На правах рукописи

Родионов Сергей Андреевич

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЙ ИЗГОТОВЛЕНИЯ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ ТЕКСТИЛЬНЫХ ПРОДУКТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЛЬНЯНЫХ ОТХОДОВ

2.6.16. Технология производства изделий текстильной
и легкой промышленности

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Иваново – 2026

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Ивановский государственный политехнический университет».

Научный руководитель: **Хосровян Гайк Амаякович,**
доктор технических наук, профессор, профессор кафедры мехатроники и радиоэлектроники Института текстильной индустрии и моды ФГБОУ ВО «Ивановский государственный политехнический университет», г. Иваново

Официальные оппоненты: **Рудовский Павел Николаевич**,
доктор технических наук, профессор, профессор кафедры теории механизмов и машин, деталей машин и проектирования технологических машин ФГБОУ ВО «Костромской государственный университет», г. Кострома

Дымникова Наталья Сергеевна
кандидат технических наук, научный сотрудник научно-исследовательского отдела «Химия и технология модифицированных волокнистых материалов» ФГБОУН Институт химии растворов им. Г.А. Крестова Российской академии наук (ИХР РАН), г. Иваново

Ведущая организация: ФГБОУ ВО «Российский государственный университет им. А. Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)», г. Москва

Защита диссертации состоится «24» декабря 2026 г. в 10 часов на заседании диссертационного совета 24.2.300.02 на базе ФГБОУ ВО «Ивановский государственный политехнический университет» по адресу: 153000, г. Иваново, пр. Шереметевский, 21, ауд. У-109.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на официальном сайте ФГБОУ ВО «Ивановский государственный политехнический университет»: https://ivgpu.ru.

Автореферат разослан «___» _____ 2026 г.

Ученый секретарь диссертационного совета
24.2.300.02, доктор технических наук, профессор Е.Н. Никифорова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы диссертационной работы. В настоящее время в текстильной отрасли России наблюдается дефицит хлопкового волокна, что приводит к необходимости использования альтернативного сырья. В частности, для производства смесовой пряжи и создания новых видов текстильной продукции может быть использовано короткое льняное волокно (котонин).

Поэтому актуальными становятся разработки технологий и оборудования для производства новых видов материалов для различных отраслей народного хозяйства, на основе рационального использования коротких льняных волокон (котонина).

Первым шагом обеспечения возможности использования коротких волокон (отходов) является котонизация, т.е. получение льняных волокон, сопоставимых по длине и линейной плотности с хлопковым волокном, с целью получения хлопкольняной пряжи на базе оборудования для традиционного хлопкопрядения. Однако, льняное котонизированное волокно, поступающее для смешивания с хлопком, содержит как отдельные элементарные, так и комплексы волокон.

Существующие в настоящее время технологии и оборудование для разрыхления льняной волокнистой массы с целью снижения количества комплексов волокон в волокнистой массе основаны на увеличении количества и степени механического воздействия рабочих органов на волокнистую массу, при этом происходит не только расщепление комплексов льняных волокон, но и уменьшение длины элементарных волокон с одновременным ростом доли коротких волокон в смеси.

Разработка новой технологии и оборудования для переработки льняных отходов с получением котонина на основе снижения интенсивности механических воздействий при дополнительном разделении волокнистых комплексов и последующее использование регенерированных волокон в производстве новых видов текстильной продукции являются актуальными и необходимыми, и позволят бизнесу занять новые рыночные ниши, организовать производство новых видов материалов, используемых в различных отраслях народного хозяйства.

Диссертационная работа выполнена в рамках гранта **РФФИ (№ 20-43-370010) и Департамента экономического развития и торговли Ивановской области** на проведение фундаментальных исследований по теме: Теория и технологии получения инновационных материалов для различных отраслей народного хозяйства с использованием льноволокон.

Степень научной разработанности темы. Диссертационная работа выполнена в рамках научных исследований, направленных на развитие теоретических основ подготовки полуфабрикатов и создания новых текстильных материалов, а также на совершенствование технологических линий и оборудования.

Значительный вклад в развитие теоретических и технологических основ переработки льняного сырья, котонизации и получения текстильных материалов внесли отечественные учёные Л. Н. Гинзбург, Н. Н. Труевцев, Е. Л. Пашин, А. П. Морыганов. Исследованию аэродинамических процессов в текстильном производстве, в том числе взаимодействия волокон с воздушными потоками, посвящены работы Г. Г. Павлова.

Особое значение имеют результаты фундаментальных исследований, направленных на разработку специализированных технологических линий и оборудования для расширения ассортимента текстильной продукции.

Несмотря на значительное количество исследований, вопросы аэродинамического съема волокон с гарнитуры пильчатого барабана при совместном действии механических и аэродинамических сил требуют дальнейшего изучения.

Анализ работ, посвящённых разрыхлению, очистке и аэродинамическому съему волокон, показывает необходимость исследования условий отделения волокна от пильчатой гарнитуры при совместном действии сил тяжести, инерционных и аэродинамических сил с учётом угла наклона зуба гарнитуры, скорости воздушного потока и частоты вращения барабана.

Представленная работа направлена на дальнейшее исследование технологических процессов разрыхления, очистки и аэродинамического съема волокон с зуба пильчатой гарнитуры.

Целью диссертационной работы является разработка технологии подготовки льняных отходов к использованию их в текстильном производстве, а также разработка технологий изготовления крученой пряжи и многокомпонентных волокнистых материалов.

Для достижения этой цели в работе были поставлены и решены следующие задачи:

- разработана технологическая линия для получения одиночных волокон из котонина, предусматривающая отделение одиночных волокон из волокнистой массы и возможность возврата комплексов волокон для повторного расщепления;
- проведено математическое моделирование силового взаимодействия волокнистого комплекса с колосниковой решёткой и рассмотрено равновесие волокна на зубе пильчатой гарнитуры при аэродинамическом съёме;
- определены условия аэродинамического съема волокна, находящегося в межвитковом пространстве пильчатого барабана оборудования разработанной технологической линии для получения одиночных волокон из котонина, в зависимости от сил, действующих на волокно;
- получены уравнение равновесия волокна на зубе гарнитуры под действием механических и аэродинамических сил, действующих на волокно в межвитковом пространстве, а также зависимость аэродинамической силы от угла наклона зуба гарнитуры, скорости воздушного потока, частоты вращения барабана;
- выполнены экспериментальные исследования по определению процентного содержания одиночных волокон и комплексов волокон на выходе из

разработанной технологической линии для получения одиночных волокон из котонина;

- разработан способ получения хлопкольняной крученой пряжи, реализованный в производственных условиях при изготовлении пряжи различной линейной плотности и с различным содержанием льняных волокон;

- реализовано в производственных условиях использование хлопкольняной крученой пряжи для изготовления ткани различного назначения;

- выполнены производственные исследования для оценки эффективности дополнительного разделения комплексов волокон при регенерации текстильных отходов из текстильных отходов, которая обеспечивается при использовании в технологической линии разработанного оборудования для дополнительного разрыхления, рассортировки волокон, их распределения и транспортировки;

- разработана технология изготовления многокомпонентных волокнистых материалов из регенерированных волокон текстильных отходов с формированием волокнистого холста и его соединением с армирующими материалами;

- выполнена оценка экономической эффективности технологического процесса изготовления многокомпонентных волокнистых материалов по разработанной технологии и проведено её сравнение с показателями действующего производства нетканого материала и ветоши

Объект исследования – технологическая линия для получения одиночных волокон из котонина, оборудование для получения одиночной и крученой пряжи.

Предмет исследования – технологические процессы разрыхления, очистки и съема волокнистой массы при получении одиночных волокон из котонина и регенерации волокон из текстильных отходов.

Научная новизна диссертационной работы состоит в развитии расчётного описания отдельных процессов подготовки волокнистого сырья: взаимодействия волокнистого комплекса с колосником, перемещения непрядомых частиц в изогнутом трубопроводе и аэродинамического съёма волокна с пильчатой гарнитуры.

В рамках теоретических исследований получены следующие научные результаты:

- на основе математического описания взаимодействия волокнистого комплекса с колосниковой решёткой получена зависимость для расчёта результирующей силы, действующей на комплекс при контакте с колосником;

- на основе уравнения равновесия волокна на зубе пильчатой гарнитуры рассмотрено соотношение сил, удерживающих волокно на зубе и способствующих его аэродинамическому съёму;

- получена аналитическая зависимость аэродинамической силы от угла наклона зуба гарнитуры, скорости воздушного потока и частоты вращения барабана;

- определено расчётное условие аэродинамического съёма волокна на основе сопоставления сил, способствующих его отделению, и сил удержания на гарнитуре;

- исследовано влияние длины свободной части волокна, не контактирующей с гарнитурой, на расчётные условия аэродинамического съёма;

- получена зависимость для определения радиального перемещения непрядомой частицы в изогнутой перфорированной части возвратного трубопровода под действием центробежных и аэродинамических сил;

- разработана динамическая математическая модель заполнения камер смесовой машины, основанная на балансе поступающего и отводимого волокнистого материала и зависимостях его плотности от высоты слоя и давления.

Новизна разработанных технических решений защищена патентом РФ № 2807097 «Способ получения хлопкольняной сдвоенной крученой пряжи на прядильно-крутильной машине» (опубл. 09.11.2023, бюл. № 31).

Теоретическая значимость работы состоит в получении расчётных зависимостей для отдельных стадий подготовки волокнистого сырья: взаимодействия волокнистого комплекса с колосником, перемещения непрядомых частиц в изогнутом трубопроводе и аэродинамического съёма волокна с пильчатой гарнитуры. Для процесса съёма учтены параметры воздушного потока и барабана, геометрия зуба и длина свободной части волокна. Модель смесовой камеры описывает её заполнение при заданных расходах волокнистого материала.

Практическая значимость и реализация результатов работы.

Практическая значимость работы заключается в разработке технологической линии, обеспечивающей эффективное получение одиночных волокон с возвратом неразделённых волокнистых комплексов на повторное разрыхление.

Результаты исследования позволяют изготавливать хлопкольняную крученую пряжу с регулируемым составом и расширяют возможности использования льняного сырья в текстильной промышленности.

Разработанный способ получения крученой хлопкольняной пряжи может применяться при изготовлении тканей различного назначения.

Разработанное оборудование для дополнительного разрыхления, рассортировки, распределения и транспортирования волокнистого сырья обеспечивает повторную обработку волокнистых комплексов и позволяет увеличить долю одиночных волокон в регенерированном сырье.

Применение разработанной технологии изготовления многокомпонентных волокнистых материалов из регенерированных волокон позволяет использовать текстильные отходы в качестве вторичного сырья и, согласно выполненной в диссертации экономической оценке, повышает расчётную прибыль по сравнению с рассмотренным производством нетканого материала (ветоши).

Многокомпонентные волокнистые материалы, изготавливаемые по разработанной технологии, могут использоваться, в частности, при изготовлении изделий строительного и мебельного назначения.

Отдельные результаты работы внедрены в учебный процесс ИВГПУ в виде лабораторных работ, предназначенных для студентов, обучающихся по

направлению подготовки «Материаловедение и технологии материалов», а также при выполнении курсовых, дипломных проектов и в научно-исследовательской работе студентов. Кроме того, полученные результаты работы используются в лекционном материале для магистров и аспирантов по дисциплинам «Новейшие достижения в разработке новых материалов» и «Технологические машины и оборудование текстильной и лёгкой промышленности».

Результаты работы могут быть использованы при модернизации действующего текстильного оборудования и при разработке нового текстильного оборудования.

Методология и методы диссертационного исследования.

При построении математических описаний использованы положения механики, аэродинамики и материального баланса, методы дифференциального и интегрального исчисления, аналитической геометрии и дифференциальных уравнений. Экспериментальные исследования проводились на лабораторном и действующем производственном оборудовании с использованием стандартных методик и измерительной аппаратуры. Обработка результатов эксперимента выполнена с применением программного пакета Mathcad.

Соответствие диссертации Паспорту научной специальности. Диссертационная работа выполнена в рамках Паспорта научной специальности: 2.6.16. Технология производства изделий текстильной и легкой промышленности ВАК Минобрнауки России и соответствует следующим его пунктам:

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

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

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

Степень достоверности и апробация результатов. Расчётные зависимости получены с использованием законов механики и аэродинамики, а при описании заполнения смесовой камеры — соотношений материального баланса. Результаты экспериментальных исследований обрабатывались методами теории вероятностей и математической статистики. Материалы по теме диссертационной работы докладывались и получили положительную оценку:

– на международных научно-технических конференциях: SMARTEX-2019, 2022, 2023 (ИВГПУ, Иваново);

– на межвузовских научно-технических конференциях: Поиск-2019, 2020, 2021, 2022, 2023, 2024 (ИВГПУ, Иваново).

Личный вклад автора в получении результатов, представленных в диссертации. Автору принадлежат постановка задач, выбор методов и направлений исследований, обобщение полученных результатов, теоретические положения и выводы по диссертации. Выбор и разработка методик теоретического и экспериментального исследований механики волокнистых материалов при подготовке и получении новых видов текстильной продукции

выполнены автором при участии научного руководителя и соавторов. Результаты производственных исследований и экономических расчетов принадлежат автору. Доля соискателя в опубликованных с соавторами работах по теме диссертации составляет от 24,6 до 80 %.

Публикации. Результаты диссертационной работы полностью отражены в 21 печатной работе, из них 5 статей в рецензируемых научных изданиях, 6 статей в сборниках международных научно-практических форумов и конференций, 9 тезисов в сборниках материалов научных конференций, а также получен 1 патент на изобретение.

Структура и объем диссертации.

Диссертационная работа изложена на 181 страницах печатного текста, включая 3 приложения на 5 страницах, и состоит из введения, 5 глав, заключения, рекомендаций и перспектив дальнейшей разработки темы, списка литературы. Диссертация включает 172 наименования используемой литературы с 158 по 176 стр., 14 таблиц, 34 рисунка.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, степень научной разработанности темы, сформулированы ее цель и задачи, новые научные результаты и их научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы, описаны использованные теоретические и экспериментальные методы исследований, степень достоверности и апробация результатов, обоснованность выводов и рекомендаций, полученных в работе.

В первой главе рассмотрены способы котонизации льняных отходов и оборудование для их осуществления. Описано использование котонина для изготовления смесовой пряжи на технологических линиях европейских и китайских производителей оборудования.

Дана характеристика технологическим процессам получения хлопкольняной пряжи пневмомеханическим способом прядения на предприятиях Российской Федерации.

В главе также рассмотрена инерционно-аэродинамическая рассортировка волокон и сорных примесей. Разделение фракций обусловлено различием их аэродинамических свойств и траекторий движения в воздушном потоке. При анализе траекторий учитывают скорости витания частиц и условия их выхода из зоны действия рабочего барабана.

В главе представлен анализ опыта работы отечественных предприятий, занимающихся производством одиночной хлопкольняной пряжи с использованием котонина, содержащего одиночные волокна и комплексы волокон, который показывает влияние содержания волокнистых комплексов в котонине на процесс прядения на пневмомеханических и кольцепрядильных машинах. Поэтому возникает необходимость разработки технологического процесса получения одиночных льняных волокон на основе создания

оборудования для увеличения доли из волокнистой массы (котонина) одиночных льняных волокон.

Во второй главе описана разработанная технологическая линия для дополнительного разрыхления котонина, разделения волокнистой массы на фракции и возврата комплексов на повторную обработку. Рассмотрены расчёт результирующей силы при взаимодействии волокнистого комплекса с колосником, движение непрядомых частиц в изогнутом возвратном трубопроводе и условия аэродинамического съёма волокна с пильчатой гарнитуры.

Рассмотрены направления совершенствования подготовки котонина к прядению. Экспериментальные исследования показали, что в котонине, полученном при существующей механической обработке, сохраняются неразделённые волокнистые комплексы, осложняющие переработку сырья на прядильном оборудовании.

Разработанная технологическая линия включает зоны предварительного и дополнительного интенсивного разрыхления волокнистой массы последовательно расположенными пильчатыми барабанами и распределительную камеру с сетчатыми барабанами. В камере образуются два волокнистых слоя: верхний, обогащённый одиночными волокнами, направляется на дальнейшую переработку в пряжу; нижний, содержащий преимущественно волокнистые комплексы, возвращается на повторное разрыхление.

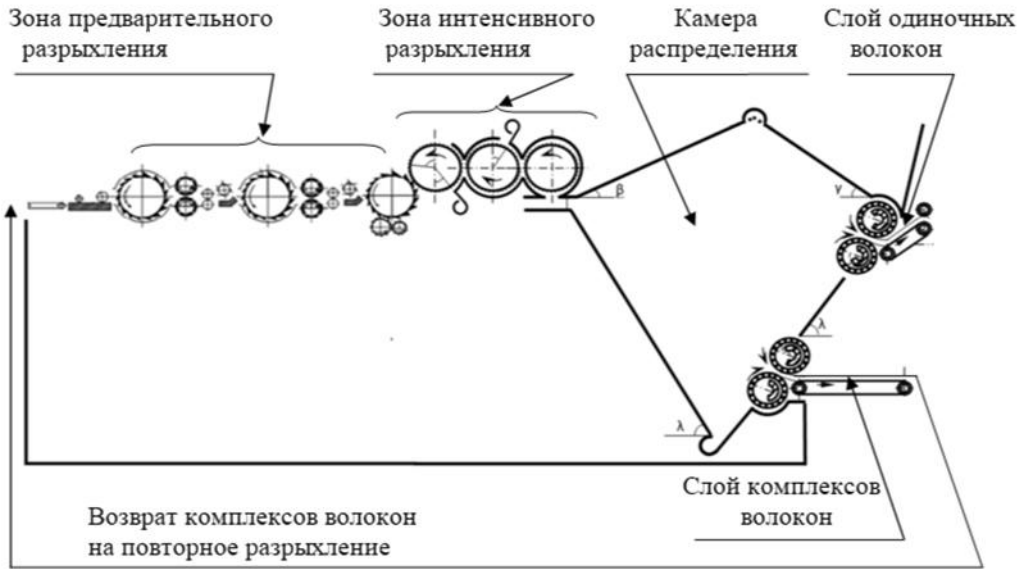


Рис. 1. Схема технологической линии для получения одиночных волокон из котонина

Выполнено математическое описание воздействия колосниковой решётки на волокнистый комплекс. На основе расчётной схемы его взаимодействия с колосником получено выражение для результирующей силы, действующей на комплекс. Для изогнутого участка возвратного трубопровода рассмотрено

радиальное перемещение непрядомых частиц при совместном действии центробежных и аэродинамических сил.

Рассмотрено силовое равновесие волокна на зубе пильчатой гарнитуры с учётом части волокна, контактирующей с зубом, и свободной части, взаимодействующей с воздушным потоком.

Получена расчётная зависимость аэродинамической силы от параметров движения воздушного потока и барабана, а также угла наклона зуба гарнитуры. Сопоставление сил съёма и удержания позволяет определить условия отделения волокна от гарнитуры в рамках принятой расчётной схемы.

$$F_a = \frac{m_в g \cdot [v_{ac} - \omega_б (R_б - h_з + y\cos\gamma) - v\sin\gamma]^2}{V_{вит}^2}, \qquad (1)$$

где v_{ac} — средняя скорость воздуха в аэросъёмном канале, м/с;

v — скорость центра масс волокнистого комплекса, м/с;

γ — угол между осью Оу и перпендикуляром к основанию зуба;

$h_з$ — высота зуба гарнитуры, м;

$R_б$ — радиус барабана, м;

$\omega_б$ — угловая скорость вращения барабана, рад/с;

g — ускорение свободного падения, м/с²;

$m_в$ — масса волокна, кг;

$V_{вит}$ — скорость витания волокна, м/с;

$y = h_з/cos\beta$ – координата центра масс волокнистого комплекса, отсчитываемая от основания зуба.

Получено выражение для силы взаимодействия волокнистого комплекса с колосником

$$F_к = \frac{-mg\cos\alpha + N + F_a sin\alpha}{\cos\beta sin\alpha - sin\beta\cos\alpha}, \qquad (2)$$

где $m\vec{g}$ — сила тяжести, Н;

N — реакция опоры, Н;

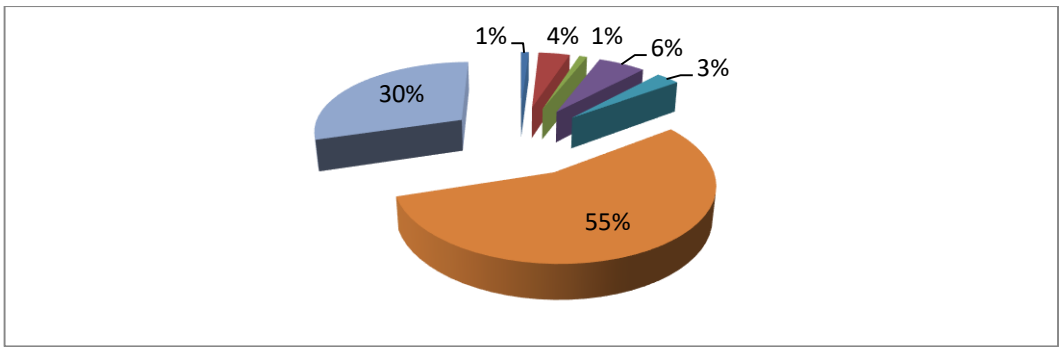
F_a — аэродинамическая сила, Н;

α — угол между направлениями силы тяжести и реакции опоры;

β — угол между направлением силы, действующей на волокнистый комплекс со стороны колосника, и горизонталью.

Для изогнутой перфорированной части трубопровода, по которому комплексы волокон возвращаются на повторное разрыхление, получена зависимость радиального перемещения непрядомых частиц с учётом центробежного и аэродинамического воздействий. Она используется для расчётной оценки условий их удаления.

В третьей главе представлены экспериментальные исследования распределения волокнистой массы на разработанной технологической линии. По результатам измерений доля одиночных волокон в верхнем слое составила 55,25 %, а доля комплексов волокон в нижнем слое — 29,75 % (рис. 2).



■1% - сорные примеси, костра и грубые волокна, удаляемые из зоны верхнего сороотбойного ножа;

■4% - сорные примеси, костра и грубые волокна, удаляемые из зоны нижнего сороотбойного ножа;

■1% - частицы пыли и сорных примесей, удаляемые из верхней контролирующей зоны перфорации;

■6% - сорные примеси, костра и частично грубые волокна, удаляемые узлом сороудаления;

■3% - частицы пыли и сорных примесей, удаляемые из зоны сетчатых барабанов;

■55,25 % - одиночные волокна, составляющие верхний слой;

■29,75 % - комплексы волокон, составляющие нижний слой.

Рис. 2. Диаграмма распределения одиночных волокон, комплексов волокон, костры и пыли по зонам формирования слоев и удаления отходов на технологической линии для получения одиночных льняных волокон из котонина

Нижний волокнистый слой, содержащий преимущественно комплексы волокон, возвращается на повторное разрыхление. Сорные примеси и пыль удаляются через предусмотренные в технологической линии зоны сороудаления и аспирации.

В четвёртой главе приведено математическое описание заполнения камер смесовой машины и представлены результаты разработки способа получения хлопкольняной крученой пряжи.

Расчёт заполнения смесовой камеры представлен системой взаимосвязанных расчётных соотношений:

$$\begin{cases} \dfrac{\mathrm{d}M(t)}{\mathrm{d}t} = Q_{\text{вх}}(t) - Q_{\text{вых}}(t), \\ M(t) = AB\displaystyle\int_0^{H(t)} \gamma\,(z,t)\,\mathrm{d}z, \\ \gamma(z,t) = \gamma_0 + Kp(z,t). \end{cases} \quad (3)$$

где M(t) — масса волокнистого материала в камере, кг/с; Qвх(t) и Qвых(t) — массовые расходы материала на входе и выходе, кг/с; A и B — ширина и длина

камеры, м; H(t) — высота её заполнения, м; γ(z,t) — плотность материала на высоте z и в ненагруженном состоянии, кг/м³; p(z,t) — давление вышележащих слоёв, Па; K — коэффициент зависимости плотности от давления. В диссертации дополнительно рассмотрено равновесие слоя с учётом трения о стенки камеры; равномерность смешивания компонентов данной системой не определяется.

Глава также содержит описание разработанного способа и технологического процесса получения крученой хлопкольняной пряжи, которые позволяют расширить технические и ассортиментные возможности за счет получения хлопкольняной сдвоенной крученой нити с использованием котонизированного льняного волокна (котонина).

Разработанный способ получения хлопкольняной крученой пряжи (патент РФ № 2807097) характеризуется тем, что на этапе подготовки полуфабриката, содержащего котонин, получена ровница линейной плотности 400–627 текс с содержанием хлопкового волокна 30–60 % и котонина 40–70 %. Ровница поступала на прядильно-крутильную машину, на которой получена хлопкольняная сдвоенная крученая пряжа линейной плотности от 18,5 × 2 до 29 × 2 текс, содержащая 65–80 % хлопкового волокна и 20–35 % котонина.

При вытягивании ровницы формируется первая, хлопкольняная, стренга. Второй стренгой служит хлопчатобумажная пряжа, сходящая с паковки. Стренги соединяются в области веретена, совместно скручиваются и наматываются на приёмную паковку.

Физико-механические показатели ровницы, крученой хлопкольняной пряжи и ткани, полученной с использованием крученой хлопкольняной пряжи, приведены в таблице 1.

Практическая реализация способа подтверждена изготовлением хлопкольняной крученой пряжи и опытного образца портьерной ткани комбинированного переплетения. В качестве основы применена хлопковая пряжа линейной плотности 25 текс, в качестве утка — хлопкольняная крученая пряжа линейной плотности 21 × 2 текс, содержащая 22,5 % котонина и 77,5 % хлопка.

Использование хлопкольняной крученой пряжи с различным содержанием льняных волокон позволяет получать ткани с различным волокнистым составом для разных областей применения.

Таблица 1 – Физико-механические показатели ровницы, крученой хлопкольняной пряжи и ткани

Материал / образец	**Экспериментальные характеристики**
Хлопкольняная ровница	Линейная плотность — 454 текс; крутка — 52 кр/м; состав: хлопок — 55 %, котонин — 45 %.
Хлопкольняная крученая пряжа	Линейная плотность — 21 × 2 текс; крутка — 639 кр/м; состав: хлопок — 77,5 %, котонин — 22,5 %.

Материал / образец	**Экспериментальные характеристики**
Портьерная ткань	Нить основы — 25 текс; нить утка — 21 × 2 текс; число нитей по основе и утку — 210 и 160 на 10 см соответственно; разрывная нагрузка полоски 50 × 200 мм: по основе — 48 Н, по утку — 61 Н.

В пятой главе представлены разработка устройства для регулирования параметра натяжение нити в зоне питания кругловязальных трикотажных машин и разработка узла питания на вязально-прошивной машине.

Разработанное устройство для регулирования параметра натяжение нити в зоне питания кругловязальных трикотажных машин позволяет регистрировать натяжение каждой отдельной нити и заранее предупреждать оператора о необходимости произвести регулирование работы системы вязания, что в свою очередь обеспечивает стабильную работу оборудования.

Представлены экспериментальные исследования определения обрывности при сматывании.

Полученные результаты показывают линейную зависимость обрывности от скорости сматывания и нелинейную зависимость от натяжения нити.

Глава также содержит разработку технологии изготовления многокомпонентных волокнистых материалов из регенерированных волокон с использованием в общем технологическом цикле технологической линии для получения одиночных волокон из текстильных отходов.

Описана разработанная технология регенерации волокон из текстильных отходов с использованием разработанной технологической линии для получения одиночных волокон, на которой происходит дополнительное (повторное) расщепление комплексов волокон, составляющих 38 % волокнистой смеси, выходящей из многобарабанной щипальной машины.

Рассмотрено движение непрядомых частиц в зоне вращающихся пильчатых барабанов. Для описания воздушного потока и расчётной оценки траекторий движения частиц использованы аналитические зависимости, приведённые в разделе 5.5 диссертации.

В главе представлено описание выполненных производственных исследований и их результаты, которые подтверждают максимальную и более качественную регенерацию волокон из текстильных отходов. Результаты достигаются благодаря использованию разработанной технологической линии для получения одиночных волокон в общей технологической линии переработки отходов и получения регенерированных волокон. Описано выполнение и представлены результаты экспериментальных исследований по определению состава волокнистой смеси после регенерации волокон из текстильных отходов и длины регенерированных волокон в контрольных зонах технологической линии.

Количество регенерированных волокон на входе в камеру распределения разработанной технологической линии для получения одиночных волокон возрос

с 50,5 % до 65,3%, количество комплексов волокон снизилось с 37,7% до 21,7 %, что подтверждает эффективность использования разработанной технологической линии для получения одиночных волокон. Данный эффект получен благодаря тому, что волокнистая смесь дополнительно обрабатывается тремя пильчатыми барабанами, расположенными перед входом в камеру.

Также в главе описан разработанный технологический процесс изготовления многокомпонентных текстильных материалов из регенерированных волокон, схема которого представлена на рисунке 4.



Рис 4. Схема разработанного технологического процесса получения многокомпонентного текстильного материала из регенерированных волокон

Далее в главе описана разработанная технологическая линия получения новых видов материалов(многокомпонентных волокнистых материалов) с использованием регенерированных волокон из текстильных отходов для строительной отрасли.

Многокомпонентные волокнистые материалы состоят из волокнистого слоя (холста) и армирующих материалов, скрепленных различными способами. Многокомпонентные волокнистые материалы могут быть использованы в различных отраслях народного хозяйства, в том числе при производстве мебели.

Далее в главе приводится расчет экономической эффективности технологического процесса изготовления многокомпонентного волокнистого материала по разработанной технологии, а также сравнение ее с экономической эффективностью производства нетканого материала (ветоши), выпускаемого на предприятии. Годовая прибыль от реализации многокомпонентного волокнистого материала по разработанной технологии составила 7023,88 тыс. руб., а годовая прибыль от реализации нетканого материала (ветоши) - 3582,66 тыс.руб.

ВЫВОДЫ И ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. Проведенный анализ литературных источников подтверждает, что непосредственное использование котонина в качестве сырья для получения хлопкольняной пряжи, нецелесообразно, так как это приводит к значительной обрывности. Поэтому необходима дополнительная переработка котонина для обеспечения возможности максимального выделения из волокнистой массы (котонина) одиночных льняных волокон и снижения в ней комплексов волокон, на основе разработки технологий и технологического оборудования.

2. Разработанная технологическая линия для получения одиночных волокон из котонина обеспечивает более рациональное использование сырьевых ресурсов на основе роста эффективности технологического процесса за счет максимального расщепления комплексов льняных волокон на отдельные одиночные волокна без ухудшения их качества. На данной технологической линии осуществляется способ, который обеспечивает получение слоя, состоящего из одиночных волокон, и транспортировку его на технологическую линию изготовления хлопкольняной пряжи, а также получение второго слоя, состоящего из комплексов волокон, который транспортируется на повторное разрыхление, расщипывание на отдельные волокна.

3. Рассмотрено механическое взаимодействие волокнистого комплекса с колосником в зоне разрыхления. На основе принятой расчётной схемы получено выражение для результирующей силы, действующей на комплекс в момент контакта с рабочим органом.

4. Разработана методика и получена зависимость для определения смещения сорной частицы, которая происходит при транспортировке комплексов волокон по трубопроводу на повторное разрыхление и разделение комплексов на отдельные волокна, под воздействием центробежных и аэродинамических сил. Получено численное значение величины смещения сорной частицы и определен оптимальный расход воздуха для удаления сорных частиц.

5. Исследованы расчётные условия аэродинамического съёма волокна с зуба пильчатой гарнитуры с учётом угла наклона зуба, скорости воздушного потока и частоты вращения барабана. Получена зависимость аэродинамической силы от указанных параметров.

6. Для волокна, частично контактирующего с гарнитурой, рассмотрено соотношение сил, удерживающих волокно на зубе и способствующих его отделению. В рамках расчётной модели определено условие съёма, связанное с длиной свободной части волокна, взаимодействующей с воздушным потоком.

7. Выполненные экспериментальные исследования распределения одиночных волокон, комплексов волокон, костры и пыли по зонам формирования настилов и удаления отходов на технологической линии для получения одиночных льняных волокон из котонина показали, что в верхнем слое находятся в основном волокна длиной от 35…50 мм, в нижнем слое - в основном волокно длиной от 25…35 мм. Линейная плотность волокон в верхнем слое составила 1,8…2,0 текс, а линейная плотность волокон в нижнем слое – 2,0…3,2 текс.

8. Разработаны способ и технологический процесс получения хлопкольняной крученой пряжи различной линейной плотности и различного содержания льняных волокон, которые повышают эффективность использования котонина. В производственных условиях получены образцы ткани, в которой в качестве основы и утка использована хлопкольняная крученая пряжа различной линейной плотности и различным содержанием льняных и хлопковых волокон, что значительно расширяет ассортимент тканей и области ее применения.

9. Использование разработанной нами технологической линии для получения одиночных волокон в технологической линии для регенерации волокон из текстильных отходов приводит к повышению эффективности последней за счет максимального и более качественного расщепления комплексов волокон до получения одиночных волокон. Количество регенерированных волокон на входе в камеру разработанной технологической линии для получения одиночных волокон возросло с 50,5 % до 65,3%, количество комплексов волокон снизилось с 37,7% до 21,7 %. Это обеспечивает более эффективное использование их в общем сырьевом балансе для получения текстильной продукции.

10. Разработана технология изготовления многокомпонентных волокнистых материалов из регенерированных одиночных волокон, полученных из текстильных отходов. Выполнена модернизация зоны подачи вязально-прошивной машины для получения многослойных материалов. Полученный вязально-прошивным способом многокомпонентный волокнистый материал состоит из волокнистого холста из регенерированных волокон и двух слоев армирующих материалов.

11. Выполнен расчет экономической эффективности технологического процесса изготовления многокомпонентного волокнистого материала по разработанной технологии, а также ее сравнение с экономической эффективностью производства нетканого материала (ветоши), выпускаемого на предприятии. Годовая прибыль от реализации многокомпонентного волокнистого материала по разработанной технологии составила 7023,88 тыс. руб., годовая прибыль от реализации нетканого материала - 3582,66 тыс. руб.

Рекомендации и перспективы дальнейшей разработки темы

Проведенные исследования могут служить основой:

- для модернизации современного оборудования для подготовки котонина при получении различной текстильной продукции;
- при модернизации современного оборудования для регенерации волокон из текстильных отходов в производстве различной текстильной продукции;
- для разработки оборудования, совмещающего процессы подготовки (разрыхления, очистки, съема, разделения на фракции волокнистого потока, формирования волокнистых слоев) и получения нетканых и многокомпонентных волокнистых материалов;
- для проектирования технологических линий по выпуску различной текстильной продукции.

Публикации, отражающие основное содержание диссертации

Статьи в журналах из «Перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертации на соискание ученой степени кандидата наук, ученой степени доктора наук»

1. Родионов С.А. Инновационные разработки теории и технологии производства одиночной и крученой пряжи с содержанием льноволокон / С.А. Родионов, А.Г. Хосровян, А.А. Жукова, И.Г. Хосровян, Р.Р. Алешин, Г.А. Хосровян // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2022. - № 4 (400). - С. 96–108.– 0,81 п. л./0,4 п. л.

2. Топорищева Н. А. Развитие практических технологий получения котонина и котонинсодержащей текстильной продукции / Н.А. Топорищева, А.В. Чешкова, С.А. Родионов, Г.А. Хосровян // Изв. вузов. Технология легкой промышленности. - 4/58. 2022 - С. 60–69. – 0,63/0,23 п. л.

3. Хосровян, И.Г. Математическое моделирование процесса разрыхления волокнистой массы в зоне колосниковой решетки на разработанном оборудовании / И.Г. Хосровян, С.А. Родионов, А.А. Жукова, Г.А. Хосровян // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2023. - № 1 (403). - С. 127–132.– 0,38/0,1 п. л.

4. Хосровян И.Г. Теоретические исследования процесса удаления сорных частиц в изогнутой части трубопровода оборудования для рассортировки волокон / И.Г. Хосровян, С.А. Родионов, А.Г. Хосровян, А.С. Мкртумян, Г.А. Хосровян // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2023. - № 5 (407) - С. 164–167. – 0,25/0,1 п. л.

5. Хосровян И.Г. Теоретические исследования оптимальных условий протекания процесса аэродинамического съема / И.Г. Хосровян, С.А. Родионов, А.А. Хосровян, Д.А. Пирогов, Г.А. Хосровян // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2024. - № 3 (409). - С. 202–206. – 0,31/0,18 п. л.

Объекты интеллектуальной собственности

6. Патент 2807097 Российская Федерация. Способ получения хлопкольняной сдвоенной крученой пряжи на прядильно-крутильной машине / Г.А. Хосровян, И.Г. Хосровян, С.А. Родионов, А.А. Жукова, Н.Ю. Хосровян. Опубл. 09.11.2023. Бюл. № 31. – 0,94/0,3 п. л.

Материалы научно-технических конференций различных уровней

7. Родионов С.А. Динамическая имитационная модель процесса смешивания в камерах смесовой машины / С.А. Родионов, И.А. Суворов, С.П. Зимин // Физика волокнистых материалов: структура, свойства, наукоемкие технологии и материалы (SMARTEX-2019): сборник материалов XXV международного научно-практического форума - Иваново, 2019. – ч. 2. С. 151–155. – 0,31/0,2 п. л.

8. Аллямов Р.Р. О перспективах использования композитных материалов полуфабрикатов в производстве средств химической защиты / Р.Р. Аллямов, А.А. Максимов, С.А. Родионов // Физика волокнистых материалов: структура,

свойства, наукоемкие технологии и материалы (SMARTEX-2019): сборник материалов XXV международного научно-практического форума - Иваново, 2019. – ч. 1. С. 173–175. – 0,19/0,1 п. л.

9. Родионов С.А. Разработка технологии получения одиночной и крученой хлопкольняной пряжи / С.А. Родионов, И.Г. Хосровян, А.Г. Хосровян, А.А. Жукова, Г.А. Хосровян // Физика волокнистых материалов: структура, свойства, наукоемкие технологии и материалы (SMARTEX-2022): сборник материалов XXV международного научно-практического форума - Иваново, 2022. - С. 285–287. – 0,19/0,1 п. л.

10. Жукова А.А. Инновационные разработки технологии подготовки льняных волокон для изготовления текстильной продукции / А.А. Жукова, С.А. Родионов, И.Г. Хосровян, Р.Р. Алешин, Г.А. Хосровян // Физика волокнистых материалов: структура, свойства, наукоемкие технологии и материалы (SMARTEX-2022): сборник материалов XXV международного научно-практического форума - Иваново, 2022. - С. 160–162. – 0,19/0,1 п. л.

11. Родионов С.А. Исследование требований и характеристик систем автоматического регулирования натяжения нити / С.А. Родионов, Р.Р. Аллямов, И.А. Суворов // Физика волокнистых материалов: структура, свойства, наукоемкие технологии и материалы (SMARTEX-2023): сборник материалов XXVI международного научно-практического форума - Иваново, 2023. - С. 167–170. – 0,25/0,15 п. л.

12. Хосровян И.Г. Совершенствование технологического процесса регенерации волокон с использованием разработанного оборудования / И.Г. Хосровян, С.А. Родионов, Р.Р. Алешин, Г.А. Хосровян // Физика волокнистых материалов: структура, свойства, наукоемкие технологии и материалы (SMARTEX-2023): сборник материалов XXVI международного научно-практического форума - Иваново, 2023. - С. 208–212. – 0,31/0,15 п. л.

13. Родионов С.А. Смесовая машина как объект автоматического регулирования линейной плотности настила волокна поточной линии / С.А. Родионов, С.П. Зимин // Всероссийская (с международным участием) молодёжная научно-техническая конференция «Молодые учёные – развитию национальной технологической инициативы» (ПОИСК – 2019): тез. докл. – Иваново: ИВГПУ, 2019. С. 305. – 0,06/0,04 п. л.

14. Родионов С.А. Разработка динамической имитационной модели процесса смешивания в камерах смесовой машины / С.А. Родионов, С.П. Зимин // Всероссийская (с международным участием) молодёжная научно-техническая конференция «Молодые учёные – развитию национальной технологической инициативы» (Поиск – 2020): тез. докл. – Иваново: ИВГПУ, 2020. С. 563–566. – 0,25/0,2 п. л.

15. Родионов С.А. Разработка устройства для регулирования параметра «натяжение нити» на трикотажной машине / С.А. Родионов, Р.Р. Алешин // Всероссийская (с международным участием) молодёжная научно-техническая конференция «Молодые учёные – развитию национальной технологической

инициативы» (Поиск – 2021): тез. докл. – Иваново: ИВГПУ, 2021. С. 116–117. – 0,13/0,1 п. л.

16. Родионов С.А. Определение обрывности при сматывании // Всероссийская (с международным участием) молодёжная научно-техническая конференция «Молодые учёные – развитию национальной технологической инициативы»: тез. докл. – Иваново: ИВГПУ, 2022. С. 1058–1059. – 0,13 п. л.

17. Родионов С.А. Реализация в производственных условиях получения текстильной продукции с использованием хлопкольняной крученой пряжи / С.А. Родионов, И.Г. Хосровян, М.М. Соловьева, Г.А. Хосровян // Всероссийская (с международным участием) молодёжная научно-техническая конференция «Молодые учёные – развитию национальной технологической инициативы» (Поиск – 2023): тез. докл. – Иваново: ИВГПУ, 2023. С. 137–139. – 0,19/0,1 п. л.

18. Хосровян А.А. Аналитические исследования процесса аэродинамического съема волокон / А.А. Хосровян, С.А. Родионов, Г.А. Хосровян // Всероссийская (с международным участием) молодёжная научно-техническая конференция «Молодые учёные – развитию национальной технологической инициативы» (Поиск – 2024): тез. докл. – Иваново: ИВГПУ, 2024. С. 220–224. – 0,31/0,2 п. л.

19. Жукова А.А. Расширение возможности получения одиночной и крученой пряжи с содержанием лубяных волокон / А.А. Жукова, С.А. Родионов, И.Г. Хосровян, А.Н. Горынин, Г.А. Хосровян // Всероссийская (с международным участием) молодёжная научно-техническая конференция «Молодые учёные – развитию национальной технологической инициативы»: тез. докл. – Иваново: ИВГПУ, 2024. С. 161–163. – 0,19/0,09 п. л.

20. Родионов С.А. Смесовая машина как объект стабилизации линейной плотности настила волокнистого материала // Всероссийская (с международным участием) молодёжная научно-техническая конференция «Молодые учёные – развитию национальной технологической инициативы» тез. докл. – Иваново: ИВГПУ, 2024. С. 197–198. – 0,13 п. л.

21. Родионов С.А. Инновационные технологии для изготовления из текстильных отходов новых видов материалов для строительной отрасли / С.А. Родионов, И.Г. Хосровян, А.Г. Хосровян, А.А. Жукова, Г.А. Хосровян // Всероссийская (с международным участием) молодёжная научно-техническая конференция «Молодые учёные – развитию национальной технологической инициативы»: тез. докл. – Иваново: ИВГПУ, 2024. С. 441–442. – 0,13/0,05 п. л.

Подписано в печать 09.10.2026
Формат 1/16 60×84.
Плоская печать.
Усл. печ. л. 1,16. Уч.-изд. л. 1,11. Тираж 80 экз. Заказ №

ФГБОУ ВО «Ивановский государственный политехнический университет»
153000 г. Иваново, Шереметевский пр., д. 21.