывной нагрузки продуктов прядения (ровницы или пряжи), полученных комбинированным способом или расчета повышения разрывной нагрузки за счет клеевого упрочнения продуктов прядения, полученных другими способами.

Модель представляет собой алгоритм, который можно проиллюстрировать схемой (рис. 8).

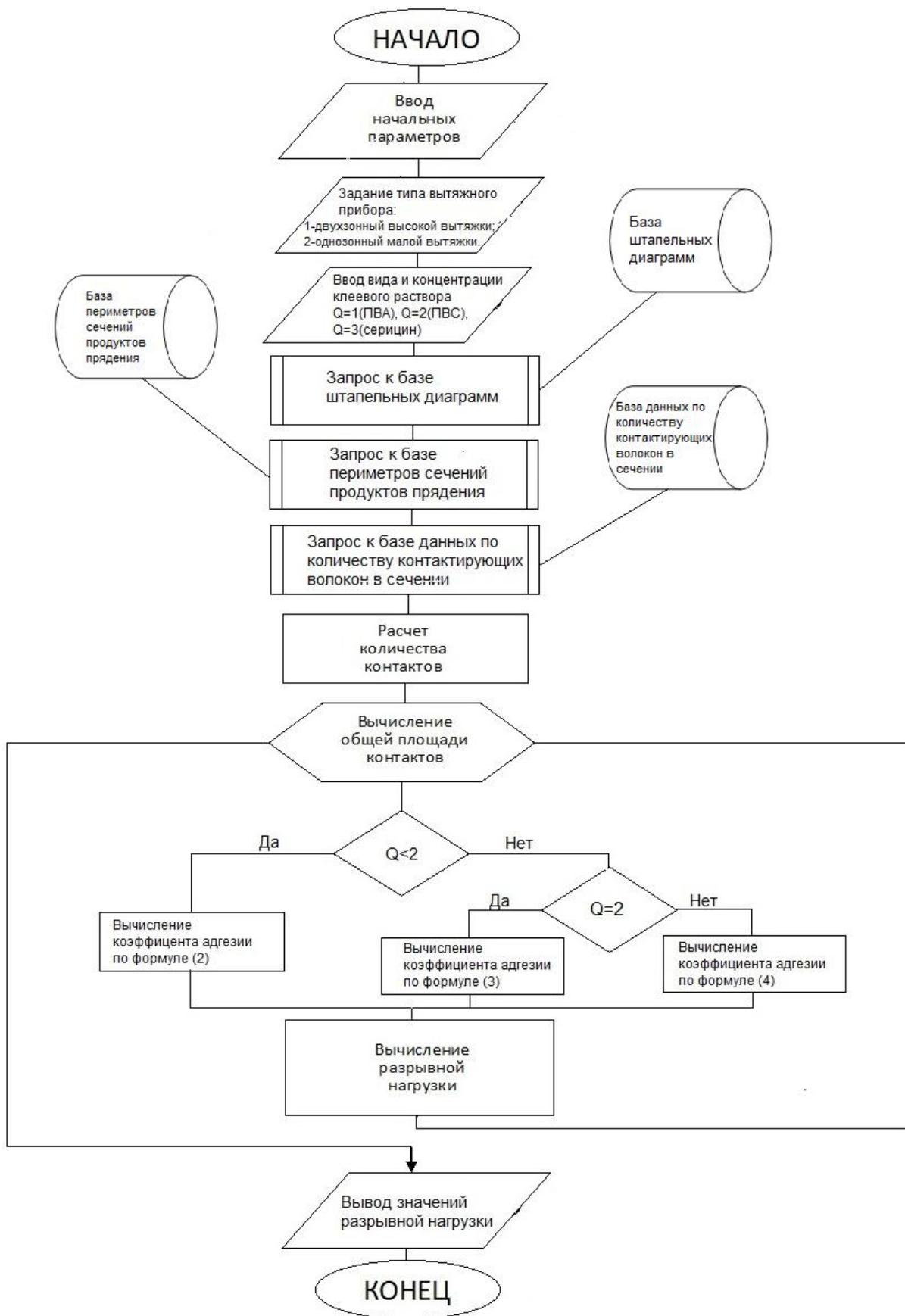


Рис. 9 Блок-схема алгоритма вычисления разрывной нагрузки

По представленной блок-схеме была создана компьютерная программа, позволяющая рассчитать прочность продукта прядения при изменении различных факторов.

Исходными данными для составления математической модели прочности продукта прядения являются: сырьевой состав; вид продукта (ровница или пряжа); способ получения (клеевая, бескруточная с клеевым упрочнением); штапельная диаграмма; линейная плотность волокна; линейная плотность пряжи; вид клеевого состава для упрочнения; концентрация клеевого состава.

В результате выполнения программы были получены значения, на основе которых построены графики зависимости разрывной нагрузки от линейной плотности продукта прядения, диаметра и длины волокна. Анализ графических моделей показал, что клеевые методы упрочнения продукта прядения приводят к положительным результатам. Увеличение концентрации клеевого раствора ведет к увеличению значений разрывной нагрузки. Кроме того, стоит отметить, что разрывная нагрузка продукта прядения в большей степени зависит от средней длины волокна, входящего в его состав. При увеличении диаметра волокна примерно в 3 раза разрывная нагрузка продукта прядения возрастает менее, чем на 20%.

Предложенная математическая модель прочности клеевого продукта прядения является детерминированной. Величины, используемые для построения модели, имеют свои законы распределения. Это позволило на ее основе создать имитационную модель, в которой исходные данные для вычисления разрывной нагрузки продукта прядения генерируются случайным образом, согласно полученным законам распределения.

Для генерирования значений входных параметров модели были приняты следующие исходные данные: линейная плотность продукта прядения 64–200 Текс, линейная плотность волокна – 0,125–0,557 Текс, плотность вещества волокна 0,5 мг/мм³. Для моделирования значений длины волокна был задан экспериментальный закон распределения.

Стенерировав 100 испытаний, было найдено среднее значение разрывной нагрузки продукта прядения. В таблице 5 приведены выборочные средние значения разрывной нагрузки, полученные в результате имитационного моделирования, а также коэффициент вариации.

Таблица 5

Значения разрывной нагрузки клеевой пряжи в результате имитационного моделирования

Клеевой раствор	Концентрация, %	Средняя разрывная нагрузка, Н	Экспериментальная разрывная нагрузка, Н	Дисперсия, Н ²	Коэффициент вариации, %
ПВА	3	10,36	9,15	3,2	17,2
ПВС	3	10,89	9,68	3,4	16,8
Серицин	6	9,77	8,57	3,1	17,9

Анализируя данные, полученные в результате имитационного моделирования, можно сделать вывод об адекватности созданной модели прочности клеевого продукта прядения. Об этом свидетельствует результат проверки точности моделирования путем оценки сравнения расчетных и фактических значений прочности продукта прядения с помощью критерия Фишера. Полученную модель можно считать адекватной с 95%-ной доверительной вероятностью.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе решения задач, поставленных в диссертационной работе, получены следующие результаты:

1. Анализ работ в области инновационных способов формирования пряжи показал, что при клеевом формировании пряжи требуются значительные затраты энергии на сушку пряжи, а также специальный технологический переход для удаления клея из готовой ткани. При вьюрковом формировании пряжи имеет недостаточную для использования в ткачестве прочность. Установлено, что совмещение этих двух способов одновременно с применением экологически чистых клеевых составов позволит устранить указанные недостатки.

2. Показано, что машина МПБ-1, предназначенная для формирования пряжи вьюрковым способом, позволяет обеспечить дополнительную обработку ровницы клеевым составом с целью упрочнения вырабатываемой пряжи и варьирование технологических параметров для экспериментального обоснования их уровней.

3. Эксперименты по выбору рациональных режимов формирования пряжи позволили рекомендовать для промышленного использования клеевые составы на основе ПВА и серицина в концентрациях 3% и 6% соответственно. Установлено, что за время (не менее 30 мин) сматывания наружного слоя ровницы с паковки полностью погруженной в клеевой раствор, достигается требуемый уровень пропитки ровницы.

4. В результате проведенного исследования показано, что комбинированный вьюрково-клеевой способ прядения позволяет получать пряжу первого сорта класса ОЛ.

5. Разработаны рекомендации по использованию серицина в качестве клеящего состава при производстве пряжи комбинированным способом, принятые Узбекским НИИ натуральных волокон (г. Маргилан) для разработки рекомендаций по использованию серицина на производстве.

6. Получены законы распределения волокон в поперечном сечении продукта, позволяющие обоснованно подойти к прогнозированию прочности пряжи, получаемой клеевым способом, или к упрочнению продуктов прядения, полученных другими способами, за счет дополнительного клеевого упрочнения.

7. Получена зависимость между числом контактов между волокнами и геометрическими параметрами (периметром и площадью) области, непрерывно заполненной волокнами.

8. Получена имитационно-статистическая математическая модель, позволяющая прогнозировать степень упрочнения продукта прядения в зависимости от геометрических параметров волокон, их прочности, вида и концентрации клеящего состава.

Рекомендации и перспективы дальнейшей разработки темы

Проведенные исследования являются основой для создания комплекса методического и технического обеспечения при проектировании процесса

прядения, а также оценке прочностных характеристик продуктов прядения, полученных вьюрково-клеевым способом, которые включают в себя:

- создание баз данных показателей качества клеевой пряжи с учетом варьирования вида и концентрации клеевого состава, линейной плотности продукта прядения;
- совершенствование методов мониторинга процессов прядения;
- автоматизацию методов и средств оценки показателей качества клеевой пряжи с учетом современных достижений информационных технологий.

В реализации указанных рекомендаций заключаются перспективы дальнейшей разработки данной темы.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ

В журналах, рекомендуемых ВАК РФ:

1. Рудовский П.Н., Белова И.С. Выбор клеящего состава для выработки пряжи клеевым способом. // Технологии и качество. – 2021, №4 (54). С. 43-46.
2. Рудовский П.Н., Белова И.С. Исследование адгезионных свойств клеевой пряжи. Химические волокна, 2021, № 6, С. 50-52.
3. Рудовский П.Н., Белова И.С., Кузнецова Н.С., Палочкин С.В. Исследование свойств льняной пряжи, полученной клеевым способом. // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2022. № 4 (400). С. 90-96.
4. Рудовский П.Н., Белова И.С., Сахарова Н.С. Исследование поперечного сечения продукта прядения. // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2023. № 1 (403). С. 91-97.
5. Рудовский П.Н., Белова И.С., Сахарова Н.С. Определение числа контактов между волокнами в поперечном сечении продукта прядения. // Технологии и качество. – 2023, №2 (60). С. 20-24.

Статьи в журналах:

6. Белова И.С. Обоснование метода оценки адгезии волокнистых материалов к связующему при выработке пряжи клеевым способом./ И.С. Белова// Технологии и качество 2019, №4(46), С. 3–7.

Материалы научно-технических конференций:

7. Белова И.С. Сравнительный анализ сил адгезии и разрывной нагрузки волокна при выработке пряжи клеевым способом. Научные исследования и разработки в области дизайна и технологий. Материалы Всероссийской научно-практической конференции: в 2-х частях. Кострома, 2021. С. 79-81.
8. Белова И.С. Методика подбора связующего для получения пряжи клеевым способом. Научные исследования и разработки в области дизайна и технологий. Материалы Всероссийской научно-практической конференции. В 2-х частях. 2020. С. 103-106.
9. Белова И.С. Оценка адгезии волокон к связующему при производстве пряжи клеевым способом. Сборник научных трудов Международной научной

конференции, посвященной 110-летию со дня рождения профессора А.Г. Севостьянова. Материалы конференции. Москва, 2020. С. 12-15.

10. Рудовский П.Н., **Белова И.С.** Исследование зависимости сил адгезии волокон к связующему от концентрации клеящего вещества при производстве клеевой пряжи. Повышение энергоресурсоэффективности и экологической безопасности процессов и аппаратов химической и смежных отраслей промышленности (ISTS “EESTE-2021”). Сборник научных трудов Международного научно-технического симпозиума, посвященного 110-летию А.Н. Плановского, в рамках Третьего Международного Косыгинского форума «Современные задачи инженерных наук». Москва, 2021. С. 371-374.

11. Рудовский П.Н., **Белова И.С.** Технология получения льняной пряжи путем совмещения вьюркового способа со способом PAVENA. Энергоресурсоэффективные экологически безопасные технологии и оборудование. Сборник научных трудов Международного научно-технического симпозиума «Вторые международные Косыгинские чтения, приуроченные к 100-летию РГУ им. А.Н. Косыгина» на Международном Косыгинском форуме – 2019 «Современные задачи инженерных наук». 2019. С. 194-196.

12. Рудовский П.Н., **Белова И.С.** Анализ и перспективы клеевых способов формирования пряжи. Физика волокнистых материалов: структура, свойства, наукоемкие технологии и материалы (SMARTEX). 2019. № 1-1. С. 186-189.

13. **Белова И.С.**, Рудовский П.Н. Расчет конструктивных параметров бункера накопителя для сушки льняной пряжи. Молодые ученые – развитию национальной технологической инициативы (ПОИСК). 2023. №1. С. 67-71.

Белова Ирина Сергеевна

Автореферат на соискание ученой степени кандидата технических наук

Подписано в печать «___» _____ 2024 . Печ. 1.0. Тираж 50.

156005, Кострома, ул. Дзержинского, д.17/11