

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Ивановский государственный политехнический университет»

На правах рукописи



**РОДИОНОВ СЕРГЕЙ АНДРЕЕВИЧ**

**РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЙ ИЗГОТОВЛЕНИЯ  
МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ ТЕКСТИЛЬНЫХ ПРОДУКТОВ  
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЛЬНЯНЫХ ОТХОДОВ**

Специальность 2.6.16 – Технология производства изделий текстильной  
и легкой промышленности

Диссертация  
на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Научный руководитель –  
доктор технических наук,  
профессор Г.А. Хосровян

Иваново - 2026

## Оглавление

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ.....	6
1. АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР.....	16
1.1. Методы котонизации льняных отходов и оборудование для их осуществления.....	16
1.2. Технологический процесс получения пряжи из хлопкольнай смеси ...	27
1.3. Инерционно-аэродинамическая рассортировка волокон и сорных примесей.....	32
1.4. Выводы по главе.....	36
2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАЗРАБОТАННОЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЛИНИИ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ОДИНОЧНЫХ ВОЛОКОН ИЗ КОТОНИНА.....	38
2.1. Совершенствование технологий получения котонина и котонинсодержащей текстильной продукции.....	38
2.2. Экспериментальные исследования свойств котонина .....	61
2.3. Разработка технологической линии для получения одиночных волокон из котонина.....	63
2.4. Математическое моделирование процесса разрыхления волокнистой массы в зоне колосниковой решетки оборудования разработанной технологической линии для получения одиночных волокон из котонина.....	68
2.5. Аналитические исследования процесса удаления непрядомых отходов в изогнутой перфорированной части трубопровода оборудования технологической линии для получения одиночных волокон из котонина.....	78
2.6. Теоретические исследования оптимальных условий протекания процесса аэродинамического съема волокон с гарнитуры пильчатого барабана.....	85
2.7. Выводы по главе.....	92
3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАЗРАБОТАННОЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЛИНИИ ПОЛУЧЕНИЯ ОДИНОЧНЫХ ЛЬНЯНЫХ ВОЛОКОН ИЗ КОТОНИНА.....	94
3.1. Выводы по главе.....	99
4. РАЗРАБОТКА СПОСОБА И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ КРУЧЕНОЙ ХЛОПКОЛЬНЯНОЙ ПРЯЖИ.....	100
4.1. Разработка динамической имитационной модели процесса смешивания в камерах смесовой машины.....	100
4.2. Динамическая модель процесса смешивания в камерах смесовой машины .....	103
4.3. Разработка способа получения хлопкольнай крученой пряжи.....	107

4.4. Практическое осуществление разработанного способа получения хлопкольнай крученой пряжи.....	110
4.5. Практическое использование хлопкольнай крученой пряжи для изготовления ткани различного назначения .....	116
4.6. Выводы по главе.....	118
5. РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ПРОТЕКАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПОЛУЧЕНИЯ ТЕКСТИЛЬНОЙ ПРОДУКЦИИ.....	119
5.1. Разработка устройства для регулирования параметра натяжение нити.	119
5.2. Экспериментальные исследования определения обрывности при сматывании .....	121
5.3. Исследование требований и характеристик систем автоматического регулирования натяжения нити .....	123
5.4. Разработка технологии регенерации волокон из текстильных отходов	127
5.5. Теоретические исследования процесса удаления непрядных частиц на технологической линии для получения одиночных волокон.....	129
5.6. Технологический процесс изготовления волокнистого холста для композиционного материала.....	132
5.7. Разработка технологии изготовления многокомпонентных волокнистых материалов из регенерированных волокон .....	133
5.8. Разработка технологии получения новых видов материалов для строительной отрасли с использованием регенерированных волокон из текстильных отходов .....	136
5.9. Оценка экономической эффективности предприятия по производству многокомпонентного волокнистого материала с использованием регенерированных волокон.....	138
5.10. Выводы по главе.....	148
ИТОГИ ВЫПОЛНЕННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ, РЕКОМЕНДАЦИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ ИССЛЕДОВАНИЯ .....	150
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	154

## ВВЕДЕНИЕ

Одним из ключевых направлений повышения эффективности функционирования предприятий лёгкой и текстильной промышленности является разработка и внедрение новых технологических решений, а также системное совершенствование существующих технологий, оборудования и производственных процессов. Особую актуальность приобретает техническое перевооружение предприятий, модернизация производственных линий и внедрение высокоэффективного оборудования, обеспечивающего повышение качества продукции, расширение её ассортимента, снижение себестоимости и увеличение объёмов выпуска.

Рациональным подходом к разработке новых технологических решений является использование универсальных технологических схем и оборудования, созданных на базе уже апробированных конструктивных элементов, адаптированных под конкретные производственные задачи. В современных условиях особое значение приобретает проблема ресурсосбережения, которая из теоретической категории перешла в разряд практических задач, требующих оперативного решения.

В этой связи внедрение ресурсосберегающих технологий, применение научно-технических достижений, а также разработка малоотходных и безотходных производственных процессов являются приоритетными направлениями развития отрасли. Ограниченность производства натуральных волокон при одновременном росте потребности в текстильной продукции обуславливает необходимость поиска новых подходов к более эффективному использованию сырья, включая переработку отходов.

Практика отечественных и зарубежных предприятий показывает, что одним из перспективных направлений является использование льняных отходов. В связи с этим ведущие мировые производители оборудования разрабатывают специализированные технологические решения для их переработки с целью получения текстильной продукции.

В настоящее время задача получения качественного полуфабриката из льняных отходов и расширения возможностей их использования приобретает особую значимость как с экономической, так и с экологической точек зрения.

Традиционные технологии текстильного производства ориентированы преимущественно на использование длинного льняного волокна. Однако значительную долю сырьевого баланса (до 65–75%) составляют короткие волокна, применение которых ограничено существующими технологиями. В связи с этим актуальной задачей является разработка методов эффективного использования короткого льняного волокна для производства текстильной продукции бытового назначения.

Для переработки льняного волокна в смеси с хлопком необходимо обеспечить его приведение к параметрам хлопкового волокна по длине и линейной плотности, что достигается в процессе котонизации. Однако после данной обработки возникает необходимость дополнительного разделения волокон на элементарные и комплексные, поскольку наличие последних существенно ухудшает технологические процессы прядения.

## 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).

Как известно, для производства пряжи, в последующем ткани, трикотажа используются длинные льняные волокна, которые составляют 25-35 % общего объема волокнистой массы. Остальное 65-75 % составляют короткие волокна (отходы). Поэтому востребованным становится обеспечение возможности максимального использования коротких волокон (отходов) для получения смесовой пряжи.

Первым шагом решения проблемы обеспечения возможности использования коротких волокон (отходов) является котонизация, т.е. получение льняных волокон, приближенных по длине и линейной плотности к хлопку, 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 (котонина) на основе более щадящего восстановления волокон с максимальным расщеплением комплексов волокон 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 льноволокна.

**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.

Существенный вклад в развитие данной области внесли как отечественные, так и зарубежные исследователи, занимавшиеся вопросами переработки волокнистых материалов и получения текстильной продукции.

Особое значение имеют результаты фундаментальных исследований, выполненных научными коллективами под руководством ведущих ученых, направленные на разработку специализированных технологических линий и оборудования для расширения ассортимента текстильной продукции.

Несмотря на значительное количество исследований, вопросы, связанные с аэродинамическим съёмом волокон и влиянием совокупности действующих сил, остаются недостаточно изученными, что обуславливает необходимость дальнейших исследований в данном направлении под

руководством доктора технических наук, профессора Г.А. Хосровяна. Деятельность данного коллектива была сфокусирована на проектировании специализированных технологических линий и аппаратных комплексов, направленных на существенную диверсификацию номенклатуры текстильной продукции. В частности, разработки охватывают сегменты формирования структур одиночной и крученой смесовой пряжи, тканых полотен, а также создание гетерогенных систем, включая однослойные и многослойные нетканые структуры и высокотехнологичные композиционные текстильные материалы.

Из анализа известных научных работ, посвященных теоретическому исследованию процессов разрыхления, очистки и аэродинамического съема волокон, следует, что нет достаточно целостного представления о процессе аэродинамического съема волокон с гарнитуры пильчатого барабана в зависимости от интегральных (многокомпонентных) сил, действующих на волокно, от угла наклона зуба гарнитуры, скорости воздушного потока, частоты вращения барабана и т.д.

Представленная работа является логическим продолжением вышеуказанного научного направления, так как в ней продолжено развитие теории 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, обеспечивающая максимальное выделение одиночных волокон из волокнистой массы и возможность возврата комплексов волокон для повторного расщепления;

- выполнено математическое моделирование поведения волокна в межвитковом пространстве пильчатой гарнитуры рабочего барабана оборудования разработанной технологической линии для получения одиночных волокон из котонина;

- 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 интегральных (многокомпонентных) сил, действующих на волокно в межвитковом пространстве и зависимость аэродинамической силы от угла наклона зуба гарнитуры, скорости воздушного потока, частоты вращения барабана и др.;

- 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 хлопкольнайной крученой пряжи и выполнена практическая реализация изготовления на основе разработанного способа хлопкольнайной крученой пряжи различной линейной плотности и различным содержанием льняных волокон;

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

- выполнены производственные исследования для подтверждения максимальной и более качественной регенерации волокон 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 с использованием регенерированных волокон из текстильных отходов, состоящих из холста необходимой толщины и ширины, и армирующих материалов;

- выполнена оценка экономической эффективности технологического процесса изготовления многокомпонентных волокнистых материалов по разработанной технологии их изготовления и сравнение с экономической эффективностью производства нетканого материала (ветоши), выпускаемого на предприятии.

**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 на оборудовании технологической линии для получения одиночных волокон из котонина и из текстильных отходов.

**Научная новизна** диссертационной работы заключается в развитии теории технологических процессов разрыхления, очистки и съема волокнистой массы.

В рамках теоретических исследований получены следующие научные результаты:

- в ходе исследования получены новые математические зависимости, описывающие поведение волокон под действием комплекса сил, а также разработаны модели, позволяющие прогнозировать условия эффективного разделения волокон.

- получено уравнение равновесия волокна на зубе гарнитуры под действием интегральных (многокомпонентных) сил, действующих на волокно в межвитковом пространстве;

- получена зависимость аэродинамической силы, которая учитывает угол наклона зуба гарнитуры, скорость воздушного потока, частоту вращения барабана и др., и которая является значимой для практических целей при

выборе гарнитуры для обтягивания пильчатых барабанов в зависимости от сырья;

- определены условия аэродинамического съема волокна, находящегося в межвитковом пространстве, в зависимости от сил, действующих на свободную часть волокна;

- проведено математическое моделирование процесса аэродинамического съема волокон с пильчатой гарнитурой с учетом длины свободной части волокна, не контактирующей с гарнитурой;

- разработана методика и получена зависимость для определения смещения сорной частицы, которое происходит под воздействием центробежных и аэродинамических сил, возникающих при возврате комплексов волокон для повторного разрыхления;

- разработана динамическая имитационная модель процесса смешивания в камерах смесовой машины для оптимизации процесса смешивания и получения более равномерных по составу настила смеси и в конечном итоге более равномерного по физико-механическим свойствам полуфабриката и крученой пряжи.

**Новизна разработанных технических решений** защищена патентом 2807097 РФ (Опубли. 09.11.2023, Бюл. №31) Способ получения хлопкольняной двояной крученой пряжи на прядильно-крутильной машине.

**Теоретическая значимость работы** заключается в применении методов механики и аэродинамики к комплексному моделированию процесса аэродинамического съема волокон с гарнитуры пильчатого барабана и в получении на этой основе математических моделей и аналитических зависимостей, определяющих условия аэродинамического съема волокна, находящегося в межвитковом пространстве, в зависимости от интегральных (многокомпонентных) сил, действующих на волокно, от угла наклона зуба гарнитуры, скорости воздушного потока, частоты вращения барабана и др.

**Практическая значимость и реализация результатов работы.**

Практическая значимость работы заключается в разработке технологической линии, обеспечивающей эффективное получение одиночных волокон без ухудшения их свойств.

Результаты исследования позволяют создавать новые виды пряжи с регулируемым составом и расширяют возможности использования льняного сырья в текстильной промышленности.

Технологические процессы, разработанные для создания крученой хлопковой пряжи, обладают потенциалом для применения в синтезе широкого спектра текстильных изделий.

Созданное оборудование, предназначенное для стадий дополнительного рыхления, сортировки, распределения и транспортировки волокнистого сырья, гарантирует достижение максимальной степени регенерации волокон из текстильных отходов с одновременным повышением их качественных характеристик.

Имплементация разработанной технологии производства многокомпонентных волокнистых материалов, основанных на регенерированных волокнах, ведет к сокращению номенклатуры задействованного оборудования в технологической цепочке, оптимизации процессов обслуживания производственной линии и улучшению макроэкономических показателей предприятия.

Многокомпонентные волокнистые материалы, синтезируемые посредством применения разработанной технологической линии, обладают прикладным потенциалом для использования в различных секторах экономики.

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

курсу Новейшие достижения в разработке новых материалов Технологические машины и оборудование текстильной и легкой промышленности.

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

#### **Методология и методы диссертационного исследования.**

В теоретических исследованиях использованы методы дифференциального и интегрального исчисления, аналитической геометрии, теории обыкновенных дифференциальных уравнений, численные методы прикладной математики. Экспериментальные исследования проводились на лабораторном и действующем производственном оборудовании с использованием стандартных методик и современной измерительной аппаратуры. Обработка результатов эксперимента выполнена на ЭВМ с применением современного математического 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.

5. Технологии эксплуатации технологического оборудования по производству волокон, нитей, материалов и ИТЛП.

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

19. Разработка новых материалов, обеспечивающих высокие

эксплуатационные свойства ИТЛП.

Степень достоверности и апробация результатов. Математические модели технологических объектов разрабатывались на основе законов механики и аэродинамики. 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, изложенных 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 работы.**

Диссертационная работа изложена на 172 страницах печатного текста, состоит из введения, общей характеристики работы, 5 глав, итогов

выполненного исследования и перспектив дальнейшей разработки темы, библиографического списка из 172 наименований, содержит 14 таблиц, 33 рисунка.

# 1. АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР

## 1.1. Методы котонизации льняных отходов и оборудование для их осуществления

Рост потребности в натуральных волокнах, таких как хлопок, ограничен рядом факторов, включая агроклиматические условия и доступность сельскохозяйственных площадей. В связи с этим особое значение приобретает рациональное использование текстильных отходов, в том числе отходов переработки льна, с целью их вовлечения в производство продукции различного назначения.

Известно, что доля короткого льняного волокна, образующегося в процессе трепания, достигает значительных величин и может составлять до 75% общего объема сырья. Современные технологии позволяют перерабатывать данное сырье с получением модифицированного льняного волокна — котонина, который широко используется при производстве смесовой пряжи на оборудовании хлопчатобумажной промышленности.

Льняные волокна обладают рядом ценных эксплуатационных характеристик, включая высокую прочность, гигроскопичность и антибактериальные свойства. Кроме того, ткани на основе льна отличаются низкой электризуемостью, что делает их перспективными для производства текстильной продукции с улучшенными потребительскими свойствами.

Котонизация представляет собой процесс модификации льняных волокон, направленный на приведение их длины и линейной плотности к параметрам хлопкового волокна. Получаемый продукт — котонин — используется не только в текстильной промышленности, но и в ряде других отраслей, включая машиностроение и оборонный сектор.

В современной практике применяются различные методы котонизации, среди которых выделяют механический, химический, физико-химический и биомеханический подходы.

Известны несколько способов котонизации [13]:

- механический,
- химический,
- физико-химический,
- биомеханический.

Механическая котонизация основана на реализации процессов разрыва, продольного и поперечного расщепления волокон, а также их резки. В результате формируется волокнистый материал с заданными параметрами длины.

Схема получения котонина по механической технологии представлена на рис. 1.1 [13].



Рис. 1.1. Схема получения котонина по механической технологии

Химический способ предусматривает разрушение связующих компонентов льняного волокна (например, лигнина) с использованием химических реагентов. Перед проведением химической обработки исходное сырье подвергается предварительной очистке от костры и примесей, после чего осуществляется дальнейшая переработка с использованием чесального оборудования. Схема получения котонина по химической технологии представлена на рис. 1.2.

Физико-химическая технология сочетает химическое воздействие с термодинамическими процессами. Волокнистая масса подвергается обработке в условиях повышенного давления и температуры, после чего резкое снижение

давления приводит к внутреннему разрушению структуры волокна за счет испарения влаги.

Биомеханический метод основан на использовании ферментативных процессов, направленных на разрушение пектиновых веществ, связывающих элементарные волокна. Данный подход обеспечивает получение более равномерного по структуре материала с низким уровнем засоренности.

Дополнительно следует отметить использование ультразвуковых технологий, при которых воздействие кавитационных процессов и ударных волн способствует разрушению межволоконных связей. Такие методы позволяют интенсифицировать процесс котонизации и повысить его эффективность.



Рис. 1.2. Схема получения котонина по химической технологии

Воздействие с высокой энергией ослабляет связи между элементарными волокнами в лубяном материале. Например, запатентован способ получения котонина, когда льняное волокно содержат в специальном химическом растворе в течении 1-6 часов под воздействием ультразвука с частотой 40-60 кГц при температуре 20-80°C.

В Институте химии растворов РАН (г. Иваново) была разработана механохимическая технология котонизации, которая реализует такое сочетание механических и химических воздействий на перерабатываемый лен, что дробление лубяных пучков происходит с минимальными потерями.

Среди зарубежных разработчиков оборудования для котонизации особое место занимает компания LaRoche, выпускающая технологические линии различной конфигурации. Эти линии включают комплекс оборудования для последовательной обработки волокнистой массы: от первичного разрыхления до окончательной очистки и формирования продукта.

Линия котонизации модификации 008-0152 (рис.1.3) включает в себя распаковщик кип, ротационную резальную машину, разрыхлительную секцию, питающий бункер, головной питатель, четыре машины котонизации и гидравлический кипный пресс. В состав линии модификации 008-0249 (рис.1.4), с целью повышения эффективности очистки, между ротационной резальной машиной и головным питателем дополнительно установлены отделители твёрдых частиц и металла, а между первой и второй машинами котонизации – секция ножевого барабана и наклонный шестиваличный очиститель. В обеих линиях имеются обводные трубы, при помощи которых можно регулировать количество машин котонизации в работе, а значит и степень воздействия оборудования на волокно.

Обработка волокна начинается с резки на ротационной резальной машине. Резка используется с целью укоротить комплексные льняные волокна и тем самым исключить их наматывание на рабочие органы машин.

Ключевым элементом таких линий является машина котонизации, в которой осуществляется расщепление волокон с использованием пильчатых

барабанов. В процессе работы волокнистая масса подвергается механическому и аэродинамическому воздействию, что обеспечивает отделение элементарных волокон и удаление примесей. На рис.1.5 представлена её технологическая схема. При помощи быстроходного конденсора 1 и бункера 2 осуществляется формирование питающего слоя волокон. Затем этот слой направляющим лотком 3 и валиком 4 подаётся в зажим между питающим столиком 6 и обрезиненным питающим цилиндром 5. Своей рабочей гранью столик 6 подводит бородку волокон к быстро вращающемуся пильчатому барабану 7, который осуществляет её прочёсывание своими зубьями. В результате этого осуществляется расщепление и разрыв комплексных волокон на элементарные волокна и более мелкие комплексы. Расщеплённые волокна захватываются зубьями гарнитуры барабана и уносятся далее в зону аэросъёма. В результате происходит утонение питающей бородки. Это приводит к уменьшению сил связи между сорными примесями, кострой и волокнами, в результате чего часть сорных примесей и костры под действием центробежных сил выделяется в отходы. При движении зубьев гарнитуры через питающую бородку также происходит механическое отделение с поверхности волокон остатков частиц покровных и окружающих волокно паренхимных тканей и соединительных тканей срединных пластинок. Аэродинамическое устройство 8 осуществляет съём волокон с поверхности пильчатого барабана.

Для оттяжки пильчатого барабана используется два типа гарнитур: первые две по ходу технологического процесса машины оснащены очищающей гарнитурой, а последние две – котонизирующей.

Следует отметить, что аэродинамическое съёмное устройство питается воздухом из угарной камеры, что оказывает отрицательное влияние на выделение в отходы сорных примесей, костры и пыли.

В составе линии модификации 008-0249 применяется шести валичный наклонный очиститель и секция ножевого барабана. Это оборудование

используется для дополнительного разрыхления и очистки волокна от его сорных примесей.

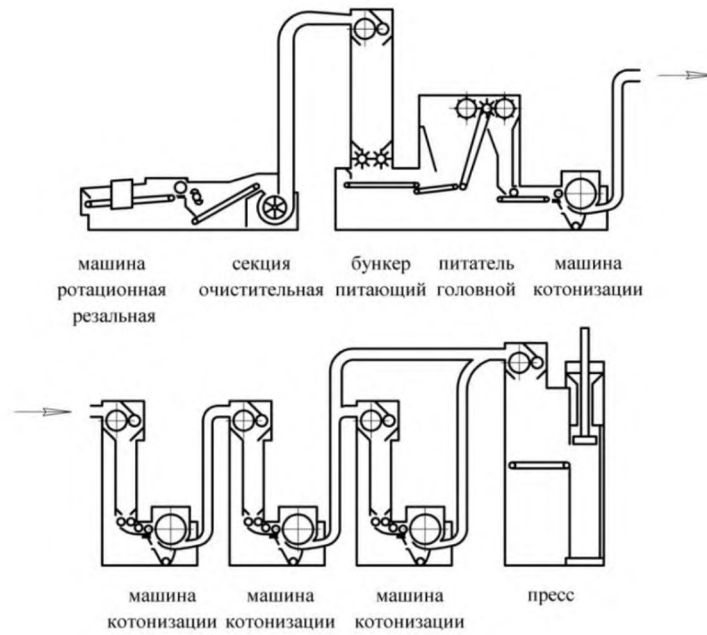


Рис. 1.3. Линия котонизации 008-0152 фирмы LAROCHE

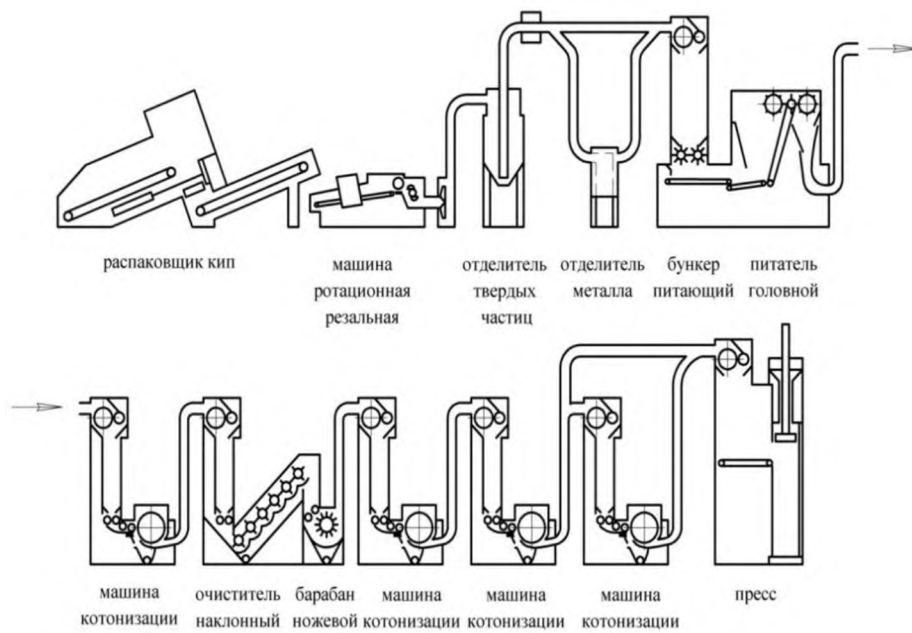


Рис. 1.4. Линия котонизации 008-0249 фирмы LAROCHE

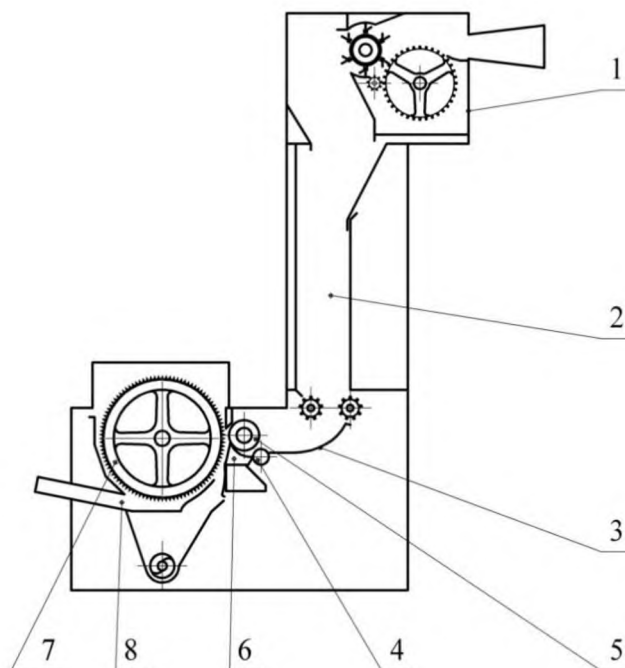


Рис. 1.5. Технологическая схема машины котонизации фирмы LAROCHE

Для количественной оценки эффективности процесса используется показатель степени котонизации (Degree of Cottonisation), отражающий соотношение элементарных волокон и волоконных комплексов в материале. Практическое определение данного показателя может осуществляться с применением современных измерительных систем, включая лазерное сканирование.

Этот показатель определяется по следующей формуле:

$$DC = \frac{N_1}{\sum_{i=1}^n iN_i}$$

где  $i$  – количество элементарных волокон в пучке,

$N_i$  – количество пучков, которые состоят из  $i$  волокон.

На практике ограничиваются величиной  $n = 5$ . Поэтому формула преобразуется к виду:

$$DC = \frac{N1}{N1 + 2 N2 + 3 N3 + 4 N4 + 5 N5'}$$

Анализ распределения волокон по диаметру показывает наличие значительного разброса параметров, что может негативно сказываться на стабильности процессов прядения. Особенно критичным является наличие толстых и жестких волокон, ухудшающих технологические свойства полуфабриката.

Таким образом, существующие методы котонизации требуют дальнейшего совершенствования, направленного на повышение однородности волокнистой массы и снижение содержания нежелательных фракций.

В отчается, что величина DC может варьироваться в пределах от 0,23 до 0,75. В приводится пример распределения котонизированных волокон по диаметру, показанный на рис.1.6.

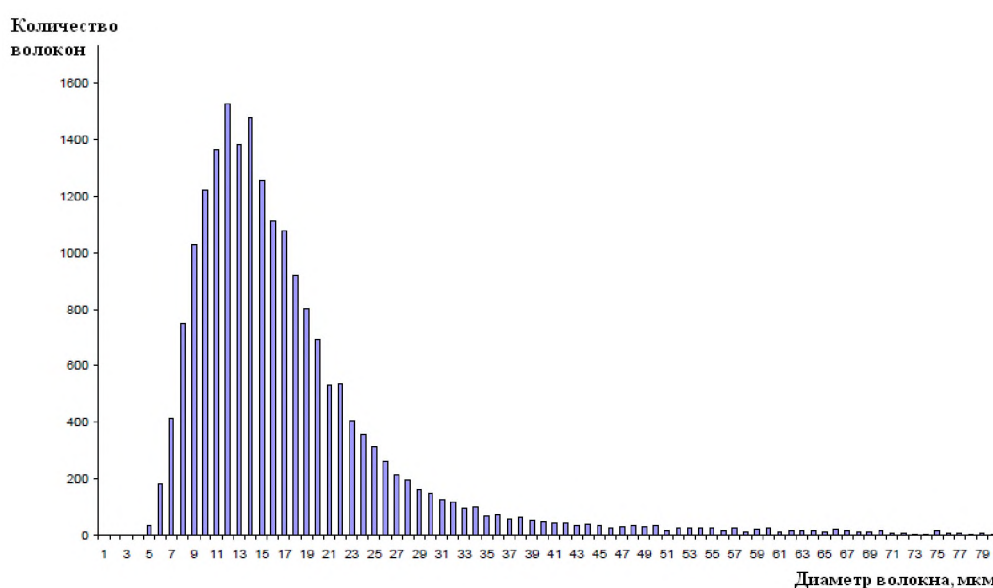


Рис.1.6. Распределение котонизированных волокон по диаметру

Как следует из диаграммы, представленной на рис. 1.6, наибольшее количество волокон находится в интервале изменения толщины до 20 мкм. Однако немалое количество волокон имеет диаметр, значительно превышающий, например, 50 мкм. Присутствие в котонине таких больших в

диаметре волокон является причиной нарушений стабильности процесса пневмомеханического прядения.

В хлопке содержится 90% целлюлозы, а во льне - 76%. Лен содержит лигнина до 11%, превосходя хлопок по этому показателю в 22 раза. Поэтому освобождение волокон льна от древесной составляющей продолжается практически на всех этапах обработки льна и доведения его до питающих устройств прядильных машин. Волокнистый льняной продукт, полученный в результате котонизации, представляет собой засоренную кострой смесь волокон разной линейной плотности. Волокна в этой смеси можно разделить на 2 группы. В первую входят мягкие котониновые волокна, имеющие линейную плотность, сходную со средней плотностью хлопковых волокон. Во вторую - жесткие котониновые волокна с линейной плотностью, превышающей линейную плотность волокон в первой группе. Для стабильного протекания технологического процесса получения пневмомеханической пряжи необходимо минимизировать содержание жестких волокон в полуфабрикате. Известно, что с этой целью разработаны устройства различного типа.

Существует чесальное устройство для обработки льняного волокна, содержащее расчесывающие барабаны, установленные последовательно с увеличением частоты вращения и плотности гарнитур барабанов. Под первыми двумя барабанами размещены дополнительно рабочие органы, осуществляющие расчесывающее и очищающее воздействие. С целью экономии сырья, выделяющиеся под этими барабанами толстые нерасчесанные и жесткие одревесневшие волокна воздушным потоком, создаваемым конденсором, вновь подаются в питающий слой для повторной обработки. Однако, данное устройство не может осуществлять рассортировку волокон на фракции по степени их жесткости с целью повышения равномерности волокон по жесткости внутри каждой фракции и производства котонина с разными заданными прядомыми свойствами.

Известен способ обработки льняного волокна и устройство его реализации. Устройство обработки льняного волокна представлено на рис. 1.7. Оно содержит питающий валик 1, два расчесывающих барабана 2 и 3, аэродинамическое средство съема 4. За питающим столиком над первым по ходу движения волокна расчесывающим органом установлено дополнительное съемное аэродинамическое средство 5, которое образовано сообщающимися конфузорами, при этом отношение плотности зубьев гарнитуры первого расчесывающего органа к плотности зубьев гарнитуры второго расчесывающего органа выполнено в виде  $1:0,4...1$ . Способ обработки льняного волокна включает подачу волокна к группе расчесывающих органов, разволокнение, после которого осуществляют разделение волокна на фракции, очистку от костры, сорных примесей и нерасчесанных волокон, аэродинамический съем. В зоне подачи волокна осуществляется дополнительный аэродинамический съем волокна воздушным потоком, который направлен по касательной к расчесывающему органу в сторону его вращения для осуществления раздельного съема волокна. Недостатком описанной полезной модели является низкий выход волокон мягкой фракции.

Процесс разрыхления котонизированных волокон в устройстве, по существу, является процессом перераспределения волокон между узлами аэросъема. Поскольку исходный поток котонизированных волокон в устройстве разделяется на два потока с разным содержанием мягких волокон, то за счет увеличения количества барабанов в устройстве можно увеличить количество зон волоконперехода и тем самым интенсифицировать процесс перераспределения мягких волокон.

## 1.2. Технологический процесс получения пряжи из хлопкольнаной смеси

Производство пряжи из смесей хлопка и котонина может осуществляться как на кольцевых, так и на пневмомеханических прядильных

машинах. При этом выбор технологии определяется требованиями к качеству готовой продукции и особенностями перерабатываемого сырья.

Кольцевой способ прядения обеспечивает получение пряжи с выраженными свойствами льняного волокна, однако наличие жестких и малогибких волокон приводит к увеличению ворсистости и ухудшению эксплуатационных характеристик. В связи с этим более предпочтительным является пневмомеханический способ прядения, при котором обеспечивается частичное удаление грубых волокон и снижение ворсистости пряжи. Однако данный процесс характеризуется высокой чувствительностью к технологическим параметрам.

При выработке пряжи на пневмомеханических прядильных машинах необходимо учитывать, что дискретизация связана с рядом факторов: сырьевых, технологических, производственных. Неудовлетворительное состояние деталей, притуплённые или повреждённые зубья не обеспечивают стабильной работы дискретизирующего устройства. Сырьё также оказывает большое влияние на дискретизацию продукта. При переработке смесей с вложением котонизированного льна необходимо учитывать разную структуру волокон хлопка и льна, а также неравномерность волокон котонина по длине и толщине. Эти факторы тесно связаны с технологическими, т. е. с состоянием машины и её наладкой.

Важное значение имеет правильный выбор гарнитуры расчёсывающего валика и частоты его вращения с учётом перерабатываемого сырья, длины и тонины волокон, а также их структуры. К технологическим факторам относится также оптимальное положение питающего столика. В зависимости от длины перерабатываемых волокон изменяется, и разводка между питающим столиком и расчёсывающим валиком. Эффективность дискретизации волокнистого материала определяется совокупностью факторов, включая свойства сырья, состояние оборудования и параметры технологического режима. Существенное влияние оказывает выбор

гарнитуры рабочих органов, частота их вращения, а также условия подачи волокнистой массы..

Поэтому, для выработки качественной хлопкольняной пряжи необходимо определить оптимальные значения технологических факторов.

При получении пряжи пневмомеханическим способом прядения особенно важное значение придается влажности перерабатываемого материала. Влажность волокнистой массы является комплексным технологическим параметром. Она оказывает влияние на прочность и удлинение волокна, на усилия, необходимые при вытягивании, на жесткость волокна, его электризуемость и фрикционные свойства. Всё это, в конечном итоге, отражается на качестве получаемой пряжи и стабильности технологического процесса. При пневмопрядении это обусловлено интенсивными воздушными потоками, способствующими испарению молекул воды и, как следствие, росту модулей продольной и поперечной упругости, ухудшающими процесс формирования пряжи.

Изучению влияния влажности волокнистого материала в процессе пневмопрядения посвящены работы [26 – 29].

В работе [29] изучено влияние влажности волокон хлопка на изменение его физико - механических свойств, таких как прочность, жесткость, электризуемость, трение, которые играют важную роль во всех процессах переработки волокна, и особенно, в процессе формирования пряжи пневмомеханического способа прядения.

У льняного волокна от влажности зависят многие физические свойства, например, упругость, прочность, гибкость, а также электрические и многие другие. При изменении влажности свойства льняных волокон настолько сильно изменяются, что её нельзя не учитывать при переработке волокна в пряжу [30-36].

Как показано в работе, увеличение прочности волокон льна происходит за счёт проникания воды в аморфные участки волокна. Действие воды аналогично влиянию смазывающего вещества. Под действием воды

внутренние напряжения в кристаллических участках молекул ослабляются. Благодаря более равномерному распределению напряжений в волокне прочность его увеличивается. Значение разрывного удлинения с увеличением относительной влажности увеличивается. Измеренное по значениям модуля упругости сопротивление к растяжению значительно уменьшается по мере поглощения влаги, так как при этом ослабляются межмолекулярные связи молекул в аморфных участках. Жёсткость волокон при поглощении влаги резко снижается.

Исследования показывают, что оптимальный диапазон влажности для переработки льняного волокна составляет порядка 8–12%, при котором достигаются наилучшие показатели прочности и минимальная обрывность пряжи.

При переработке хлопкольняных смесей возникают дополнительные сложности, связанные с наличием жестких волокон и сорных примесей, которые могут накапливаться в рабочих зонах оборудования и нарушать процесс формирования пряжи.

Существующие конструкции прядильных машин не всегда обеспечивают эффективное удаление таких включений, что требует совершенствования как конструктивных элементов оборудования, так и технологических режимов его работы.

Одним из ключевых факторов является влажность волокнистого материала. Она влияет на механические свойства волокон, их гибкость, прочность, электризуемость и трение, что в конечном итоге определяет стабильность технологического процесса.

Как видно из проведённого анализа работ, от физико-механических свойств волокна, от его влагосодержания зависят не только прядильная способность, но и физические, механические и структурные свойства готовой пряжи. Поэтому при совместной переработке льняного котонизированного волокна и хлопка по кардной системе прядения необходимо определить

оптимальную влажность ленты, используемой в качестве полуфабриката при пневмопрядении для получения качественной пряжи.

Опыт промышленного использования котонина в смеси с хлопком и химическими волокнами в России уже имеется [40 - 43]. Как показывают исследования, переработка хлопкольняных смесей сопровождается существенным повышением обрывности пряжи. Наличие в ленте жестких волокнистых комплексов, частиц костры и пыли вызывает их скопление в роторе, что нарушает процесс формирования пряжи. Поэтому следует стремиться к снижению структурной неравномерности и засорённости перерабатываемой ленты, а также использованию пневмомеханических машин со специальными сороочистительными устройствами. Существующий парк пневмомеханических прядильных машин не предназначен для их переработки, так как толстые, жёсткие волокна, попадая в каналы устройства сороочистки, очень плохо удаляются из него. Это приводит к нарушению аэродинамики машины, в результате чего толстые жёсткие волокна начинают поступать в прядильный ротор, а это приводит к обрыву пряжи. Совместно с технологическими институтами и предприятиями текстильной промышленности исследуются условия переработки смесей льна с хлопком и химическими волокнами. С этой целью изменена конструкция узла сороочистки прядильного блока ППМ-120-А1М, аэродинамические режимы его работы. Заводом Пензтекмаш проведена работа по модернизации машины ППМ-120-А1М и улучшению качества её изготовления. Однако, производственные испытания на Реутовской фабрике показали, что забивание каналов сороочистки выделенными жёсткими волокнами продолжает иметь место.

Поэтому, для достижения стабильной работы пневмомеханической прядильной машины необходимо исследовать условия выделения жёстких волокон с тем, чтобы разработать ряд мер, позволяющих исключить засорение каналов сороочистки.

### 1.3. Инерционно-аэродинамическая рассортировка волокон и сорных примесей

Принцип инерционно-аэродинамической сепарации волокнистых материалов и сорных компонентов является апробированным методом, на протяжении длительного времени применяемым в процессах разделения остевых волос и пуховых фракций при переработке кашмирской шерсти. Согласно источнику [44], технологический цикл предполагает подачу предварительно промытого сырья на чесальное оборудование, где после стадии разрыхления волокнистая масса подвергается воздействию воздушного потока в аэродинамическом канале с заданными геометрическими параметрами (длиной и высотой).

Механизм элементарного разделения фракций в данном случае базируется на дифференциации траекторий движения: грубая ость, обладающая большей массой, оседает на минимальном расстоянии от источника подачи, в то время как тонкие и легкие пуховые волокна транспортируются воздушным потоком на более значительную дистанцию. Несмотря на фундаментальную значимость, указанный способ характеризуется рядом существенных недостатков, включая низкую удельную производительность и недостаточную чистоту сепарации пуха, что обусловило необходимость последовательной механизации процесса.

В основе функционирования современного модернизированного оборудования, реализующего инерционно-аэродинамическую рассортировку, лежит использование различий в физико-механических свойствах компонентов. Мягкие, гибкие и обладающие высокой извитостью волокна пуха последовательно перемещаются в направлении технологического потока. В то же время жесткие волокна ости, характеризующиеся прямолинейной структурой и иными массово-геометрическими показателями, отсеиваются в подмашинное пространство. Таким образом, за счет весовой стагнации и

морфологических различий между типами волокон возникает градиент скоростей их перехода между рабочими органами (валами) машины, что и обеспечивает эффективное фракционирование смеси. Инерционно-аэродинамическая рассортировка волокон и сорных примесей также применяется в технологическом процессе рассортировки регенерированных волокон для получения однородных элементарных волокон по соответствующим группам. Этот метод достаточно упрощенный и заключается в том, что с последнего разволокняющего рабочего органа в виде вращающегося барабана в поточной линии волокно под действием центробежной силы отделяется от рабочего барабана и вместе с воздушным потоком поступает в плоское сопло, поднятое над горизонтальной плоскостью на определенную высоту, над которой распространяется струя воздушно-волоконистой смеси [44...48]. Общая плоскость была разделена на отдельные секции, на каждом отделителе установлено аэродинамическое сопло с поступающим воздухом, способствующим вместе с механическим воздействием поворотных отделителей концентрации волокна по определенным свойствам в отдельные секции: неразработанные комплексы из волокон, короткие и поврежденные волокна, прядомые волокна.

Волокна, распределенные по соответствующим секциям, характеризуются вариативностью массовых показателей. Установлено, что, несмотря на исходную неоднородность физико-механических свойств в общей массе, волокнистый материал после процесса рассортировки в каждой из секций демонстрирует достаточную стабильность по длине [44–48].

Ряд технологических этапов подготовки волокон, в частности в прядильном производстве, неразрывно связан с перемещением волокнистой массы в турбулентных воздушных потоках, возникающих в непосредственной близости от поверхностей вращающихся барабанов, оснащенных игольчатой или пильчатой гарнитурой. Специфика динамики волокнистого субстрата в данных аэродинамических условиях создает предпосылки для эффективной сепарации материала, обеспечивая выделение сорных примесей, частиц

семенной оболочки (кожицы) с остатками волокон и иных нежелательных компонентов [48, 49].

В научно-исследовательских работах [48, 49] детально проанализированы детерминанты, способствующие инерционно-аэродинамическому фракционированию волокон на примере сепарации дискретных частиц в воздушной среде вблизи вращающихся рабочих органов. Автором выдвинута гипотеза, согласно которой условное тело (в качестве которого могут выступать сорные примеси, фрагменты кожицы, непсы, агрегаты волокон или одиночные волокна) совершает вращательное движение в зоне действия дискретизирующего барабанчика в момент его отделения от гарнитуры. Ключевыми факторами, определяющими динамику тела, являются центробежная сила инерции и аэродинамическая сила. Указывается, что аэродинамическое воздействие обусловлено увлечением тела воздушным потоком, сопутствующим вращению барабанчика, который стремится переместить объект по касательной к его окружности. Возникающая при этом центробежная составляющая ориентирована по нормали к мгновенной траектории движения объекта. Результирующим вектором действия указанных сил является перемещение тела по определенной криволинейной траектории.

При теоретическом анализе кинематики волокон, сорных фракций и компонентов волокнистой пыли в качестве базового параметра часто применяется скорость витания — величина, определяемая условиями равномерного осаждения тела в неподвижной воздушной среде. Автором выявлено, что корреляция между основными действующими силами прямо пропорциональна квадрату скорости витания. Следовательно, пространственная траектория перемещения материального объекта в потоке формируется как функциональная зависимость от его скорости витания.

Основу реализации способа инерционно-аэродинамической рассортировки регенерированных волокон составляет следующее положение:

траектории тел зависят от скорости их витания и не зависят от скорости вращения рабочего барабана.

Используя разницу скоростей витания и, соответственно, траекторий полета тел, можно производить инерционно-аэродинамическую рассортировку волокнистого материала [44-49].

#### 1.4. Выводы по главе

1. Льняной котонин характеризуется значительной дисперсией качественных показателей. Морфологический состав данного сырья представлен как элементарными волокнами, так и волокнистыми комплексами различной линейной плотности. Последние отличаются структурной нестабильностью и претерпевают существенные трансформации в ходе технологической переработки. Наибольшую сложность представляют этапы формирования пряжи на пневмомеханических и кольцепрядильных машинах, где конструктивные особенности и параметры заправки оборудования оказывают детерминирующее влияние на изменение штапельной длины и тонины волокон.

2. На основании изучения специальной литературы можно констатировать, что технология выработки хлопкольнай пряжи на пневмомеханическом прядильном оборудовании отличается недостаточной стабильностью и сопровождается повышенным уровнем обрывности.

3. Результаты анализа профильных публикаций и технических решений, представленных на международной выставке ИНЛЕГМАШ – 2024, свидетельствуют о наличии производственной базы для изготовления хлопкольнай пряжи кольцевым и пневмомеханическим способами. Вместе с тем эксплуатация данного оборудования требует интенсификации процессов предварительной подготовки котонина перед его смешиванием с хлопковым компонентом.

4. Обобщение производственного опыта отечественных предприятий, специализирующихся на выпуске одиночной хлопкольнай пряжи, подтверждает деструктивное влияние гетерогенного состава котонина (сочетания элементарных волокон и комплексов) на стабильность технологического цикла прядения на машинах различных систем.

5. Резюмируя вышеизложенное, следует подчеркнуть актуальность разработки инновационной технологии получения дискретных льняных волокон. Данная задача требует проектирования специализированного оборудования, обеспечивающего максимальную степень выделения одиночных волокон из общей массы катонина.

## **2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАЗРАБОТАННОЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЛИНИИ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ОДИНОЧНЫХ ВОЛОКОН ИЗ КОТОНИНА**

### **2.1. Совершенствование технологий получения котонина и котонинсодержащей текстильной продукции**

В современных условиях для Российской Федерации приобретает особую значимость кардинальная трансформация подходов к организации льноводческой отрасли, ориентированная на существенное увеличение объемов выпуска продукции и повышение качественных характеристик льняного сырья. На территории страны имеются все необходимые ресурсные и институциональные предпосылки для формирования льноводства как высокорентабельного сектора агропромышленного комплекса. К числу таких предпосылок относятся: благоприятные агроклиматические условия, наличие значительных посевных площадей, пригодных для культивирования льна-долгунца, а также деятельность профильных научно-исследовательских учреждений, специализирующихся на селекции высокопродуктивных сортов и гибридов, обладающих устойчивостью к полеганию и комплексу заболеваний. Кроме того, в стране функционирует ряд предприятий, осуществляющих разработку и производство специализированного технологического оборудования для глубокой переработки льноволокна.

Следует констатировать, что ранее реализованные инициативы, включавшие разработку программ развития отрасли, формирование консорциумов, ассоциаций и объединений по переработке льна, не продемонстрировали ожидаемой эффективности. Для обеспечения соответствия динамично меняющимся требованиям текстильной индустрии необходимо активизировать государственную поддержку фундаментальных и прикладных исследований в области льноводства. Особое внимание следует уделить изучению проблем производства котонина (модифицированного

льняного волокна), технологий его прядения, ткачества и заключительной отделки. Также требуется стимулирование деятельности предприятий, внедряющих инновационные технологические процессы для выпуска тканей с содержанием котонина, а также теплозащитных нетканых и композиционных материалов строительного назначения, текстильных обоев и иной продукции, способствующей расширению ассортимента товаров, ориентированных на импортозамещение.

В настоящее время технологический уровень развития отрасли позволяет перейти к практической реализации принципов безотходного производства при переработке льна. Разработаны и внедрены технологии, а также создано оборудование, обеспечивающее комплексную переработку не только длинного льноволокна, но и коротких волокон (вытряски), костры и пакли.

Необходимо признать, что лен на сегодняшний день является практически монопольным источником натурального растительного волокна в отечественной экономике. Продукция на основе льняных волокон — ткани, трикотаж и нетканые полотна — находит широкое применение в швейной промышленности, производстве изделий медицинского и бытового назначения, обувной индустрии и строительной сфере. Использование льняных материалов способствует оптимизации микроклимата в помещениях, снижению уровня акустического шума и уменьшению распространенности аллергических реакций среди населения. К ключевым потребительским свойствам изделий из льна относятся высокая стойкость к истиранию, прочность, теплопроводность, воздухо- и паропроницаемость.

Вместе с тем традиционные технологические схемы текстильного производства, основанные на применении преимущественно длинного волокна, характеризуются высокой ресурсоемкостью, значительной энергоемкостью и длительностью производственного цикла. Такие процессы реализуются на базе специализированных комбинатов. При этом доля длинных волокон в общей структуре волокнистой массы составляет лишь 25–

35 %, в то время как 65–75 % приходится на долю коротких волокон (отходов). В связи с этим стратегически важной задачей становится разработка и внедрение методов, обеспечивающих максимально полное вовлечение коротких волокон в производственный цикл для изготовления смесовой пряжи. В хлопчатобумажной промышленности при изготовлении пряжи средней и большой линейной плотности используют катонин, т.е. короткие льняные волокна, приближенные по длине и линейной плотности к хлопку.

Данная деятельность осуществляется с целью обеспечения максимально полного и рационального вовлечения в хозяйственный оборот коротких льняных волокон и сопутствующих отходов, сокращения зависимости текстильной промышленности от импортного хлопка, а также диверсификации ассортимента выпускаемой текстильной продукции.

Исторический опыт получения катонина в России для нужд текстильной промышленности насчитывает свыше восьми десятилетий. Тем не менее, после распада СССР данная технология сохранилась и получила дальнейшее развитие исключительно на территории Республики Беларусь, где, в частности, на Оршанском льнокомбинате налажено промышленное производство доступного по стоимости катонина, значительная часть которого направляется на экспорт. В Российской Федерации разработаны и апробированы технологии механической, механохимической, ультразвуковой и ферментативной катонизации. Однако внедрение данных инноваций сдерживается рядом факторов, среди которых высокое содержание лигнина в структуре льняного волокна, сохраняющаяся ценовая конкурентоспособность хлопка, дефицит финансирования научных исследований и недостаточные объёмы посевных площадей льна.

Необходимо подчеркнуть, что отечественная промышленность обладает значительным историческим опытом в области переработки льняных волокон и утилизации отходов. Основоположником отечественной школы механической и биологической катонизации по праву считается инженер В. М. Шевелин. Параллельно с работами на фабрике Красный Перекоп

исследования по химической котонизации проводились в лабораториях МВТУ, а также на предприятиях в Орехове-Зуеве и Ржеве. В период 1925–1926 гг. Палехская фабрика приступила к выпуску химического котонина, а к 1929 году была сформирована самостоятельная котонинная отрасль. За первые восемь лет своего существования данная промышленность произвела 111,1 тыс. тонн продукции. Технологические линии фабрик того времени насчитывали от 8 до 14 переходов и обеспечивали выпуск грубого котонина с уровнем заостренности в диапазоне 5–12%.

Следует особо отметить, что для решения научно-технических задач производства и переработки котонина в 20–30-е годы XX века в России был мобилизован значительный научный потенциал. В Иваново-Вознесенском политехническом институте под руководством профессоров С. Г. Шиманского и П. П. Будникова котонизация впервые получила строгую научную основу. Фундаментальными исследованиями в данной области занимались выдающиеся учёные: профессора А. Г. Архангельский, И. В. Крагельский, В. Г. Шапошников, Л. Е. Эфрос, И. И. Рябов, А. Д. Монахов, М. М. Чиликин. Существенный вклад в развитие отрасли внесли: льняная станция Тимирязевской сельскохозяйственной академии, станция лубяных волокон МТИ, Сектор лубяных волокон НИТИ, Новлублинститут, Котонинная лаборатория МВТУ, Институт им. проф. Костычева в Ленинграде, Химический институт им. Карпова, Закшелинститут, Институт промкооперации.

К началу 1930-х годов в СССР была создана сеть из шести котонинных фабрик (в Москве, Московской области, Иваново, Чернигове, Саранске). В период с 1929 по 1936 годы котонин вырабатывался преимущественно методом щелочной варки с последующей механической доработкой. Из 230 000 тонн коротких льняных волокон было произведено более 110 650 тонн котонина, который успешно применялся в качестве более дешёвой альтернативы хлопку и шерсти. Реконструкция фабрик, начатая в 1933 году, позволила оптимизировать технологический процесс, сократив количество

переходов до пяти и снизив заостренность котонина для нужд хлопчатобумажной промышленности до 2–3%. Практика показала, что выход прядомого волокна из смесовых композиций не превышал 50–55%, при этом увеличение номера волокна сопровождалось ростом доли коротких фракций (до 15 мм) и пуха.

Второй виток развития научных исследований по получению котонина и использование его в текстильной промышленности относится к послевоенным годам 1948-1955. Однако, наличие дешёвого хлопка, ввозимого из Южных республик СССР, явилось причиной сворачивания научных исследований и внедрений в производство на длительное время. В середине 80-х годов вновь активизировались работы по совершенствованию технологий котонизации и использованию котонина в текстильной промышленности [61-64]. Это было связано с тем, что наблюдалась нехватка собственного сырья (льна и шерсти) для обеспечения функционирования текстильного производства в Российской Федерации. Второй не менее значимой причиной стало то, что в прядении использовались только длинные льняные волокна, которые составляют всего 25-35 % от общего объема волокнистой массы, а остальные 65-75 % составляют короткие волокна (отходы), которые были использованы для получения нетканых материалов технического назначения. В связи с этим возникла необходимость вернуться к решению проблемы котонизации и использованию котонина в смеси с натуральными и химическими волокнами для получения текстильной продукции: пряжи, ткани, трикотажа и т.д.

Результатом активной научно-исследовательской работы различных школ, таких как Киевский национальный университет технологии и дизайна, СПУТиД, ИХР РАН, НИЭКМИ, ИГХТУ, КГТУ, ЦНИИЛКА (г.Москва), ВНИИЛЛ стали технологии механического разволокнения и штапелирования льноволокна, механо-химические технологии и ферментативно- механические технологии котонизации для получения не только прядомого волокна, но и льняной ваты [65-104]. Несколько позже, в начале 21 века работами МГТУ им.

Косыгина, ИХР РАН, КГТУ, Серпуховского НИИНМ котонин был предложен для выработки современных нетканых материалов различного назначения, получены патенты на технологии формирования нетканых материалов на основе котонина льна и химических волокон и композиционных материалов [67, 72].

Значительный вклад в решение вопросов совершенствования технологий котонизации внесли российские ученые Л.Н. Гинзбург, В.В. Живетин, А.П. Морыганов, И.Ю. Ларин, Е.П. Лаврентьева, Е.Л. Пашин, С.Н. Разин, Р.В. Корабельников, Н.Н. Труевцев, М.В. Киселев А.В. Чешкова, В.В. Дорофеев, А.Г. Кобылянский, В.Н. Захаров. Из зарубежных ученых следует отметить Т. Херника и Р. Козловски (Польша), М. Галама и Ф. Лоффа (Германия) и др. Совершенствуются механические технологии разволокнения льна. Так, например, в КГТУ разработана линия котонизации, которая включает очиститель-котонизатор. Волокно, получаемое на этой линии, имеет достаточно высокий выход волокон (около 65%), засоренность на уровне 2 %. Недостатком является высокая линейная плотность – более 2,6 текс.

В настоящее время существует большое количество теоретических и экспериментальных исследований, посвященных исследованиям процесса разрушения волокнистых комплексов, процесса очистки льняного волокна от сорных примесей, процесса отделения древесины от технических волокон с целью получения котонина. Механическая технология разволокнения комплексного льноволокна на технологической линии основана на поэтапном воздействии рабочих органов машин. Рабочие элементы барабанов: колки, зубья, ножи, иглы, а также пильчатые барабаны воздействуют на волокнистую массу, разделяя и растаскивая ее с выделением элементарных волокон и комплексов волокон. Такие технологии позволяют получить котонин линейной плотности от 0,6 до 1 текс, средней длины от 40 до. В данном случае заостренность продуктов не превышает от 0,2-2 % и засоренность котонизированного льняного волокна в процессе его переработки снижается почти в 200 раз, линейная плотность может уменьшиться в 3 – 5 раз [55-70].

Технологии механо-химической котонизации обладают большой эффективностью. Они обеспечивают получение котонина (модилена) средней массодлины 31- и линейной плотности 0,7-1,0 текс. Однако они внедрены только в ватном производстве (г. Омск). Одними из недостатков этого способа является высокий расход технологической воды, необходимой для промывки, и образование сильно загрязненных стоков [73,74].

Разработаны технологии УЗ воздействия или комбинированного воздействия, например с применением гидродинамической обработки в непрерывном режиме и импульсном режиме путем ударно-волнового воздействия. Рекомендуются также технологии, где между рыхлением и помещением материала в водную среду проводится обработка СВЧ-излучением в диапазоне частот от 3 до 30 ГГц. Несмотря на широкие возможности по применению таких технологий и их эффективность, проблема энерго- и ресурсосбережения и главное экологизации не решается полностью [75,76]. Причем УЗ и СВЧ воздействия требуют создания специализированных установок, защиты работников от воздействий, и являются неселективным.

Несмотря на интерес к известным технологиям котонизации, они устарели в связи с ужесточением требований к экологизации производства. Поэтому особый интерес представляют решения, позволяющие организовать производство по принципу экономической целесообразности и экологичности. Одним из простых технологических решений может стать биохимическая котонизация по маломодульной технологии ферментного разволокнения короткого льняного волокна, разработанная в ИГХТУ на кафедре ХТВМ. Еще в конце 90 годов XX века работами кафедры ХТВМ ИГХТУ совместно с НИЭКМИ в условиях отделочного производства было показано, что ферментативная котонизация характеризуется нарушением целостности структуры межклеточного вещества и клеточных стенок, основу которых составляет комплекс целлюлозы, гемицеллюлоз и пектиновых веществ. Практическими испытаниями жидкостной технологии котонизации, проводимой периодическим способом на аппаратах АКД, доказана

возможность получения прядомого котонина. Маломодульная ферментная технология котонизации может стать претендентом на практическое внедрения. В основу ее положена идея сохранения ценного лигнинного компонента льна и, как следствие, природной окраски волокна. Новый подход базируется на использовании маломодульных процессов (плюсовочно-накатных), ориентированных на экологизацию процесса, энерго- и ресурсосбережение за счет применения низкотемпературных ферментов и исключения промывки, что выгодно отличает его от химических технологий котонизации.

Сегодня ввиду увеличения потребности в натуральных отечественных волокнах и с решением задач импортозамещения усиливается значение более полного и рационального использования льняного короткого волокна и отходов, снижения потребления хлопка текстильными предприятиями, расширения ассортимента текстильной продукции. Эта проблема стала наиболее серьезной в связи с существенным сокращением посевов льна, сокращением производств первичной переработки льна на фоне снижения импорта и производства натуральных волокон.

В настоящее время автоматизированные линии по производству модифицированного льноволокна функционируют в Тюменской (ООО Знаменский лен), Омской (ООО ЛенОм), Ярославской и Смоленской областях, Алтайском крае. Также действуют заводы по механической котонизации льна, которые представлены предприятиями ООО Мануфактура имени Балина (г. Южа, мощностью производства 4,9 тыс. тонн в год), ООО Кашинский льнокомбинат (г. Тверь с проектной мощностью производства 10 тыс. тонн волокна), ООО Русский Лен (г. Смоленск с плановой мощностью 3500 тыс. тонн в год). ООО Шарканский льнозавод (завод в Удмуртии) имеет производственную мощность до 720 тонн в год и 50 тыс. тонн в одну смену. Так, например, в Тверской области создан комплекс по выращиванию, переработке, изготовлению и продаже изделий из льна, в котором при содействии Тверской торгово-промышленной палаты был создан кластер

"Лен". Первичной переработкой сырья изо льна занимаются 42 льнозавода, способных переработать при двухсменном режиме работы до 100 тыс. тонн льняного сырья. На ряде льнозаводов Тверской области действуют, а на других завершается строительство цехов по производству котонизированного волокна (стадия готовности - 60–80%). Годовая мощность цехов – 3 тыс. тонн котонизированного волокна, например фирма "ПФ ЛОТТ".

Несмотря на значительный интерес к традиционным методам котонизации, данные технологии утратили свою актуальность в условиях ужесточения современных экологических стандартов производства. В связи с этим особую значимость приобретают инновационные решения, сочетающие экономическую эффективность с принципами экологичности. Одним из перспективных направлений является биохимическая котонизация, реализуемая по маломодульной технологии ферментного разволокнения короткого льняного волокна. Данная методика была разработана на кафедре химической технологии и переработки пластмасс ИГХТУ. Еще в конце 90-х годов XX века совместными усилиями кафедры ХТВМ ИГХТУ и НИЭКМИ в рамках отделочного производства было установлено, что ферментативная обработка приводит к деструкции межклеточного вещества и клеточных стенок, структурную основу которых составляют целлюлоза, гемицеллюлозы и пектиновые соединения. Экспериментальные исследования жидкостной технологии котонизации, осуществляемой периодическим методом в аппаратах типа АКД, подтвердили техническую возможность получения прядогомого котонина.

Маломодульная ферментная технология котонизации рассматривается как один из наиболее вероятных кандидатов для практического внедрения. Ключевой особенностью данного подхода является сохранение ценного лигнинного компонента льна, что обеспечивает сохранение природной окраски волокна. Основу новой концепции составляют маломодульные процессы (плюсовочно-накатные), направленные на экологизацию производства, а также на снижение энерго- и ресурсозатрат за счет

использования низкотемпературных ферментов и исключения стадии промывки. Это является существенным преимуществом по сравнению с традиционными химическими методами котонизации.

В настоящее время, в контексте возрастающей потребности в натуральных отечественных волокнах и реализации политики импортозамещения, возрастает актуальность более полного и рационального использования коротких льняных волокон и отходов, сокращения потребления хлопка предприятиями текстильной отрасли, а также расширения номенклатуры выпускаемой продукции. Данная проблема приобрела особую остроту вследствие значительного сокращения посевных площадей льна и объемов первичной переработки сырья на фоне общего снижения импорта и внутреннего производства натуральных волокон.

На сегодняшний день автоматизированные линии по производству модифицированного льноволокна успешно функционируют в Тюменской (ООО Знаменский лен), Омской (ООО ЛенОм), Ярославской и Смоленской областях, а также в Алтайском крае. В промышленном секторе представлены заводы по механической котонизации льна, среди которых выделяются ООО Мануфактура имени Балина (г. Южа, годовая мощность 4,9 тыс. тонн), ООО Кашинский льнокомбинат (г. Тверь, проектная мощность 10 тыс. тонн волокна), ООО Русский Лен (г. Смоленск, плановая мощность 3,5 тыс. тонн) и ООО Шарканский льнозавод (Удмуртия, мощность до 720 тонн в год при работе в одну смену). Так, в Тверской области сформирован комплекс полного цикла, включающий выращивание, переработку и реализацию льняной продукции. При поддержке Тверской торгово-промышленной палаты здесь создан кластер Лен. Первичной переработкой сырья занимаются 42 льнозавода, совокупная мощность которых при двухсменном режиме достигает 100 тыс. тонн сырья. На ряде предприятий региона уже действуют или находятся на завершающей стадии строительства (готовность 60–80%) цеха по производству котонизированного волокна годовой мощностью 3 тыс. тонн (например, фирма ПФ ЛОТТ).

В целом в центральном регионе России работают 74 предприятия и завода, в том числе в Ивановской и соседних областях более 30 предприятий. Непосредственно в Ивановской области - 4 льнозавода (Палехлен, Порздневский льнозавод, Юревецкий льнозавод, Илья-Высоковский льнозавод, одна льноперерабатывающая фабрика (г. Кохма), т.е всего 5 предприятий. Модернизируется и переоснащается "Мануфактура Балина" (г. Южа) в завод по переработке льна с цехами по котонизации. Совокупный объем производимой продукции должен достигнуть 4900 тонн в год. Однако все заводы по льнопереработке не функционируют в полную силу и в первую очередь из-за нехватки сырья. Существует программа по расширению посевов в Ивановской области ненаркотической конопли. Однако из-за более высокого содержания лигнина и грубости волокна, конопляное (пеньковое) волокно не может составить полную альтернативу хлопковому волокну.

Физико-механические показатели котонизированного льняного волокна на основе отечественных сортов льна различаются в зависимости от способа котонизации. Средние показатели составляют по линейной плотности - 240-400 мтекс, по содержанию пуховых волокон от 5 до 40 %, средней длине – 29-35 мм, максимальной длине – 32-50 мм, индексу равномерности – не менее 80. Практические исследования показали, что при работе одной линии котонизации с производительностью 200 кг /час при суточной переработке 3500 кг короткого льняного волокна, количество прядомого волокна составляет более 60 %. По оценкам специалистов-производственников использование котонина будет способствовать расширению ассортимента тканей не только бельевого, но и одежного назначения, а также нетканых материалов и ваты медицинского назначения. Полная переработка короткого волокна позволит заместить до 25 тысяч тонн хлопка в год, что составляет экономию на закупках импортного хлопка в 25...30 млн. USD. Использование котонина также позволит производить 400 млн. м<sup>2</sup> тканей с вложением котонина до 30%. По известной практике первичной переработки из всего

объема сырья, производимого в России, можно котонизировать более 100 тыс. тонн льна в год.

Известно, что на отечественных предприятиях используются технологические линии для котонизации короткого льноволокна фирм Ля Рош (Франция), Шлафхорст, Трючлер, Темафа (Германия), Charle (Бельгия), Лингрон (Англия), а также поточные линии получения короткого льноволокна и куделеприготовительные агрегаты фирмы CFM (Чехия). Отечественное оборудование для котонизации короткого льноволокна разрабатывает и производит ООО ИПФ ТексИнж. В их арсенале имеется технологическая линия по переработке короткого льноволокна, пеньковолокна и получению объемного утеплителя, машина чесальная для льна МКЛ и др.

В настоящее время известны механические способы получения котонина методом разрезания, поперечной резки, разрыва и тонкого разволокнения, разработанные ЦНИИЛКА (г. Москва), ВНИИЛЛ (г. Кострома), ИГТА (г. Иваново), СПГУТиД (г. Санкт-Петербург) и реализованные на ряде текстильных предприятий: фабрике им. Ногина (г. Вичуга, Ивановская область), АООТ «КНИИЛП», Реутовской мануфактуре, АО Кохма, Вышневолоцком ХБК, Тверской мануфактуре, АО Легмашдеталь, АО Котонлон (г. Тверь), АО Чесмаш (г. Иваново), Кардатекс (г. Иваново) и Тверьлегмашдеталь (г. Тверь).

Существующие технологии и оборудование для разрыхления льняной волокнистой массы (расщепления комплексов волокон) 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. Разработанные в ИВГПУ (г. Иваново) технология, способ и оборудование для максимального расщепления комплексов волокон на отдельные элементарные волокна без ухудшения их качества, обеспечивают возможность вложения их в волокнистую смесь для получения качественной хлопкольнай пряжи.

Особенность разработанного способа заключается в том, что волокнистая смесь с помощью воздушных потоков разделяется на отдельные воздушно-волокнистые потоки, один из которых состоит из одиночных волокон, другой - из комплексов волокон, перемещающиеся по зонам формирования слоев. Слой, состоящий из одиночных волокон, направляется на технологическую линию для изготовления одиночной пряжи, а слой, состоящий из комплексов волокон, - на повторное расщепление с целью получения одиночных волокон. Оборудование для дополнительного разрыхления, рассортировки волокон, их распределения и транспортировки имеет усиленный приемный узел в виде последовательно и горизонтально установленных пильчатых барабанов.

Полученный на оборудовании для разрыхления, рассортировки волокон, их распределения и транспортировки верхний слой, состоящий из одиночных льняных волокон, направляется сначала на смеситель непрерывного действия, а далее на разрыхлительно-очистительный агрегат для смешивания с хлопковым волокном.

Для получения качественной хлопкольняной пряжи большое значение имеют процессы подготовки волокнистой массы и полуфабриката к прядению, в том числе процессы, протекающие на разрыхлителях-очистителях. Для улучшения процессов подготовки хлопкольняных смесей были разработаны однобарабанный и двухбарабанный, колковые и пильчатые разрыхлители-очистители, а также модернизированы основные узлы оборудования для получения полуфабрикатов на технологической линии переработки льняных котонизированных волокон.

Особое значение также имеет обеспечение получения высокой точности дозирования котонина в волокнистых смесях и интенсификации обеспыливания каждого из компонентов смеси. Большой объем производственных исследований по определению эффективности смешивания и очистки волокнистой смеси был выполнен на многокамерном смесителе-дозаторе, который обеспечил эффективное смешивание различных компонентов волокнистой смеси и точное дозирование каждого компонента

смеси до 0,1%. Работы по определению эффективности смешивания и очистки проводились также на смесителе-дозаторе в ООО СП RUSO'ZBEKTEKS (Узбекистан) [85,97,102].

Кроме того, большая работа была выполнена по модернизации основных рабочих узлов на чесальных и ленточных машинах. Так были модернизированы приемный узел, узел главного барабана и зона формирования хлопкольнай ленты на чесальной машине по заявкам АО ОСНОВА (г. Фурманов). Модернизация была осуществлена заводом Ивчесмаш (г. Иваново) на основе наших разработок.

Исследование влияния модернизированных питающих узлов и узлов для формирования и очистки волокнистого материала на качество полуфабрикатов и пряжи было проведено на ООО Меланж, АООТ Комбинат имени Ф.Н. Самойлова, ОАО Самтекс АООТ НАВТЕКС, меланжевом комбинате АО РОДНИК, ОАО Фатекс, ОАО Камешковский текстиль (Владимирская обл.), ООО СП RUSO'ZBEKTEKS (Узбекистан) и др.

Производственные исследования модернизированных узлов подтвердили целесообразность их использования. Установлено, что при переработке полуфабриката из смеси с льняными волокнами увеличивалась эффективность очистки полуфабриката от сорных примесей, пыли и пуха, значительно улучшались структура полуфабриката и качественные показатели пряжи. Наиболее целесообразно применение данных узлов при переработке высокозасоренного сырья, а также в льнопрядении [44,85,97].

Тем не менее, наиболее серьезные затруднения при производстве хлопкольнай пряжи возникают не столько на стадии изготовления полуфабриката, сколько непосредственно в процессе формирования пряжи.

Проведённые производственные исследования позволили установить, что основной причиной повышенной обрывности в зоне бегунка на кольцепрядильных машинах выступает наличие в структуре хлопкольнай пряжи сорных примесей и костры. В связи с этим производство хлопкольнай пряжи кольцевым способом прядения с использованием

стандартного парка оборудования, имеющегося на текстильных предприятиях, на этапах подготовки полуфабриката и формирования пряжи признаётся нецелесообразным.

По нашему мнению, несмотря на более высокий уровень обрывности на пневмомеханических прядильных машинах, именно пневмомеханический способ формирования хлопкольнай пряжи является наиболее перспективным. Однако его эффективное применение требует обязательной модернизации узла дискретизации, направленной на обеспечение дополнительной очистки и эффективного обеспыливания волокнистого потока.

Как известно, современные разработки в области пневмомеханических прядильных машин базируются на инновационных подходах к процессам формирования, транспортировки и наматывания пряжи. Эти усовершенствования связаны с изменением конструкции роторов, режимов их вращения, а также с обеспечением стабильной транспортировки и наматывания пряжи при повышенных скоростях работы. При этом узел дискретизации по своей конструкции и скоростным характеристикам остался практически неизменным.

Завод Пензтекмаш осуществил модернизацию машины ППМ-120-А1М с целью улучшения качества её работы. Однако производственные испытания, проведённые на Реутовской фабрике, показали, что проблема забивания каналов сороочистки выделяющимися жёсткими волокнами сохранилась. Аналогичные исследования, выполненные нами на базе ОАО Камешковский текстиль, также подтвердили факт забивания каналов сороочистки на машинах моделей ППМ-120-А1М и ППМ-120-А2.

Для обеспечения стабильного производства хлопкольнай пряжи на пневмомеханических прядильных машинах были разработаны усовершенствованные узлы дискретизации. Данные узлы характеризуются повышенной интенсивностью процесса удаления сорных примесей и обеспечивают целенаправленный отсос загрязнений, включая микропыль,

непосредственно из зоны дискретизации. Внедрение этих технических решений способствует значительному улучшению внешнего вида и повышению физико-механических показателей готовой пряжи.

Производственные исследования проводились в ОАО Камешковский текстиль (Владимирская обл.), ОАО НАВТЕКС (Ивановская обл.), ОАО Комбинат им. Ф.Н. Самойлова, ОАО Фабрике им. С.И. Балашова (г. Иваново), ОАО Фурмановская прядильно-ткацкая фабрика №1, ООО Южа-текстиль (Ивановская обл. на пневмомеханических прядильных машинах ППМ-120МС, ВД-200 RCE, ВД-200 RN, ППМ-120-A1M, ППМ-120-A2 [44, 85,97].

Анализируя результаты наших исследований, особенно при переработке смеси с большим содержанием отходов производства и котонина, и, сравнивая их с результатами, полученными на машинах третьего поколения ВДА-10N, пришли к выводу, что наличие модернизированного узла дискретизации по качественным характеристикам вырабатываемой пряжи переводит вышеперечисленные машины в третье поколение.

Так, например, при использовании на пневмомеханических прядильных машинах ВД-200 RCE модернизированных дискретизирующих узлов значительно увеличилась удельная разрывная нагрузка пряжи, снизился коэффициент вариации по линейной плотности и по разрывной нагрузке, уменьшилось количество пороков. Обрывность пряжи снизилась в несколько раз, повысилось качество пряжи. Процесс прядения протекал стабильнее. Забивания сороотводящих каналов грубыми жёсткими комплексами не наблюдалось.

Особый интерес для производителей представили результаты исследований, проведенных нами в ОАО НАВТЕКС (г. Наволоки) при выработке хлопкольнайной пряжи линейной плотности 36, 50, 72 текс по кардной системе с использованием пневмомеханического способа прядения и установленных на пневмомеханических прядильных машинах, модернизированных дискретизирующих узлов. Так, например, для изготовления хлопкольнайной пряжи 36 текс был использован котонин средней

линейной плотности 1,83 текс, засоренности 36,62 %, средней длины 28,84 мм. Содержание котонина в смеси 29 %. Кипы котонина устанавливались в ставку вместе с хлопковым волокном в шахматном порядке на автоматическом питателе. Разрыхление и смешивание осуществлялось на оборудовании типовой технологической линии и согласно плану прядения. Для определения выхода пряжи из смеси, проводился количественный анализ отходов и оборотов, выделившихся на различных переходах производства хлопкольнай пряжи, заключающийся в определении их процентного содержания. Выход хлопкольнай пряжи снизился на 6% по сравнению с выходом пряжи из хлопкового волокна. Потери хлопкольнай смеси происходили в основном на машинах разрыхлительно-очистительного агрегата. Для проведения качественного анализа отходов прядильного производства был выполнен их ручной разбор отходов с каждой машины.

В результате исследований установлено, что введение котонизированного льняного волокна в смеску не ухудшает распрямленности волокон в полуфабрикатах. Распрямленность волокон в чесальной ленте 60%, а после второго перехода ленточных машин 78%, что практически не отличается от аналогичных показателей при переработке смеси из хлопкового волокна на данном предприятии.

Нами показано, что коэффициент вариации чесальной ленты и ленты со второго перехода ленточных машин по массе метровых отрезков соответствует нормам технического контроля. Неровнота на коротких отрезках превышает нормы технического контроля для чесальной ленты на 26 %, а для ленты со второго перехода ленточных машин на 22 %. Это произошло вследствие укорочения льняного волокна в процессе чесания и дискретизации. Нами исследования длины волокон в чесальной ленте и в волокнистой ленточке в желобе прядильной камеры показали, что количество коротких волокон в чесальной ленте составило 18,4 %, в волокнистой ленточке – 22,1%, а штапельная массодлина в чесальной ленте составила 29,9 мм, в волокнистой ленточке – 27,9 мм.[]

Установлено, что в связи с установкой на пневмомеханических прядильных машинах BD–200 RCE модернизированных дискретизирующих узлов удельная разрывная нагрузка увеличилась на 13%, снизился коэффициент вариации по линейной плотности на 13%, коэффициент вариации по разрывной нагрузке на 15 %, на 34% уменьшилось количество пороков. Одновременно со снижением обрывности пряжи в пять раз улучшилось ее качество. Процесс прядения протекал стабильнее. Забивания сороотводящих каналов грубыми жёсткими комплексами не наблюдалось.

Таким образом, анализ полученных результатов свидетельствует о том, что применение оптимальных параметров настройки узла дискретизации, поддержание оптимальной влажности питающей ленты, а также внедрение усовершенствованной конструкции сороотводящего канала обеспечивают возможность повышения качества пряжи приблизительно на 20%.

Практические эксперименты по получению смесовых хлопкольняных пряж были реализованы в производственных условиях ОАО Меланжевый текстиль. Полученные данные подтвердили техническую осуществимость изготовления качественного полуфабриката с содержанием котонина в диапазоне от 17% до 45%, что полностью соответствует действующим отраслевым стандартам. Характеристики полученной пряжи определялись линейной плотностью 29,4 текс (№34). Анализ компонентного состава показал, что доля льняного волокна в конечной пряже превысила 48,4%, что является прямым свидетельством высокой эффективности реализованной технологии и минимальных потерях ценного сырья.

Проведённые испытания физико-механических свойств наглядно продемонстрировали преимущества смесовой пряжи. Удельная разрывная нагрузка пряжи, изготовленной исключительно из хлопкового волокна в условиях ОАО Меланжевый текстиль, составила 10,0 сН/текс. В то же время аналогичный показатель для хлопкольняной пряжи, произведённой по той же технологии, достиг 11,9 сН/текс, что указывает на существенное упрочнение материала за счёт введения льняного компонента.

На основе выработанных пряж были изготовлены опытные партии хлопкольняных тканей различной структуры, характеризующиеся шириной 170 см и поверхностной плотностью 145 г/м<sup>2</sup> (см. табл. 1). В ходе эксперимента были рассмотрены три варианта использования пряжи в структуре ткани по основе и утку:

Вариант I: в основе и утке использовалась хлопкольняная пряжа;

Вариант II: в основе — хлопкольняная пряжа, в утке — хлопчатобумажная;

Вариант III: в основе — хлопчатобумажная пряжа, в утке — хлопкольняная. [84,85].

Характеристика суровой хлопкольнайной и базовой хлопчатобумажной  
ткани  
(ОАО Меланжевый текстиль).

Вариант	Разрывная нагрузка, Н	Среднее удлинение, %	Средняя плотность, количество нитей на 10 см
I	388/440*	16,1/10	222/228
II	378/369	12,8/12,5	225/225
III	322/420	15,8/10,5	220/228
IV (бязь арт. 265)	319/330	9,5/10,5	225/229

В рамках представленных данных в числителе условных дробей фиксируются показатели, относящиеся к основе, тогда как в знаменателе приводятся соответствующие значения для утка.

Экспериментально подтверждено, что введение котонина в состав смесовой массы с хлопковым волокном в диапазоне 17,0–19,0% способствует существенному улучшению прочностных характеристик суровой ткани. Полученные образцы хлопкольнайных суровых тканей подвергались комплексной отделке, включавшей стандартные технологические стадии:

расшлихтовку;

отваривание;

крашение с применением сернистых, кубовых либо активных красителей.

Указанные операции выполнялись на оборудовании непрерывного действия при полном исключении стадии беления. Подобная организация технологического процесса отделки демонстрирует экономическую и производственную эффективность в сравнении с традиционными режимами облагораживания текстильных материалов.

Значительный практический опыт в сфере производства смесовой пряжи на основе сочетания хлопка и котонина накоплен на Оршанском

льнокомбинате (г. Орша, Республика Беларусь). В таблице 2 приведена сравнительная характеристика физико-механических показателей пряжи с различным вложением котонина. Процесс котонизации льняного волокна был реализован на зарубежной поточной технологической линии.

Полученные экспериментальные данные убедительно подтверждают, что регулирование доли вложения котонина в смесовую массу позволяет целенаправленно и в широких пределах модифицировать физико-механические свойства как получаемой пряжи, так и конечных текстильных полотен.

В ходе исследований установлено, что пряжи, содержащие котонин, характеризуются более низкими показателями удлинения и разрывной нагрузки по сравнению с пряжей мокрого прядения, изготовленной на базе варёной ровницы (что наглядно отражено в таблице 2).

Специфическая объёмность котонинсодержащей пряжи, сочетающаяся с удовлетворительными параметрами по тонине и номеру, открывает возможности для производства оригинальных текстильных материалов бытового назначения. Ассортимент таких тканей охватывает широкий спектр изделий — от бельёвого ассортимента до материалов костюмного назначения (что представлено в таблице 3). Данные текстильные полотна могут выпускаться:

- в неотделанном виде (без крашения);
- гладкокрашеными;
- с нанесённым печатным рисунком.

Таблица 2.2

Сравнительная характеристика физико-механических показателей  
котонинсодержащей пряжи пневмомеханического способа прядения и  
льняной пряжи мокрого прядения ( Оршанский льнокомбинат).

№	Вид пряжи	Текс	Номер	Разрывная нагрузка, Н	Удлинение %	Влажность %
Пряжа пневмомеханического способа прядения на основе котонина льна						
1	основа- уток: пряжа 15%- хлопок 85% - котонин	186,3	5,37	7,78-8,0	3,3	8,8-7,7
2	основа-уток пряжа: 15%- хлопок 85% - котонин	110,9	9,02	4,03/5,80*	3,6	8,8/7,7
3	основа-уток пряжа: 65%- хлопок 35% - котонин	- 49,9	- 20,0	2,16/3,54-	- 3,8	7,8/6,6
4	основа- пряжа льняная беленая: уток – пряжа 15%- хлопок, 85% - котонин	99,3	9,67	3,66/4,39	3,0	9,0/4,67
		110,3	9,07	4,03/6,40	3,6	8,8/ 7,3
Пряжа пневмомеханического способа мокрого прядения на основе ровницы щелочной варки						
5	основа- уток: пряжа льняная оческовая мокрого прядения вареная 100%	87	11,5	12,44/11,72	1,4	9,0/ 5,49
6	уток- вареная ровница, пряжа льняная	38	26,3	19,53-18,7	1,9	10,0/ 6,67
		29,4	34	9,8-10,6	-	7,0/ 7,0

	100% лен основа- пряжа хлопчатобумажная					
7	основа- уток вареная ровница, пряжа оческовая мокрого прядения 100% лен	110	9,09	15,8/15,2	1,7	9,0/ 5,33

\*В числителе дроби значение для нормируемого показателя, в знаменателе – для фактического.

Таблица 2.3.

Техническая характеристика суровых льняных и полульняных тканей на основе котонина

Назначение ткани	Образец, Артикул	Шири на, см	Число нитей на 10 см		Вес пог.метра, г
			основа	уток	
Декоративная чистольняная	На основе пряжи 1*	153,7	124	86	425
Декоративная чистольняная	На основе пряжи 2	164,4	207	141	420
Полотенечная полульняная	На основе пряжи 3	175,8	206	194	210
Декоративная костюмная чистольняная	На основе пряжи 4	279,0	97	170	300

Современные ткани бязевой группы получены на предприятии Навтекс (г.Наволоки, Ивановской области), ОАО Шуйские ситцы (г.Шуя, Ивановская область) и хлопко-льно-полиэфирные ткани с вложением эластана - на экспериментальном производстве (г.Тверь). Новые ткани имеют ширину более 180 см. Могут выпускаться как в отбеленном виде (при вложении

котонина менее 30%), так и с набивным орнаментом (пигментными составами, активными красителями) или подвергаться крашению. Особо интересным техническим и дизайнерским решением является сохранение природной окраски в процессе колорирования таких тканей. Это может быть обеспечено ферментной расшлихтовкой амилазами и биоотваркой [104,105].

## 2.2. Экспериментальные исследования свойств котонина

Физико-механические характеристики льняного котонизированного волокна оказывают определяющее влияние на возможность его эффективного использования в производстве смесовой пряжи. Ключевое значение имеют такие параметры, как способность волокна к разрыхлению при смешивании с хлопком, равномерность распределения компонентов в смеси, а также склонность льна к выпадению в отходы на оборудовании разрыхлительно-очистительного агрегата. Кроме того, свойства котонизированного волокна напрямую сказываются на протекании последующих технологических операций — чесания, вытягивания и формирования пряжи.

В нашем случае котонин был получен из льняного короткого волокна №3. Длина волокон котонина представлена в таблице 2.3.

Таблица 2.4.

Распределение длины волокон котонина

Длина волокна, мм	Содержание волокон, %	Линейная плотность, мтекс	Средняя массодлина, мм
0 - 16	15,1	1490	32,0
16,1 - 46	61,0	1940	
46,1 и выше	23,9	3920	

Для определения толщины волокна был использован микроскоп цифровой Artsan 512 (рис. 2.). В таблице 2.4. представлены результаты измерений.

Таблица 2.5.

Результаты измерений толщины волокон котонина  
под микроскопом

Тип волокна	Размер поперечника (средний), мкм	Содержание волокон в штапеле, %
Одиночные волокна	14,0	32
Тонкие комплексы	35,0	28
Грубые комплексы	200,0	40

Как следует из данных, представленных в таблице 2.4, геометрические параметры поперечного сечения одиночных льняных волокон сопоставимы с аналогичными показателями хлопкового волокна и находятся в диапазоне 14–20 мкм. Анализ табличных данных также свидетельствует о том, что доля одиночных волокон в общей структуре волокнистой массы составляет 32%. В то же время тонкие комплексы, толщина которых примерно в два раза превышает аналогичный показатель одиночных волокон, составляют 28%, а на долю грубых комплексов приходится 40%.

Следовательно, льняной котонин, предназначенный для смешивания с хлопком, характеризуется гетерогенной структурой и содержит как отдельные одиночные волокна, так и их комплексы различной степени агрегированности. Подобная морфологическая неоднородность в значительной степени усложняет технологический процесс формирования пряжи как на пневмомеханических, так и на кольцепрядильных машинах.

В связи с этим для организации эффективного производства хлопкольняной пряжи требуется разработка принципиально новых подходов к проектированию технологических процессов. Эти процессы должны быть ориентированы на подготовку котонина к смешиванию и последующее получение как одиночной, так и кручёной хлопкольняной пряжи.

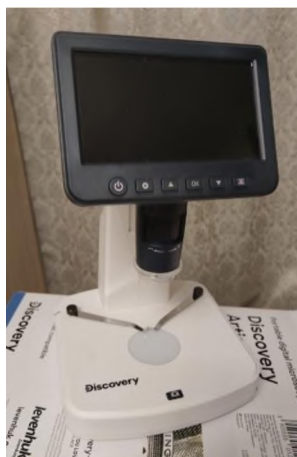


Рис. 2.1. Микроскоп цифровой Artsan 512

На наш взгляд, проектирование технологических процессов подготовки котонина должно базироваться на создании инновационных методов и специализированного оборудования. Ключевой задачей таких разработок является обеспечение интенсивного разрыхления и расщипывания волокнистой массы до состояния максимального выделения одиночных льняных волокон. При этом необходимо исключить любые технологические воздействия, способные привести к ухудшению их физико-механических свойств.

### 2.3. Разработка технологической линии для получения одиночных волокон из котонина

Производственный опыт наглядно демонстрирует, что прямое использование котонина в качестве исходного сырья для производства хлопкольнай пряжи является нецелесообразным. Подобный подход приводит к существенному росту обрывности нити в процессе прядения. В свете этого в рамках проведённого исследования приоритетное внимание было уделено разработке и оптимизации процессов подготовки льняных котонизированных волокон, предназначенных для смешивания с хлопковым волокном при изготовлении смесовой пряжи.

Авторами был разработан оригинальный способ и создано специализированное оборудование, предназначенные для эффективного разрыхления, последующей рассортировки волокон, а также их равномерного распределения и транспортировки по технологической линии.

Ключевая особенность предложенного способа заключается в многостадийном процессе обработки. После прохождения этапа дополнительного разрыхления на последовательно установленных горизонтальных пильчатых барабанах волокнистая масса направляется в специальную камеру для рассортировки. В этой камере происходит разделение волокон по аэродинамическим свойствам, а именно — по скорости витания. Волокна с меньшей скоростью витания подхватываются воздушными потоками и оседают на поверхности верхней пары сетчатых барабанов. К ним относятся преимущественно длинные и тонкие одиночные волокна. В свою очередь, волокна с большей скоростью витания, включая короткие, толстые волокна и комплексы, оседают на поверхности нижней пары барабанов.

Таким образом, формируется два отдельных потока: верхний настил, состоящий из качественных одиночных волокон, направляется на технологическую линию для производства хлопкольнай одиночной пряжи. Нижний настил, содержащий комплексы и более грубые фракции, возвращается на стадию повторного разрыхления для дальнейшей дезагрегации.

На рис. 2.2 представлена технологическая линия для получения одиночных волокон из котонина, где наглядно показан процесс дополнительного разрыхления, расщипывания, а также рассортировки и транспортировки волокнистого материала.

Технологический процесс получения одиночных волокон из котонина осуществляется в следующей последовательности. Сырьё в виде котонина поступает на ленточный транспортер 1, откуда с помощью питающего устройства с двойными прижимными валиками 2 и 3 подаётся на питающий стол 4. Проходя через валики, волокнистый слой формируется в виде \*

бородки\* и вступает во взаимодействие с пильчатым барабаном 5. Далее волокнистый слой транспортируется аэродинамическим способом к конденсорам 6, где формируются слои для подачи на следующее питающее устройство 7. Устройство 7 подаёт материал на повторную обработку пильчатым барабаном 8. После этого волокнистый слой вновь транспортируется к конденсорам 9 и подаётся на питающее устройство 10 для обработки пильчатым барабаном 11, под которым расположена рабочая пара гарнитуры.

С барабана 11 волокнистый слой поступает на последовательно расположенные горизонтальные пильчатые барабаны 12, 13 и 14, где происходит окончательное максимальное разрыхление и расщипывание массы на отдельные волокна.

Тем не менее, даже после многостадийной обработки в волокнистой массе сохраняется определённое количество комплексов волокон, кистры, пыли и сорных примесей. Поэтому конструкция технологической линии предусматривает эффективную систему их удаления. Комплексы волокон возвращаются на повторное разрыхление. Съём волокна с гарнитуры последнего пильчатого барабана 14 осуществляется мощными воздушными потоками, в том числе подаваемыми через специальный канал 15, что обеспечивает чистоту продукта и стабильность технологического процесса.

После аэросъёма с гарнитуры пильчатого барабана 14 воздушно-волокнистая смесь проходит через транспортирующий коридор 16 высотой  $h = 8 \dots 12$  мм и попадают в камеру распределения 17, представляющую собой в сечении многоугольник. В процессе движения воздушно-волокнистой смеси в камере распределения 17, в верхнем углу которой расположена контролирующая зона обеспыливания 18 в виде перфорации с пневмоканалом, происходит контроль движения и обеспыливания волокон.

Контролирующая зона обеспыливания 18 образована стороной многоугольника  $a$ , расположенной под углом  $\beta = 20 \dots 30$  к горизонтали и стороной  $b$  – под углом  $\gamma = 30 \dots 45$  к горизонтали. Величины углов  $\beta$  и  $\gamma$

поддерживают лучшие условия рассортировки волокон по зонам формирования настилов. С увеличением углов  $\beta$  и  $\gamma$  больше 30 и 45 уменьшается влияние на движение волокон в камере распределения, а значит, для поддержания данного влияния необходимо увеличивать расход воздуха в контролируемой зоне обеспыливания 16, также снижается эффективность обеспыливания в этой зоне. А при значениях углов  $\beta$  и  $\gamma$ , меньше 20 и 30 уменьшается площадь влияния контролируемой зоны на движение волокон, ухудшаются условия рассортировки волокон в камере распределения 17. Выделившиеся в процессе движения волокон в камере распределения 17 крупные сорные примеси, костра и непрядомые отходы попадают на стенку с многоугольника и удаляются через щель узла сороудаления 19, связанного с пневмоотсосом и расположенного в нижнем углу камеры распределения 17. Для улучшения процесса сбора сорных примесей, костры и непрядомых отходов боковая стенка с многоугольника составляет с горизонталью угол  $\lambda = 55 \dots 70$ . При значении угла  $\lambda$  меньше 55 ухудшаются условия соскальзывания со стенки с. Движение волокон также регулируется воздушными потоками, создаваемыми узлами пневмоотсоса, расположенными внутри сетчатых барабанов 20, 21 и 22, 23, которые находятся на выходе из камеры распределения 17. Для улучшения процесса распределения волокон по зонам образования слоев две пары сетчатых барабанов 20, 21 и 22, 23 разведены стенкой d, расположенной под углом  $\lambda = 55 \dots 70$ , обеспечивающей соскальзывание волокон со стенки d на сетчатый барабан 22 нижней пары. Внутри сетчатых барабанов 20 и 21 размещены неподвижные сегменты 24 и 25 с пневмоотсосом, а внутри сетчатых барабанов 22 и 23 – подвижные сегменты 26 и 27 с пневмоотсосом, имеющие подвижные заслонки, меняющие углы  $\phi$  и  $\chi$ .

Создаваемые в камере распределения 17 воздушные потоки, направленные в зону формирования волокнистых слоев к сетчатым барабанам 20, 21 и 22, 23, обеспечивают тонкую рассортировку волокон по зонам сбора на поверхностях верхней и нижней пар сетчатых барабанов 20, 21 и 22, 23.

Рассортировка волокон по верхней и нижней парам сетчатых барабанов 20, 21 и 22, 23 происходит за счет перераспределения волокон по воздушным потокам, исходя из скорости витания волокон.

Волокна, имеющие малую скорость витания, будут увлекаться воздушными потоками к верхней паре сетчатых барабанов 20, 21, а волокна, имеющие большую скорость витания, – к нижней паре сетчатых барабанов 22, 23. Так как скорость витания волокна прямопропорциональна квадратному корню от его массы и обратнопропорциональна квадратному корню от его длины, то на поверхности верхней пары сетчатых барабанов 20, 21 будут оседать более длинные и тонкие волокна, а на поверхности нижней пары сетчатых барабанов 22, 23 – более короткие и толстые.

Внутри сетчатых барабанов 20 и 23 расположены неподвижные сегменты 24 и 25, оснащённые системами пневмоотсоса. В то же время в сетчатых барабанах 21 и 22 установлены подвижные сегменты 26 и 27, также оборудованные пневмоотсосом и способные изменять углы своего раскрытия, обозначенные как  $\varphi$  и  $\chi$ . Принцип работы данных сегментов основан на их синхронном взаимодействии: увеличение угла раскрытия верхнего подвижного сегмента 26, расположенного в барабане 21, автоматически приводит к уменьшению угла раскрытия нижнего подвижного сегмента 27 в барабане 22, и наоборот. Такой механизм позволяет динамически перераспределять зоны сбора волокон, увеличивая их на поверхности верхнего сетчатого барабана 21 и, соответственно, уменьшая на нижнем барабане 22.

Изменение площади зон сбора волокон на поверхности барабанов 20 и 21 оказывает прямое влияние на количество волокнистого материала, осаждаемого на барабанах 22 и 23. Это, в свою очередь, обеспечивает возможность гибкого регулирования толщины слоёв волокнистого материала, которые формируются на транспортёрах 28 и 29. Таким образом, на транспортере 28 формируется слой, состоящий преимущественно из

одинокных волокон, в то время как на транспортёре 29 концентрируется слой, содержащий комплексы волокон.

Верхняя контролирующая зона обеспыливания 18, помимо своей основной функции по удалению запылённого воздуха из камеры распределения 17, выполняет роль регулятора разрежения в данной части системы. Данное регулирование осуществляется путём изменения уровня создаваемого вакуума, что позволяет управлять величиной дополнительного воздушного потока, генерируемого этим узлом. Манипулирование интенсивностью этого потока приводит к отклонению траектории основных воздушных струй, транспортирующих волокнистую массу от пыльчатого барабана 14 к сетчатым барабанам. В частности, увеличение дополнительного потока смещает транспортировку волокон в сторону верхней пары сетчатых барабанов, что ведёт к увеличению толщины слоя одиночных волокон на верхнем транспортёре 28 и уменьшению толщины слоя комплексов на нижнем транспортёре 29. Этот механизм обеспечивает прецизионную настройку параметров волокнистых настиллов.

Слой, состоящий из комплексов волокон, направляется на повторный цикл обработки, включающий дополнительное разрыхление и расщипывание с целью дезагрегации на отдельные волокна. В свою очередь, слой, сформированный из одиночных волокон, поступает на технологическую линию для дальнейшего изготовления хлопкольнай пряжи

#### 2.4. Математическое моделирование процесса разрыхления волокнистой массы в зоне колосниковой решетки оборудования разработанной технологической линии для получения одиночных волокон из котонина

Важную роль для качественного рассортировки волокнистой массы на разработанном оборудовании для разрыхления волокнистой массы, ее очистки, рассортировки волокон, их распределения по зонам формирования и

транспортировки играют процессы разрыхления и очистки, в том числе в зонах колосниковых решеток [106].

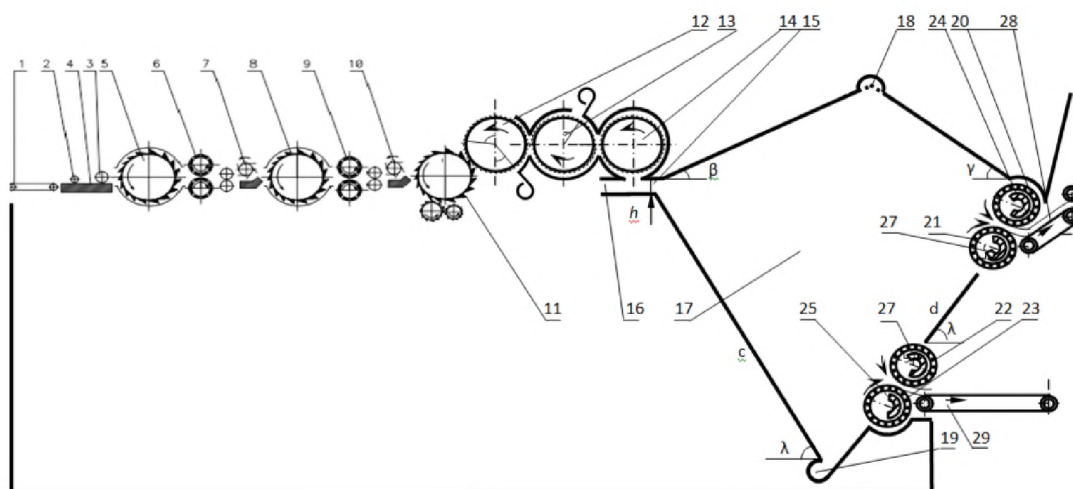


Рис. 2.2. Схема технологической линии для получения одиночных волокон из котонина

На данном этапе рассматривается механическое состояние волокнистого комплекса, находящегося в зоне воздействия рабочего органа — под пильчатым барабаном — в разработанном нами агрегате, предназначенном для разрыхления волокнистой массы, её очистки, последующей рассортировки волокон, а также их распределения по зонам формирования и дальнейшей транспортировки. Ключевой особенностью данного оборудования является усиленный узел, состоящий из последовательно и горизонтально расположенных пильчатых барабанов 12, 13 и 14, а также наличие колосниковой решётки, установленной непосредственно под пильчатым барабаном 13.

Проведём аналитические исследования процесса выделения сорных примесей из волокнистого клочка в ходе его разрыхления в зоне колосниковой решётки. Для построения математической модели процесса введём следующие допущения: представим, что волокнистый клочок находится в пространстве над колосниками (см. рис. 2.3). Примем, что центр масс данного клочка расположен в точке  $M$ , а сам клочок имеет форму шара радиусом  $R$  (см. рис. 2.4). Пусть на клочок, обладающий скоростью витания  $v$  и находящийся

в точке О, действует система сил: сила тяжести (притяжения), сила трения, реакция опоры со стороны рабочей поверхности и аэродинамическая сила.

В процессе механического взаимодействия клочка с рабочей гранью колосника происходит его вращение вокруг центра масс М. В дальнейшем клочок скатывается с данного колосника до момента соприкосновения с соседним элементом решётки в точке N. В этот момент времени  $t_1$  происходит неупругий удар клочка о соседний колосник в точке N (см. рис. 2.4). Предположим, что в данный момент времени на клочок также действует сила реакции R со стороны соседнего колосника. Учитывая, что вектор силы R направлен под углом  $\alpha$  к линии горизонта, его можно разложить на две ортогональные составляющие: горизонтальную  $R_x$  и вертикальную  $R_y$ .

В процессе взаимодействия клочка с рабочей гранью колосника происходит вращение его вокруг центра массы, далее он скатывается данного колосника вплоть до соприкосновения с соседним колосником в точке  $M_2$ . В это время осуществляется неупругий удар клочка о соседний колосник в точке  $M_2$  (рис. 2.4). Предположим, что в данный момент времени  $t_1$  на клочок также действует сила  $\vec{F}_k$  со стороны соседнего колосника. Учитывая, что вектор  $\vec{F}_k$  направлен под углом  $\beta$  к линии горизонта, его можно представить в виде горизонтальной  $\vec{F}_{k1}$  и вертикальной  $\vec{F}_{k2}$  составляющих:

$$\vec{F}_k = \vec{F}_{k1} + \vec{F}_{k2}, \quad (2.1)$$

$$\text{где } |\vec{F}_{k1}| = |\vec{F}_k| \cos \beta; \quad |\vec{F}_{k2}| = |\vec{F}_k| \sin \beta.$$

При допущении, что в течение фиксированного временного интервала элементарный объём волокнистой массы (клочок) вступает в механическое взаимодействие с активной поверхностью колосника, на данный объект со стороны рабочего органа оказывается комплексное силовое воздействие. В рамках принятой теоретической модели данный процесс классифицируется как акт неупругого соударения между колосником и структурными компонентами волокнистого субстрата. Характер этого взаимодействия определяет специфику трансформации кинетической энергии и

закономерности последующего перемещения материальной точки в технологическом пространстве.

Моделируем механическое состояние клочка непосредственно до момента его удара о колосник. Совокупность сил, действующих на клочок в данной фазе, графически представлена на рисунке 2.5. Расстояние между верхними рёбрами соседних колосников, обозначаемое как  $b$ , является конструктивным параметром оборудования для получения одиночных волокон из котонина и известно из технической документации.

Точка  $M_9$ , это точка пересечения линии  $M_2M_3$  окружности. Учитывая, что луч  $M_3O$  и перпендикуляр из точки  $M_2$  к прямой  $M_2M_3$ , который пересечет луч  $M_3O$  в точке  $M_5$ , можно записать

$$|M_3M_5| = \frac{b}{\cos\alpha}.$$

Согласно рисункам 2.3, 2.4 и 2.5

$$OM_4 = \frac{R_{\text{ком}}}{\cos\alpha}.$$

Примем, что длина хорды  $M_2M_9$  равна  $h$ .

Тогда:

$$h = |M_2M_9|.$$

Из рисунков 2.3, 2.4 и 2.5 следует:

$$b(b - h) = |M_3O|^2.$$

Тогда

$$|M_3O| = \sqrt{b(b - h)}.$$

Если учесть, что  $\angle OM_3M_9 = \angle OMM_9$ , то из прямоугольного треугольника  $MOM_4$  расстояние  $|OM_4|$  равно:

$$|OM_4| = R_{\text{ком}} \operatorname{tg}\alpha.$$

Учитывая рисунок 2.5, тот  $|M_4M_6| = |M_2M_8| = 0,5h$ .

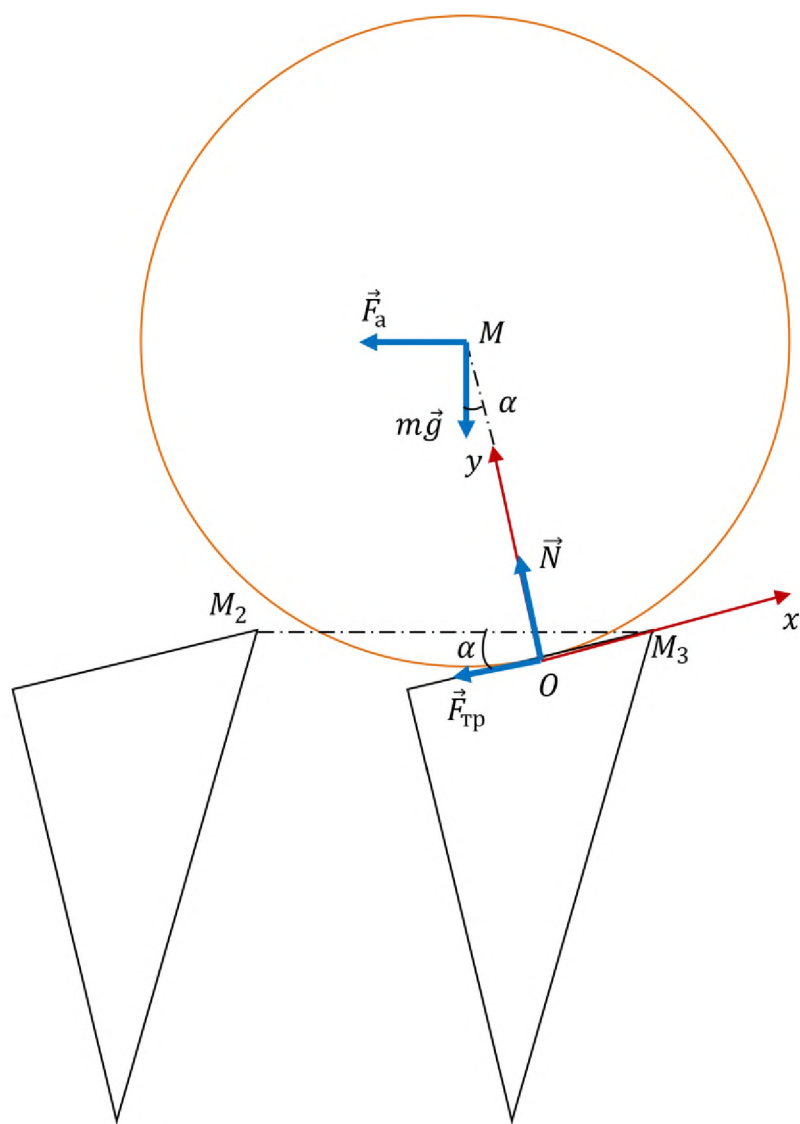


Рис. 2.3. Схема взаимодействия сил на волокнистый клочок при его соприкосновении с правым колосником

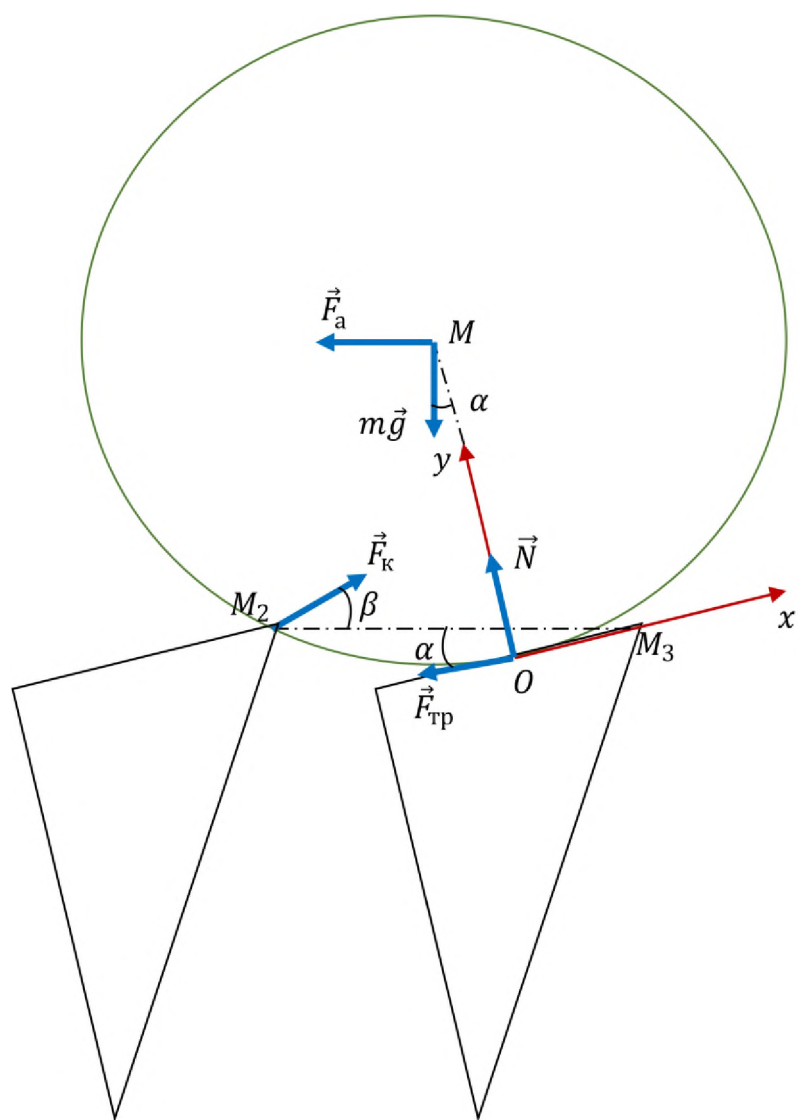


Рис. 2.4. Схема взаимодействия сил на волокнистый клочок при его соприкосновении с соседними колосниками

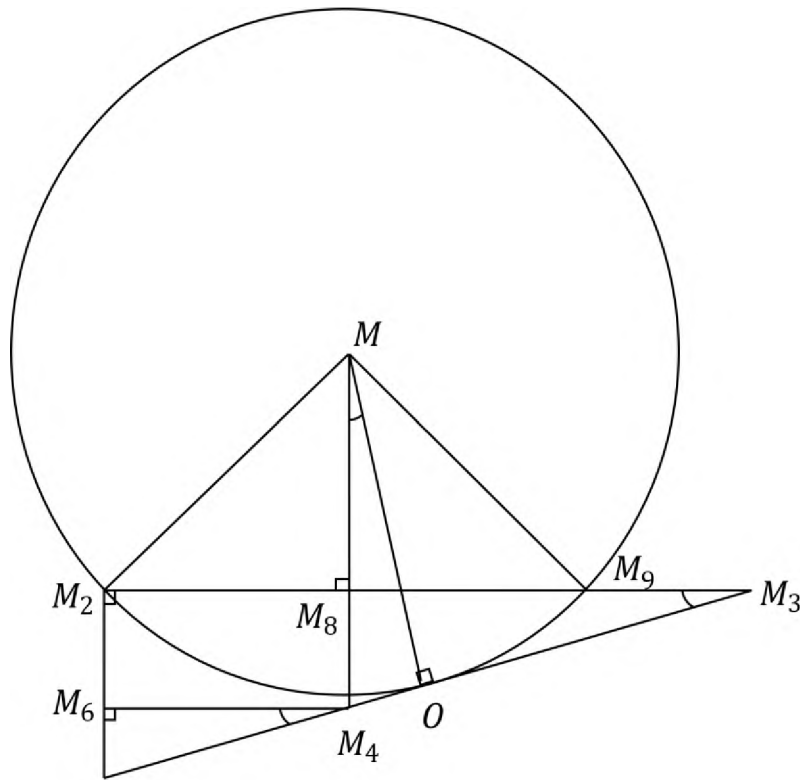


Рис. 2.5. Схема определения перемещения центра масс клочка под действием колосника

Отсюда,

$$|M_4M_5| = \frac{0,5h}{\cos\alpha}.$$

Определим величину отрезка  $|M_3M_5|$  из ниже представленного соотношения:

$$|M_3M_5| = |M_3O| + |OM_4| + |M_4M_5| = \sqrt{b(b-h)} + R_{\text{ком}}\text{tg}\alpha + \frac{0,5h}{\cos\alpha}.$$

Подставляя значение

$$|M_3M_5| = \frac{b}{\cos\alpha}$$

и преобразуя соотношение относительно  $h$ , получаем:

$$\sqrt{b(b-h)} + R_{\text{ком}}\text{tg}\alpha + \frac{0,5h}{\cos\alpha} = \frac{b}{\cos\alpha}$$

Преобразуя последнее выражение, получаем:

$$0,5h = \left( \frac{b}{\cos\alpha} - \sqrt{b(b-h)} - R_{\text{ком}}\text{tg}\alpha \right) \cos\alpha.$$

Отсюда:

$$0,5h = b - \sqrt{b(b-h)}\cos\alpha - R_{\text{КОМ}}\sin\alpha.$$

Тогда:

$$\sqrt{b(b-h)} = (b - 0,5h - R_{\text{КОМ}}\sin\alpha)/\cos\alpha.$$

На основе преобразования, получаем:

$$(b^2 - bh)\cos^2\alpha = (b - 0,5h - R_{\text{КОМ}}\sin\alpha)^2.$$

В процессе дальнейших преобразований, получаем:

$$b^2\cos^2\alpha - hb\cos^2\alpha = (b - R_{\text{КОМ}}\sin\alpha)^2 - h(b - R_{\text{КОМ}}\sin\alpha) + 0,25h^2.$$

Окончательно  $h$  равно:

$$h^2 + B_0h + C_0 = 0,$$

Где:

$$B_0 = 4(bc\cos^2\alpha - b + R_{\text{КОМ}}\sin\alpha);$$

$$C_0 = 4[(b - R_{\text{КОМ}}\sin\alpha)^2 - b^2\cos^2\alpha].$$

Вид решения уравнения:

$$h_{1,2} = \frac{-B_0 \pm \sqrt{B_0^2 - 4C_0}}{2}.$$

Если обозначить  $\varepsilon = R_{\text{КОМ}}/b$ , то

$$B_0 = 4b(\cos^2\alpha - 1 + \varepsilon\sin\alpha) = 4b(-\sin^2\alpha + \varepsilon\sin\alpha) = 4b(\varepsilon - \sin\alpha)\sin\alpha;$$

$$\begin{aligned} C_0 &= 4b^2[(1 - \varepsilon\sin\alpha)^2 - \cos^2\alpha] = 4b^2(1 - 2\varepsilon\sin\alpha + \varepsilon^2\sin^2\alpha - 1 + \sin^2\alpha) = \\ &= 4b^2\sin\alpha(-2\varepsilon + \varepsilon^2\sin\alpha + \sin\alpha). \end{aligned}$$

На основе преобразований получаем:

$$\begin{aligned} B_0^2 - 4C_0 &= 16b^2[(\varepsilon - \sin\alpha)^2\sin^2\alpha - \sin\alpha(-2\varepsilon + \varepsilon^2\sin\alpha + \sin\alpha)] = \\ &= 16b^2\sin\alpha[(\varepsilon^2 - 2\varepsilon\sin\alpha + \sin^2\alpha)\sin\alpha + 2\varepsilon - \varepsilon^2\sin\alpha - \sin\alpha] = \\ &= 16b^2\sin\alpha[\varepsilon^2\sin\alpha - 2\varepsilon\sin^2\alpha + \sin^3\alpha + 2\varepsilon - \varepsilon^2\sin\alpha - \sin\alpha] = \\ &= 16b^2\sin\alpha[2\varepsilon(1 - \sin^2\alpha) + \sin\alpha(\sin^2\alpha - 1)] = \\ &= 16b^2\sin\alpha[2\varepsilon\cos^2\alpha - \sin\alpha\cos^2\alpha] = 16b^2\cos^2\alpha\sin\alpha(2\varepsilon - \sin\alpha). \end{aligned}$$

Величина  $h$  имеет физический смысл при условии:

$$\varepsilon \geq 0,5\sin\alpha.$$

Тогда

$$|MM_8| = [R_{\text{КОМ}}^2 - (0,5h)^2]^{0,5}.$$

Если спроектировать точку  $O$  на прямую  $MM_4$ , то ее точка проекции будет  $M_{10}$ . Имея ввиду, что

$$|MM_{10}| = R_{\text{КОМ}} \cos \alpha;$$

$$|OM_{10}| = R_{\text{КОМ}} \sin \alpha.$$

Тогда,

$$|M_8M_{10}| = |MM_{10}| - |MM_8|.$$

Если обозначить величину угла  $M_8MM_2$  через  $\gamma_1$ , то получим из  $\Delta M_8MM_2$ :

$$\gamma_1 = \arcsin(0,5h/R_{\text{КОМ}}).$$

Исходим из того, что ширина рабочей грани колосника равна 10 мм, а расстояние между соседними колосниками – 8 мм., а угла  $\alpha$  изменяется от  $0^\circ$  до  $30^\circ$  [106].

Далее принимаем, что угол  $\alpha = 30^\circ$ , тогда  $\sin \alpha = 0,5$ ,  $\cos \alpha = 0,5\sqrt{3}$ . Зная значения  $\sin 30$  и  $\cos 30$ , получаем:

$$B_o = 4(0,75b - b + 0,5R_{\text{КОМ}}) = 4(-0,25b + 0,5R_{\text{КОМ}}) = 2R_{\text{КОМ}} - b == b(2\varepsilon - 1);$$

$$\begin{aligned} C_o &= 4[(b - 0,5R_{\text{КОМ}})^2 - 0,75b^2] = 4(b^2 - bR_{\text{КОМ}} + 0,25R_{\text{КОМ}}^2 - 0,75b^2) = \\ &= 4(0,25b^2 - bR_{\text{КОМ}} + 0,25R_{\text{КОМ}}^2) = 4b^2(0,25 - \varepsilon + 0,25\varepsilon^2) = \\ &= b^2(1 - 4\varepsilon + \varepsilon^2). \end{aligned}$$

Или

$$\begin{aligned} B_o^2 - 4C_o &= b^2[(2\varepsilon - 1)^2 - 4(1 - 4\varepsilon + \varepsilon^2)] = \\ &= b^2(4\varepsilon^2 - 4\varepsilon + 1 - 4 + 16\varepsilon - 4\varepsilon^2) = b^2(12\varepsilon - 3). \end{aligned}$$

Окончательно,

$$(h_{30^\circ})_{1,2} = 0,5b[-(2\varepsilon - 1) \pm \sqrt{12\varepsilon - 3}].$$

На рисунке 2.6. представлены графики функций

$$f_1(\varepsilon) = 0,5b[-(2\varepsilon - 1) + \sqrt{12\varepsilon - 3}]$$

и

$$f_2(\varepsilon) = 0,5b[-(2\varepsilon - 1) - \sqrt{12\varepsilon - 3}]$$

Учитывая, что величина  $f_2$  при условии  $\varepsilon > 0,25$  принимает отрицательное значение и учитывая, что  $\alpha = 30^\circ$ , то

$$h_{30^\circ} = 0,5b(-2\varepsilon + 1 + \sqrt{12\varepsilon - 3}).$$

Тогда можно записать, что равнодействующая моментов всех сил, действующих на клочок равна нулю:

$$-|M_2M_8|mg + |MM_8|F_a - Nbs\sin\alpha + F_{\text{ТР}}R_{\text{КОМ}}\sin(\gamma_1 + \alpha) = 0.$$

Учитывая  $F_{\text{ТР}} = kN$ , получаем:

$$-|M_2M_8|mg + |MM_8|F_a - N[bs\sin\alpha - kR_{\text{КОМ}}\sin(\gamma_1 + \alpha)] = 0.$$

Тогда

$$N = \frac{mg(|MM_8|V_a^2/V_{\text{ВИТ}}^2 - |M_2M_8|)}{bs\sin\alpha - kR_{\text{КОМ}}\sin(\gamma_1 + \alpha)}.$$

Получаем уравнение равновесия волокнистого клочка:

$$m\vec{g} + \vec{F}_{\text{ТР}} + \vec{N} + \vec{F}_a + \vec{F}_k = 0. \quad (2.2)$$

При проектировании левой части уравнения равновесия на оси  $Ox$  и  $Oy$ , получаем:

$$-mgs\sin\alpha - F_{\text{ТР}} - F_a\cos\alpha + F_k(\cos\beta\cos\alpha + \sin\beta\sin\alpha) = 0;$$

$$-mg\cos\alpha + N + F_a\sin\alpha - F_k(\cos\beta\sin\alpha - \sin\beta\cos\alpha) = 0.$$

Примем

$$\lambda_1 = -mgs\sin\alpha - kN - F_a\cos\alpha; \delta_1 = \cos\beta\cos\alpha + \sin\beta\sin\alpha;$$

$$\lambda_2 = -mg\cos\alpha + N + F_a\sin\alpha; \delta_2 = \cos\beta\sin\alpha - \sin\beta\cos\alpha.$$

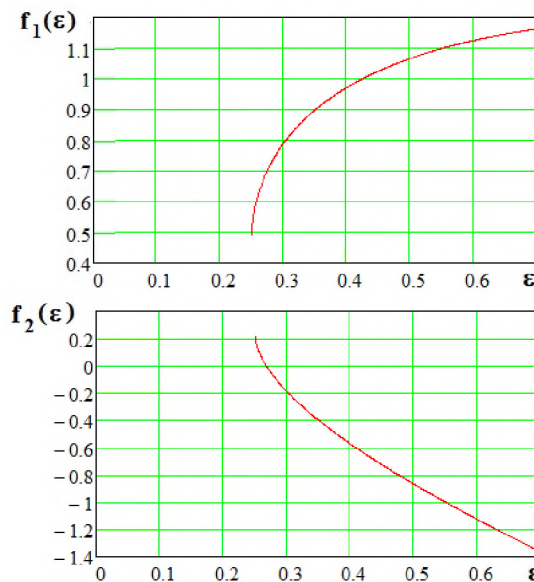


Рис. 2.6. Графики функций  $f_1(\epsilon) = 0,5b[-(2\epsilon - 1) + \sqrt{12\epsilon - 3}]$

$$\text{и } f_2(\epsilon) = 0,5b[-(2\epsilon - 1) - \sqrt{12\epsilon - 3}]$$

Тогда система уравнений принимает вид:

$$\lambda_1\delta_2 + \delta_1\delta_2F_k = 0;$$

$$\lambda_2 \delta_1 - \delta_1 \delta_2 F_k = 0.$$

При сложении правых и левых частей уравнений, получаем:

$$\lambda_1 \delta_2 + \lambda_2 \delta_1 = 0.$$

При делении правой части уравнения на  $\cos \beta$  получим:

$$\lambda_1 (\sin \alpha - \operatorname{tg} \beta \cos \alpha) + \lambda_2 (\cos \alpha + \operatorname{tg} \beta \sin \alpha) = 0$$

или

$$(\lambda_1 \sin \alpha + \lambda_2 \cos \alpha) + \operatorname{tg} \beta (\lambda_2 \sin \alpha - \lambda_1 \cos \alpha).$$

Относительно величины  $\beta$  уравнение имеет вид:

$$\beta = \operatorname{arctg} \left( \frac{\lambda_1 \sin \alpha + \lambda_2 \cos \alpha}{-\lambda_2 \sin \alpha + \lambda_1 \cos \alpha} \right).$$

Из ниже представленного соотношения

$$F_k = \frac{-mg \cos \alpha + N + F_a \sin \alpha}{\delta_2}. \quad (2.3)$$

вычисляется величина  $F_k$ .

Сила  $F_k$  является результирующей сил, действующих на волокнистый клочок, расположенный на колоснике в момент времени  $t_1$ .

## 2.5. Аналитические исследования процесса удаления непрядомых отходов в изогнутой перфорированной части трубопровода оборудования технологической линии для получения одиночных волокон из котонина

В технологическом процессе на этапах разрыхления, разволокнения волокнистой массы, состоящей из котонизированных и/или регенерированных волокон, а также их последующей рассортировки и транспортировки, ключевое значение приобретает своевременное и эффективное удаление непрядомых отходов, выделяющихся из общего потока волокнистого материала.

В связи с этим, при проектировании и разработке оборудования, ориентированного на достижение высокой степени разрыхления, качественной рассортировки волокон и их глубокой очистки, особое внимание было уделено созданию узлов для дополнительной очистки. Эти узлы располагаются непосредственно в зонах транспортировки волокнистой массы,

содержащей комплексы волокон и непрядомые отходы. Такой подход обеспечивает значительное улучшение качества полуфабриката и оптимизирует последующие операции по получению одиночных волокон.

Для теоретического обоснования конструктивных решений были проведены аналитические исследования, посвящённые процессу удаления непрядомых отходов (включая сорные примеси, костру и короткие волокна) в изогнутой перфорированной части трубопровода. Данная зона является элементом разработанного оборудования технологической линии для получения одиночных волокон из котонина.

Проанализируем динамику движения непрядомых отходов в изогнутой перфорированной части трубопровода разработанного оборудования технологической линии для получения одиночных волокон из котонина (рис. 2.8). Обозначим  $|M_{от}| = R_0$ ,  $|M_{от}, M| = \delta$ ,  $|OM| = r$ .

В изогнутой перфорированной части трубопровода непрядомые отходы начинают свое движение от точки  $M_0$ . Под действием центробежных сил непрядомые отходы оказываются в точке  $M$ . Введем следующие обозначения :

$v_{га}$  – средняя скорость воздушного потока в трубе;

$R_1, R_2$  – внутренний и внешний радиусы закругления трубы;

$r$  – текущий радиус расположения центра массы сорной частицы;

$v_{вит}$  – скорость витания сорной частицы;

$m$  – масса сорной частицы;

$h$  – высота канала;

$v_r$  – радиальная скорость сорной частицы.

Не учитывая силу притяжения, будем считать, что окружная скорость непрядомых отходов в каждой точке движения равна скорости воздушного потока.

Формула для определения центробежной силы, действующей на непрядомые отходы в изогнутой перфорированной части трубопровода

разработанного оборудования технологической линии для получения одиночных волокон из котонина в точке  $r = R_0 + \delta$  имеет вид:

$$F_{ц} = m \frac{v_{ra}^2}{R_0 + \delta}, \quad (2.4)$$

где  $v_{ra}$  – средняя скорость воздушного потока в изогнутой перфорированной части трубопровода;

$m$  – масса непрядомых отходов (сорных примесей, костры, коротких волокон);

$r$  – текущий радиус расположения центра массы непрядомых отходов.

Приближенно данную формулу можно записать так:

$$F_{ц} = m \frac{v_{ra}^2}{R_{зак} + h},$$

где  $h$  – высота канала.

Формула для определения аэродинамической силы, действующей на непрядомые отходы в изогнутой перфорированной части трубопровода по радиальному направлению, имеет вид:

$$F_a = \frac{mgv_r^2}{v_{вит}^2}, \quad (2.5)$$

где  $v_{вит}$  – скорость витания непрядомых отходов;

$g$  – ускорение свободного падения непрядомых отходов;

$v_r$  – радиальная скорость непрядомых отходов.

Для описания движения непрядомых отходов по радиальному направлению в изогнутой перфорированной части трубопровода получено уравнения [115]

$$\frac{d^2\delta}{dt^2} = \frac{v_{ra}^2}{R_{зак} + h} - \frac{gv_r^2}{v_{вит}^2}. \quad (2.6)$$

Учитывая, что

$$v_r = \frac{d\delta}{dt} \text{ и } dt = \frac{d\delta}{v_r},$$

тогда

$$\frac{d^2\delta}{dt^2} = \frac{dv_r}{dt} = \frac{v_r d v_r}{d\delta} = \frac{dv_r^2}{2d\delta}$$

Таким образом,

$$\frac{dv_r^2}{2d\delta} = \frac{v_{ra}^2}{R_{зак} + h} - \frac{gv_r^2}{v_{ВИТ}^2}$$

или

$$\frac{dv_r^2}{d\delta} = \frac{2v_{ra}^2}{R_{зак} + h} - \frac{2gv_r^2}{v_{ВИТ}^2}$$

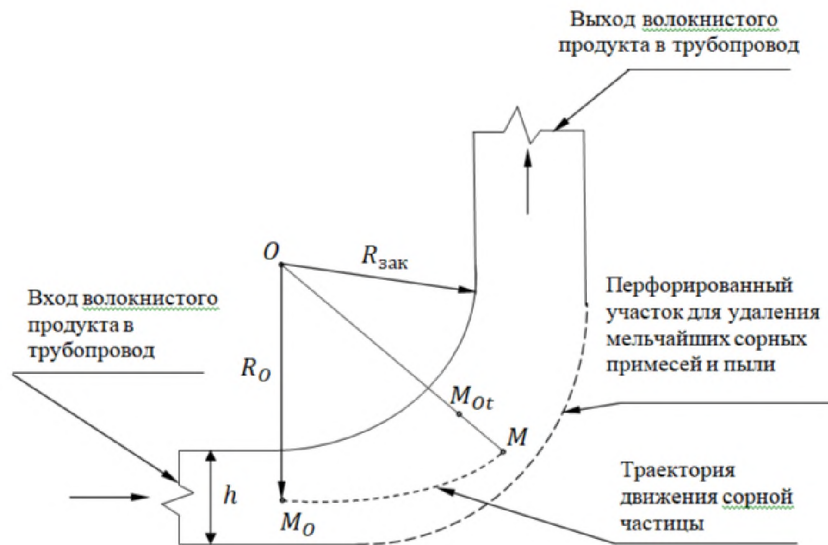


Рис 2.7. Схема изогнутой перфорированной части трубопровода

$$|M_{0t}| = R_0, |M_{0t}, M| = \delta, |OM| = r.$$

При обозначении

$$A = \frac{2v_{ra}^2}{R_{зак} + h};$$

$$B = \frac{2g}{v_{ВИТ}^2}.$$

Уравнение динамики непрядомых отходов в изогнутой перфорированной части трубопровода приобретет следующий вид

$$\frac{dv_r^2}{d\delta} = A - Bv_r^2.$$

Получаем

$$\frac{dv_r^2}{A - Bv_r^2} = d\delta.$$

Далее интегрируя правую и левую части уравнения

$$\int_0^{v_r^2} \frac{dv_r^2}{A - Bv_r^2} = \delta$$

или

$$\frac{-1}{B} \int_0^{v_r^2} \frac{d(A - Bv_r^2)}{A - Bv_r^2} = \delta.$$

Получаем,

$$\ln|A - Bv_r^2| - \ln A = -B\delta$$

или

$$\ln\left|1 - \frac{B}{A}v_r^2\right| = -B\delta.$$

Из этого получаем

$$1 - \frac{B}{A}v_r^2 = \exp(-B\delta),$$

В итоге

$$v_r^2 = \frac{A}{B} [1 - \exp(-B\delta)].$$

Преобразуем

$$\frac{d\delta}{dt} = \sqrt{\frac{A}{B}} \sqrt{[1 - \exp(-B\delta)]}$$

Зная, что  $\exp(-B\delta) \ll 1$ , то

$$\frac{d\delta}{dt} = \sqrt{\frac{A}{B}}.$$

Учитывая, что

$$\sqrt{\frac{A}{B}} = \sqrt{\frac{2v_{ra}^2 v_{\text{ВИТ}}^2}{(R_{\text{зак}} + h) 2g}} = \frac{v_{ra} v_{\text{ВИТ}}}{\sqrt{g(R_{\text{зак}} + h)}},$$

тогда

$$\delta = \frac{v_{ra} v_{\text{ВИТ}} t}{\sqrt{g(R_{\text{зак}} + h)}}$$

Для определения среднего времени прохождения непрядомых отходов в изогнутой перфорированной части трубопровода используем соотношение

$$t_{\text{пов}} = \frac{0,5\pi(R_{\text{зак}} + 0,5h)}{v_{ra}}$$

Отсюда вытекает, что отклонение непрядомых отходов за время поворота относительно точки О на угол  $0,5\pi$  равно:

$$\delta_{\text{пов}} = \frac{v_{ra}v_{\text{вит}}t_{\text{пов}}}{\sqrt{g(R_{\text{зак}} + h)}} = \frac{0,5\pi v_{\text{вит}}(R_{\text{зак}} + 0,5h)}{\sqrt{g(R_{\text{зак}} + h)}}$$

Анализ представленного на рисунке 2.9 графика демонстрирует зависимость величины отклонения  $\delta$  непрядомых отходов от их скорости витания при варьирующихся значениях коэффициента  $R_{\text{зак}}$ , при фиксированной высоте  $h = 0,2$  м. Установлено, что при изменении скорости витания непрядомых отходов в диапазоне от 0,1 м/с до 0,5 м/с наблюдается пропорциональное увеличение их отклонения за время прохождения через изогнутый перфорированный участок трубопровода, которое возрастает с 4 см до 20 см. Смещение непрядомых отходов в процессе их транспортировки обусловлено комплексным воздействием центробежных и аэродинамических сил. Возникновение данных сил, в свою очередь, продиктовано динамикой движения комплексов волокон и конфигурацией внутренней геометрии трубопровода.

Изогнутая перфорированная часть трубопровода, являющаяся компонентом оборудования технологической линии для получения одиночных волокон из катонина, интегрирована в пневмотранспортную систему посредством соединения с подающим и отводящим трубопроводами.

Со стороны перфорированного участка трубопровода располагается герметичная камера, которая сообщается с системой очистки. Данная система включает в себя побудитель тяги и фильтрующий элемент.

Технологический воздушный поток, насыщенный комплексами волокон, транспортируется по трубопроводу в фильтрационное устройство. Активация побудителя тяги, выступающего ключевым элементом системы аспирации и

очистки технологического (запылённого) воздуха, инициирует создание разрежения в рабочей камере. Под действием возникшего перепада давления комплексы волокон адсорбируются на внешней поверхности перфорированной стенки трубопровода. Одновременно с этим непрядомые отходы, к которым относятся сорные примеси, пылевые частицы, ковра и короткие волокна, увлекаемые воздушным потоком, последовательно перемещаются в диффузор и далее аккумулируются в специальной камере. Из данной камеры поток направляется по системе воздухопроводов в установку воздухоочистки, состоящую из вентилятора и фильтрующего элемента.

Эффективность процесса очистки и обеспыливания комплексов волокон имеет прямую зависимость от характера формирования волокнистого слоя на воздухопроницаемой (перфорированной) поверхности. Каждое последующее наслоение волокон приводит к увеличению плотности осадка, который начинает функционировать как фильтрующая среда, адсорбирующая из потока частицы сора и пыли. В этой связи возникает производственная необходимость в периодической регенерации (очистке) воздухопроницаемых элементов от накапливающегося слоя отходов. Процедура очистки реализуется путём кратковременного создания в диффузоре градиента давления воздуха, превышающего давление в изогнутой перфорированной секции трубопровода.

Для реализации данного цикла воздух из нагнетательной пневмолинии поступает в распределитель. Далее, по системе трубопроводов, он направляется к соплу. Распределитель обеспечивает поочерёдную дозированную подачу воздуха в сопло; управление этим процессом осуществляется электрическим сигналом от датчика перепада давления воздуха, установленного в волоконноводе и герметичных камерах. Струя воздуха, истекающая из сопла, проходит через коллектор и инжектор, конструкция которого включает сужающуюся и расширяющуюся части

диффузора. Этот процесс инициирует эжекцию (вовлечение) части запылённого воздуха из камеры, в которой функционирует инжектор.

Для обеспечения гарантированного удаления слоя частично очищенных и обеспыленных волокон с поверхности воздухопроницаемого элемента рекомендуется поддерживать избыточное давление воздуха, подводимого к инжекторному соплу, в диапазоне 0,4–0,6 МПа, при этом оптимальная длительность импульса истечения струи должна составлять 0,2–0,4 секунды. После удаления слоя оголённая поверхность воздухопроницаемого элемента вновь становится доступной для адсорбции свежих комплексов волокон, которые затем также последовательно проходят цикл обеспыливания.

## 2.6. Теоретические исследования оптимальных условий протекания процесса аэродинамического съема волокон с гарнитуры пильчатого барабана

Как известно, при переработке натуральных, химических волокон или их смесей, рациональный выбор типа и параметров гарнитуры рабочих органов разрыхлителя обеспечивает необходимые условия протекания процесса съема волокон с гарнитуры, что в свою очередь оптимизирует количество потерь прядомых волокон в отходы и улучшает процесс выделения сорных примесей и пороков [115-119].

В целях достижения оптимальных условий аэродинамического съема волокон при разволокнении полуфабриката из котонизированных волокон и/или из регенерированных волокон большое значение имеет выбор типа и параметров гарнитуры рабочих органов разрыхлителя, что позволяет оптимизировать количество выделяемых потерь прядомых волокон в отходы и улучшить сопровождаемое выделение сорных примесей и пороков под воздействием механических и аэродинамических сил, действующих на волокна при их съеме (рис. 2.9) [120-123].

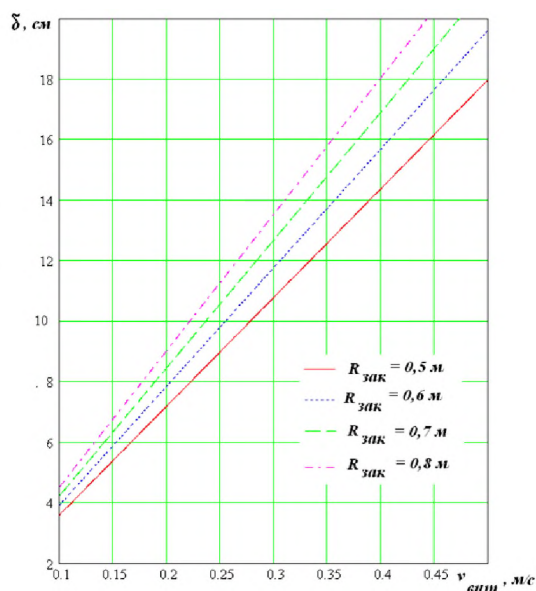


Рис. 2.8. График зависимости величины отклонения  $\delta$  непрядомых отходов от скорости их витания при различных  $R_{зак}$  ( $h = 0.2$  м).

Наибольшее влияние на условия протекания этого процесса оказывают интегральные (многокомпонентные) силы, действующие на волокно (рис. 2.9). В соответствии с рис. 2.10, уравнение равновесия волокна на зубе гарнитуры под их действием имеет вид (2.7) [124,125].

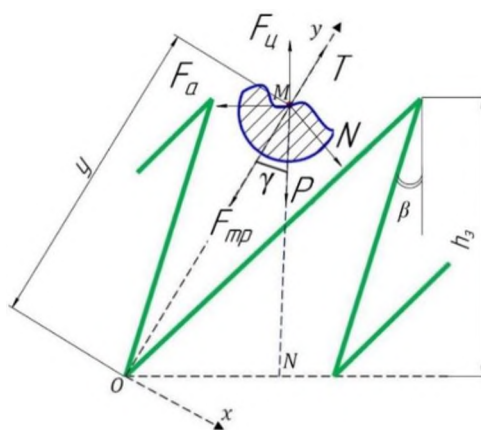


Рис. 2.9. Основные силовые и технологические параметры процесса аэродинамического съема волокна

$$\vec{T} + \vec{F}_ц + \vec{F}_a + \vec{F}_{тр} = 0. \quad (2.7)$$

$T$  — сила, которая возникает вследствие контакта волокна и воздушного потока, определяемого разностью между скоростью воздушного потока в гарнитуре и скоростью свободного витания волокна, стремящаяся снять

волокно с барабана. Очевидно, что эта сила будет зависеть от величины той части волокна, которая не контактирует с гарнитурой барабана. И чем больше будет эта часть, тем легче будет проходить аэродинамический съем.

Силу  $T$  можно определить по (2.8) [124,125]

$$T = \frac{(V_2 - V_1)^2}{2} L_B^{CB} 2\pi r_B \rho, \quad (2.8)$$

где  $r_B = 6 \cdot 10^{-6}$  – радиус поперечного сечения волокна, м;

$L_B^{CB} = 0,002 \div 0,032$  длина свободной части волокна, взаимодействующей с воздушным потоком, м;

$\rho$  – плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup>;

$(V_2 - V_1)$  – скорость воздушного потока относительно волокна, м;

$V_1$  – скорость свободного витания волокна, м;

$V_2$  – скорость воздушного потока на поверхности барабана - в гарнитуре, м/с;

Сила трения  $F_{тр}$  – между волокном и зубом гарнитуры определяется из (2.9):

$$F_{тр} = \mu N, \quad (2.9)$$

где  $\mu$  – коэффициент трения хлопка по стали;

$N$  – нормальная реакция зуба, на давление волокна, Н.

Сила  $N$  зависит от площади контакта гарнитуры и волокна, коэффициента трения между ними. Соответственно, та часть волокна, которая контактирует с гарнитурой, будет определять силу, удерживающую волокно на гарнитуре. Площадь контакта входит в зависимость (2.10), полагая, что волокно может максимально касаться частью своей длины, находящейся в гарнитуре и половиной своей поверхности

$$S = L_B^{\circ} \cdot \pi r_B, \quad (2.10)$$

где  $L_B^{\circ} = 0,002 \div 0,032$  – часть волокна, находящаяся в контакте с гарнитурой барабана, м;

Вес волокна значительно меньше, чем центробежная сила  $\vec{F}_{ц}$ , поэтому его в расчетах не учитываем, но принимаем, что все силы приложены к центру масс волокна и ось  $Y$  расположена посередине между рабочей и задней гранями зубьев, а ось  $X$  перпендикулярна оси  $Y$ .

Центробежную силу  $\vec{F}_{ц}$  представляется возможным определить из (2.11), зная массу волокна и ускорение свободного падения тела, обладающего массой [124].

$$F_{ц} = \frac{m_B V_B^2}{(R_6 + h_3)}, \quad (2.11)$$

$$m_B = L_B^{\circ} \rho \pi r_B^2, \quad (2.12)$$

где  $m_B$  – масса волокна, кг;

$\rho = 1,5 \cdot 10^{-3}$  – объемная плотность хлопкового волокна, кг/м<sup>3</sup>;

$V_B$  – окружная скорость волокна на гарнитуре, м/с;

$R_6 = 0,117$  – радиус барабана, м;

$L_B = 0,032$  – длина волокна, м;

$h_3 = 0,004$  – высота зуба гарнитуры, м.

Окружную скорость  $V_B$  определим по формуле (2.13)

$$V_B = \omega_6 (R_6 + h_3), \quad (2.13)$$

где  $\omega_6 = \pi \cdot n_6 / 30$  – угловая скорость вращения барабана, 1/с

$n_6 = 2000$  – частота вращения барабана, об/мин;

Условие аэродинамического съема волокна с гарнитуры можно выразить зависимостью (2.14)

$$T + F_{ц} \geq F_{тр} + F_a. \quad (2.14)$$

Одной из важных задач является выявление зависимостей силы аэродинамического съема и конструктивных особенностей оснастки оборудования. Основной компонентой в этом процессе является аэродинамическая сила  $F_a$ , и ее точное определение является первостепенной задачей.

Определим аэродинамическую силу по формуле, полученной в.

$$F_a = \frac{m_b g |k_a - 1| \cdot [k_a - 1] \cdot V_B^2}{V_{\text{ВИТ}}^2}, \quad (2.15)$$

где  $m_b = 6 \cdot 10^{-6}$  масса волокна (при линейной плотности единичного волокна 0,2 текс) кг;

$g = 9,81$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;

$V_B$  – окружная скорость на зубе гарнитуры барабана, м/с;

$k_a = 1,2$  – коэффициент;

$V_{\text{ВИТ}} = 0,05$  – скорость витания хлопкового волокна, м/с.

Результаты вычислений параметров  $T, F_{\text{Ц}}, F_{\text{ТР}}$ , в том числе  $F_a$  по зависимости (2.15), демонстрируют оптимальные соотношения длин части волокна, контактирующей с гарнитурой, и свободной его части (рис. 2.10).

Для определения сил  $F_{\text{ТР}}$  и  $F_{\text{Ц}}$  в расчет берется длина той части волокна, которая контактирует с гарнитурой, а для сил  $F_a$  и  $T$  в расчет берется длина оставшейся части волокна, которая не вошла в контакт с гарнитурой.

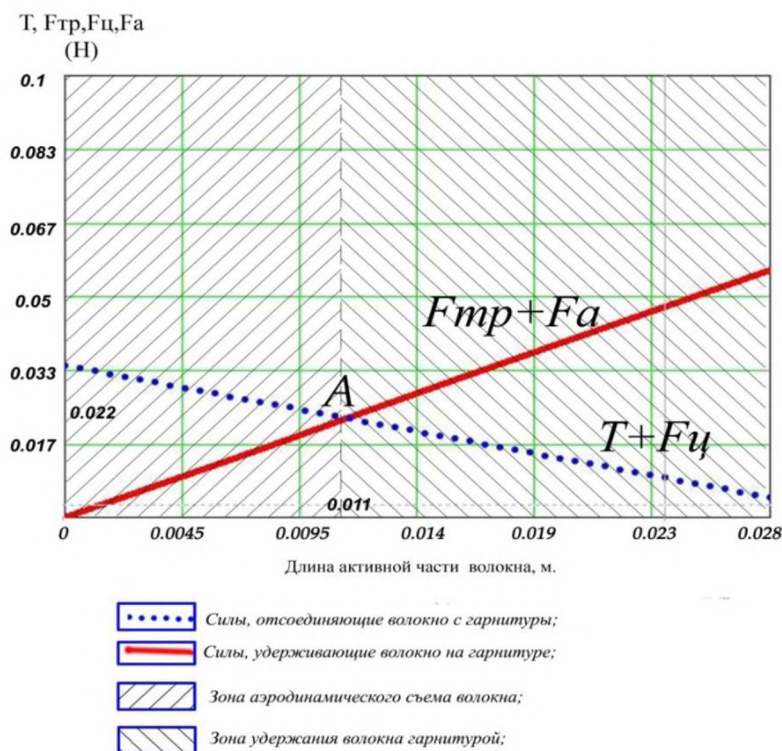


Рис. 2.10 Графики зависимостей сил, действующих на волокно от длины его активной части

Таким образом, для сил первой группы длина волокна, участвующая в расчёте, определяется как разность между его полной длиной и текущей длиной, в то время как для сил второй группы в расчётах принимается именно текущая длина волокна.

Анализируя результаты выполненных расчётов (см. рис. 2.11), можно сделать вывод, что аэродинамический съём волокна с поверхности гарнитуры рабочего барабана становится возможным только в том случае, когда длина его свободной части превышает 11 мм. При меньшей длине свободной части волокна наблюдается рост сил, удерживающих его на поверхности. С увеличением длины участка волокна, контактирующего с барабаном, пропорционально возрастают сила трения и прижимающая сила, что полностью исключает возможность его съёма.

На графике (рис. 2.11) точка А характеризует момент начала процесса съёма волокна. Данная точка по оси абсцисс (\*ось X\*) определяет границу, разделяющую процесс на две характерные области: зону аэродинамического съёма и зону удержания волокна на гарнитуре в зависимости от его геометрических параметров. По оси ординат (\*ось Y\*) точка А соответствует условию равенства сил, удерживающих волокно, и сил, способствующих его отрыву от поверхности барабана.

В наших исследованиях была получена зависимость аэродинамической силы (2.16), позволяющая учесть угол наклона зуба гарнитуры, скорости воздушного потока, частоты вращения барабана и др., которая является значимой для практических целей

$$F_a = \frac{m_b g \cdot [v_{ac} - \omega_b(R_b - h_3 + y \cos \gamma) - v \sin \gamma]^2}{V_{\text{вит}}^2}, \quad (2.16)$$

где  $v_{ac}$  – средняя скорость воздуха в аэросъёмном канале,

$v$  – скорость центра масс волокнистого комплекса;

$\gamma$  – угол между осью  $O_y$  и перпендикуляром к основанию зуба;

$y = h_3 / \cos \beta$  – координата центра масс волокнистого комплекса, отсчитываемая от основания зуба.

На рисунке 2.11 представлены результаты расчетов параметров  $T, F_{ц}, F_{тр},$  в том числе  $F_a$  по зависимости (2.16). Баланс сил, зависимость (2.14), и характеризующие его величины, показывают, что при изменении (увеличении) угла  $\beta$  (линии в виде точек) удерживающие силы  $F_{тр}$  и  $F_a$  будут увеличиваться, вследствие увеличения контакта волокна и гарнитуры, а величина зоны аэродинамического съема уменьшаться.

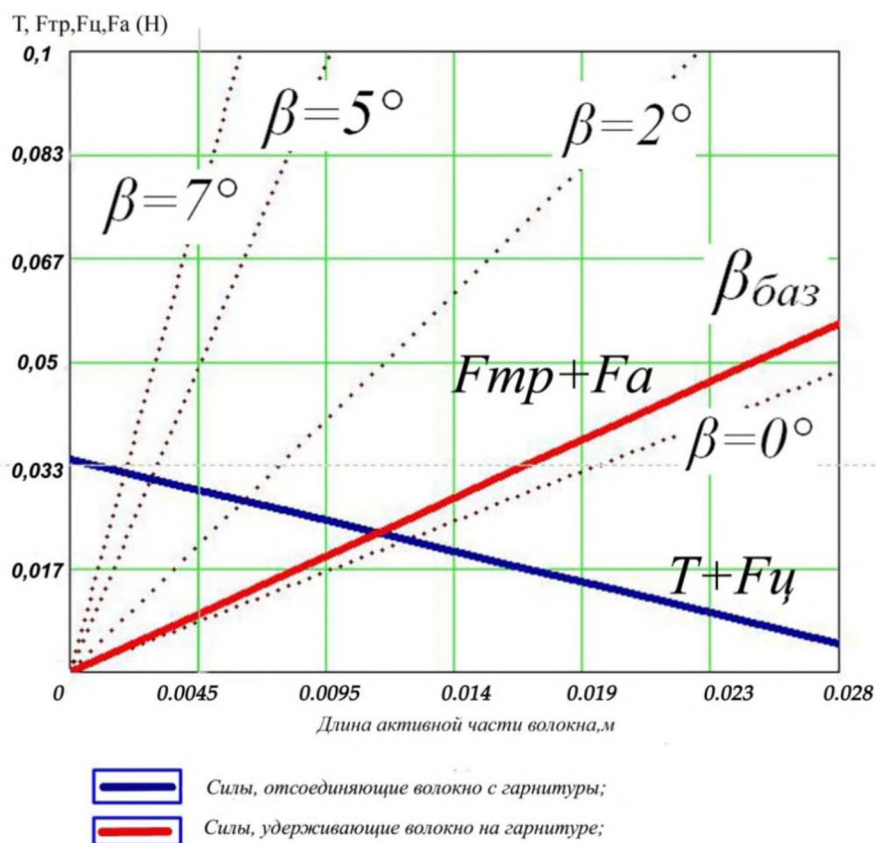


Рис. 2.11. Графики зависимостей сил, действующих на волокно от угла наклона зуба гарнитуры  $\beta$  и длины его активной части

## 2.7. Выводы по главе

На основании проведённых исследований и анализа производственного опыта можно сформулировать следующие ключевые научные и технологические результаты:

1. Производственный опыт свидетельствует о нецелесообразности непосредственного использования котонина в качестве сырья для производства хлопкольнай пряжи, поскольку это приводит к значительной обрывности нити. В связи с этим в работе особое внимание было уделено разработке и оптимизации процессов подготовки льняных котонизированных волокон для их последующего смешивания с хлопковыми волокнами при изготовлении смесовой пряжи.

2. Разработана и внедрена технологическая линия для получения одиночных волокон из котонина. Технологический процесс основан на методе, согласно которому после дополнительного разрыхления на последовательно установленных горизонтальных пильчатых барабанах волокнистая масса поступает в камеру для рассортировки. В этой камере происходит разделение волокон по аэродинамическим свойствам (скорости витания): волокна с малой скоростью витания увлекаются воздушными потоками к верхней паре сетчатых барабанов, а волокна с большей скоростью витания — к нижней. Слой, состоящий из одиночных волокон, направляется на технологическую линию изготовления хлопкольнай пряжи, тогда как слой, содержащий комплексы волокон, возвращается на повторное разрыхление и расщипывание.

3. Проведено исследование механического состояния волокнистого клочка в зоне его взаимодействия с колосником колосниковой решётки, расположенной под вращающимся пильчатым барабаном. В рамках данной работы была определена результирующая сила, действующая на волокнистый клочок в определённый момент времени его нахождения на колоснике.

4. Разработана методика и получена аналитическая зависимость, описывающая движение непрядомых отходов (сорных примесей, костры, коротких волокон) от начальной до конечной точек их траектории. Установлено, что данное перемещение обусловлено действием центробежных и аэродинамических сил, возникающих в результате движения комплексов волокон и геометрии трубопровода.

5. В результате теоретических расчётов получено численное значение величины перемещения непрядомых отходов под совместным воздействием центробежных и аэродинамических сил от начальной до конечной точек технологической линии.

6. Выполнен анализ поведения одиночных волокон при их аэродинамическом съёме в оборудовании для разрыхления, рассортировки и транспортировки. Исследовано влияние таких параметров, как угол наклона зуба гарнитуры, скорость воздушного потока и частота вращения барабана. Получена зависимость для расчёта аэродинамической силы, позволяющая учитывать указанные технологические факторы.

7. Проведены теоретические исследования зоны аэродинамического съёма волокна с целью определения условий его эффективного отделения. Определена критическая длина свободной части волокна, не контактирующей с гарнитурой барабана, при достижении которой становится возможным аэродинамический съём волокна из межвиткового пространства.

### **3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАЗРАБОТАННОЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЛИНИИ ПОЛУЧЕНИЯ ОДИНОЧНЫХ ЛЬНЯНЫХ ВОЛОКОН ИЗ КОТОНИНА**

До настоящего времени в отрасли отсутствовали как технология, так и специализированное оборудование, обеспечивающие максимальное расщепление комплексов волокон на отдельные элементарные льняные волокна без ухудшения их физико-механических свойств.

Нами была разработана технология, позволяющая осуществлять максимальное расщепление комплексов волокон на отдельные элементарные волокна с сохранением их качества. Эта разработка стала основой для последующего совершенствования технологии получения одиночной смесовой пряжи, содержащей льняные волокна.

Совершенствование этапа подготовки полуфабриката с содержанием льняных волокон заключается во внедрении в технологическую линию модернизированного оборудования для рассортировки, распределения и транспортировки волокон. Данное оборудование обеспечивает эффективное выделение из волокнистой смеси одиночных льняных волокон и комплексов волокон. Модернизация узла питания заключалась в усилении зоны за счёт установки пальчатых барабанов, а также в обеспечении возврата слоя, состоящего из комплексов волокон, на повторное разрыхление и расщипывание до состояния отдельных волокон. Кроме того, была реализована система сбора и накопления волокнистой массы, состоящей из слоя одиночных волокон, которая после накопления направляется на технологическую линию изготовления хлопкольняной пряжи [85, 126-133].

Экспериментальные исследования разработанной технологической линии получения одиночных льняных волокон из котонина (рис. 2.3) проводились с целью определения процентного содержания одиночных волокон и комплексов волокон на выходе из системы.

На рисунке 3.1 представлены результаты распределения компонентов волокнистой массы после прохождения этапов разрыхления, расщипывания и очистки на разработанной технологической линии. Процесс рассортировки одиночных волокон и комплексов в камере распределения по верхней и нижней парам сетчатых барабанов основан на перераспределении этих фракций по воздушным потокам в зависимости от их скорости витания.

Конструкция сетчатых барабанов предусматривает наличие неподвижных сегментов, оснащённых подвижными заслонками, которые позволяют регулировать угол раскрытия всасывающего факела. Принцип работы заслонок является парным: увеличение угла раскрытия верхнего сегмента приводит к пропорциональному уменьшению угла нижнего, и наоборот. Это обеспечивает расширение зоны сбора волокон на поверхности верхнего барабана при одновременном сужении зоны на нижнем, что позволяет гибко управлять толщиной формируемых слоёв.

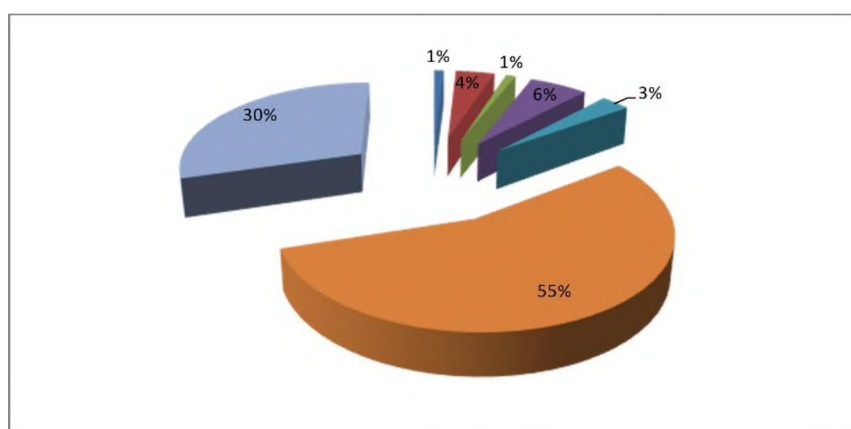
Как следует из диаграммы на рисунке 3.1, верхний слой, состоящий из одиночных волокон, составляет 55,25%, нижний слой из комплексов волокон — 29,75%, а частицы пыли и сорных примесей, удаляемые из системы, — 3%.

В нижнем углу камеры распределения установлен узел сороудаления в виде щели с трубопроводом, подключённым к пневмомотсосу. Через него осуществляется удаление сорных примесей, костры и частично грубых волокон. Дополнительное обеспыливание происходит в зоне перфорации на стенках бункера и в верхней контролирующей зоне.

Экспериментальные исследования показали, что в верхнем настиле концентрируются в основном одиночные волокна длиной от 25 до 50 мм, а в нижнем — комплексы волокон длиной от 25 до 35 мм. Линейная плотность одиночных волокон в верхнем настиле составляет 1,8–2,0 текс, а в нижнем настиле — 2,0–3,2 текс. Таким образом, верхний настил образуют более тонкие и длинные одиночные волокна, пригодные для получения хлопкольнажной пряжи, а нижний настил — комплексы волокон, направляемые на повторное разрыхление.

Полученные на разработанной технологической линии одиночные льняные волокна направлялись на смеситель непрерывного действия, а затем на разрыхлительно-очистительный агрегат для смешивания с хлопковым волокном.

При проведении экспериментальных исследований варьировались скоростные параметры рабочих органов разработанной технологической линии. Результаты, представленные на диаграмме рис. 3.1, получены при окружной скорости пильчатого барабана 14–23 м/с.



- 1% - частицы пыли и сорных примесей, удаляемые из зоны перфорации на стенках бункера;
- 4% - сорные примеси, костра и грубые волокна, удаляемые из зоны 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;
- 65,25% - одиночные волокна, составляющие верхний слой;
- 19,75% - комплексы волокон, составляющие нижний слой.

Рис. 3.1. 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

В распределительной камере создавались направленные внутренние воздушные потоки, которые подавались в зоны формирования волокнистых

слоёв с последующим их разделением на составляющие. Расход воздуха внутри сетчатых барабанов при этом составлял 6000 м<sup>3</sup>/ч. Кроме того, отдельный внутренний воздушный поток направлялся в зону обеспыливания; пневмоотсос верхней контролирующей зоны работал с производительностью 300 м<sup>3</sup>/ч. Следующий поток воздуха использовался для сороудаления, при этом расход воздуха в соответствующем узле составлял 500 м<sup>3</sup>/ч. Углы раскрытия заслонок неподвижных сегментов были установлены на значениях  $\alpha = 60^\circ$  и  $\beta = 30^\circ$ .

Верхний слой, обогащённый одиночными волокнами, направлялся на смеситель непрерывного действия СН-3У, после чего, при необходимости, поступал на пресс для формирования кип. Полученные кипы устанавливались в ставку вместе с кипами хлопкового волокна в шахматном порядке на автоматическом питателе. Нижний слой, состоящий из комплексов волокон, возвращался на стадию повторного разрыхления и расщипывания на отдельные волокна.

Предварительные экспериментальные данные показали, что для получения статистически достоверных средних значений массы верхнего и нижнего настилов, а также отходов необходимо провести серию из  $N = 30$  опытов.

Взятые пробы из верхнего и нижнего настилов разбирались на составляющие: волокна, костру и сорные примеси. Затем каждая фракция взвешивалась. На основании полученных данных рассчитывалось процентное соотношение массы волокон, костры и сорных примесей в общей массе пробы.

Качественный анализ показал, что состав волокон верхнего и нижнего настилов по длине и толщине существенно различается. Для определения распределения линейных плотностей волокон были взяты пробы из обоих настилов. Далее измерялась длина каждого волокна, после чего волокна распределялись по группам длин и взвешивались. Линейная плотность для каждой группы рассчитывалась как отношение суммарной массы волокон в группе к их общей длине.

Экспериментальные исследования показали, что в верхнем настиле концентрируются преимущественно волокна длиной от 35 до 50 мм (рис. 3.2), в то время как в нижнем настиле преобладают волокна длиной от 25 до 35 мм. Линейная плотность волокон в верхнем настиле составляет 1,8–2,0 текс, а в нижнем настиле — 2,0–3,2 текс. Таким образом, верхний настил формируют более тонкие и длинные волокна, пригодные для производства хлопкольнай пряжи, тогда как нижний настил состоит из более толстых и грубых комплексов волокон, которые направляются на повторное разрыхление и расщипывание.



Рис. 3.2. Льняные волокна на выходе из технологической линии для получения одиночных льняных волокон из котонина

### 3.1. Выводы по главе

1. Выполненные экспериментальные исследования распределения одиночных волокон, комплексов волокон, костры и пыли по зонам формирования настиллов 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.

2. Экспериментальные исследования распределения одиночных волокон, комплексов волокон, костры и пыли по зонам формирования настиллов и удаления отходов на технологической линии для получения одиночных льняных волокон из котонина выполнялись при условиях: расход воздуха внутри сетчатых барабанов при этом составил 6000 м<sup>3</sup>/ч.; внутренний воздушный поток направляли в зону обеспыливания, при этом пневмоотсос верхней контролирующей зоны работал с производительностью 300 м<sup>3</sup>/ч; следующий воздушный поток направляли в зону сороудаления, расход воздуха в узле сороудаления составил 500 м<sup>3</sup>/ч.; углы раскрытия заслонок неподвижных сегментов составили  $\alpha = 60$ ,  $\beta = 30$ .

## 4. РАЗРАБОТКА СПОСОБА И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ КРУЧЕНОЙ ХЛОПКОЛЬНЯНОЙ ПРЯЖИ

### 4.1. Разработка динамической имитационной модели процесса смешивания в камерах смесовой машины

Особый интерес для производителей представляет разработка технологического процесса получения крученой хлопкольнай пряжи, минуя кольцепрядильные и пневмомеханические прядильные машины, используемые для получения одиночной хлопкольнай пряжи.

Разработка способа и технологического процесса получения крученой хлопкольнай пряжи позволит значительно расширить ассортимент выпускаемых тканей и трикотажа [85, 134-135].

Особое место при подготовке волокнистой смеси на разрыхлительно-очистительном агрегате занимает технологический процесс смешивания на смешивающей машине (рис. 4.1).

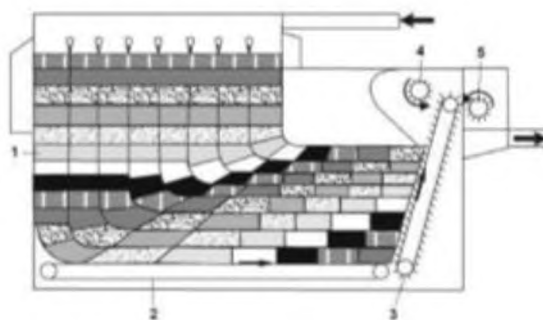


Рис. 4.1. Технологическая схема смесовой машины

Процесс заполнения восьми камер 1 волокнистым материалом протекает одновременно. Смешивание волокон происходит благодаря вариации длины пути их перемещения к зоне выборки, расположенной у смесовой решетки 2. Дополнительное гомогенизирующее воздействие обеспечивается игольчатой решеткой 3, которая осуществляет селективный отбор клочков волокна из

различных слоев подводимого к ней волокнистого настила. Разравнивающий валик 4 удаляет излишки волокнистого материала с поверхности игольчатой решетки и транспортирует их в камеру машины 5. Ключки волокон, удаляемые съемным валиком с игольчатой решетки, направляются по пневмопроводу к следующему технологическому агрегату. В случае переполнения бункера очистителя происходит автоматическая остановка питающей и игольчатой решеток. [138-141].

Смесительная машина обладает рядом существенных преимуществ:

- Эффективное обеспыливание поступающего в машину воздушного потока, обогащенного волокном.
- Интегрированная электронная система управления, исключающая необходимость в использовании сменных компонентов, что обеспечивает повышенную точность регулирования технологических параметров.
- Высокая степень адаптивности к обработке разнообразных волокнистых материалов.
- Значительная производительность машины.

На рис. 4.2 изображена схема формирования настила волокна в камере смесовой машины

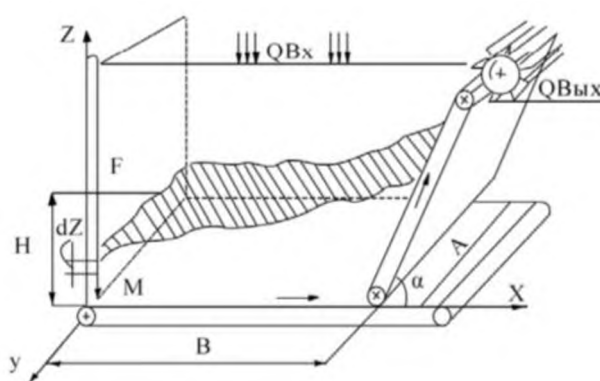


Рис. 4.2 Схема формирования настила волокна в камере смесовой машины

Получены:

$\frac{ABdp(z,t)}{dz} = -AB\gamma(z,t) + 2\mu\nu p(z,t)(A+B)$  - уравнение материального баланса,

$L = \frac{AB}{ABK-2\mu\gamma(A+B)}$  - постоянная имеющие размерность длины (м),

$\sigma = \frac{2\mu(A+B)\gamma_0}{ABK-2\mu\gamma(A+B)}$  - постоянная имеющие размерность плотности,

$H(t) = L \ln \frac{\gamma_0(t)^q}{\gamma_0^q}$  текущая высота заполнения камеры (м),

$Q_{вых}(t) = AV_{mp} [L(\gamma_0 + \sigma)e^{\frac{Ht}{L}} - L(\gamma_0 + \sigma)e^{\frac{Ht}{L}} - \sigma(H(t) - \Delta H)]$  -

производительность смесовой машины (кг/с),

$Q_{вх}(t)$  – подача (расход) волокна в смесовую камеру (кг/с);

$Q_{вых}(t)$  – расход волокна на выходе из смесовой камеры (кг/с);

$H(t)$  – текущая высота заполнения камеры (м);

$LS$  – блокировка при заполнении камеры и разгрузки за определённый промежуток времени;

$A$  и  $B$  – ширина и длина камеры (м);

$\mu$  – коэффициент сопротивления скольжения материала по стенкам бункера;

$\nu$  – коэффициент (Пуассона) передачи давления;

$Vt$  – линейная скорость вывода материала из камеры (м/с);

$\gamma_0$  – плотность материала в ненагруженном состоянии;

$P(z,t)$  – давление на слой.

Используя полученные выше результаты исследования можно оптимизировать процесс смешивания для получения более равномерных по составу настила смеси и в конечном итоге более равномерный по физико-механическим свойствам полуфабрикат, и крученую пряжу [138-141].

#### 4.2. Динамическая модель процесса смешивания в камерах смесовой машины

Сущность процесса смешивания заключается в равномерном распределении волокон с разными свойствами внутри каждого компонента и в равномерном распределении волокон каждого компонента во всей смеси. Равномерное распределение волокон разных компонентов — это такое распределение, при котором в пробе любого объема содержатся волокна всех компонентов, причем их доленое участие соответствует рецепту смеси. Целью процесса смешивания является получение более равномерных по составу продуктов прядения и более равномерной пряжи по всем свойствам в любом участке, а также получение пряжи заданной себестоимости и качества. В настоящее время производители приготовительного оборудования предлагают для смешивания хлопка использовать многокамерные машины со ступенчатой загрузкой камер или с различной длиной пути движения материала. В процессе моделирования можно выделить следующие этапы: 1. Выбор основных технологических процессов и их взаимодействия по функциональной (технологической) схеме смесовой машины. 2. Для каждого технологического процесса представить описание его динамической математической модели (передаточной функции). 3. Техническая реализация математической модели на ЭВМ. 4. Получение необходимых результатов с помощью модели.

На смесовой машине (можно выделить следующие динамические процессы) осуществляется основные динамические процессы: транспортировки, смешивания, очистки волокна.

Рассмотрим уравнение динамики и передаточную функцию смесовой машины. Воспользуемся условием материального баланса массы волокон, т.е. расход волокон на входе и выходе смесовой машины должны быть равны. В модели смесовой машины в качестве выходных параметров должна иметь расход волокна  $Q_{вх}(t)$  и текущую высоту заполнения камеры  $H(t)$ . На рис. 4.2.

представлена схема формирования настила в смесовой камере, где обозначены:  
 $Q_{вх}(t) = QS1$  – подача (расход) волокна в смесовую камеру (кг/с)  $Q_{вых}(t) = QS2$  – расход волокна на выходе из смесовой камеры(кг/с)

$H(t) = HS$  – текущая высота заполнения камеры (м)  $LS$  – блокировка при заполнении камеры и разгрузки за определённый промежуток времени.  $A$  и  $B$  – ширина и длина камеры (м)  $Vt$  – линейная скорость вывода материала из камеры (м/с) Очевидно плотность  $P(t)$  материала в камере изменяется как по высоте  $H(t)$  так и внутри каждого горизонтального слоя  $z, (z+dz)$  т.е.

$$\gamma = \gamma(x, y, z, t) \quad (4.1)$$

Однако в первом приближении будем считать плотность, зависящей только от  $z$ , т.е. полагаем:

$$\gamma = \gamma(z, t) \quad (4.2)$$

Плотность материала  $\gamma(t)$  является линейной функцией и по высоте  $z(t)$  от дна камеры пропорциональна давлению  $P(z,t)$  вышележащих слоёв:

$$P(z, t) = \gamma_0 + Kp(z, t) \quad (4.3)$$

где  $\gamma_0$  – плотность материала в ненагруженном состоянии;

$P(z, t)$  – давление на слой  $(z, (z+dz))$ ;

В камеру подаётся материал неизменный по свойствам ( $\gamma_0$  и  $K = \text{const}$ ), деформация которого устанавливается мгновенно (релаксация отсутствует). При опускании в камеру материал преодолевает силу трения  $F_0$  стенки, которую можно принять пропорциональной давлению:

$$F_{тр}(z, t) = \mu v p \quad (4.4)$$

где  $\mu$  – коэффициент сопротивления скольжения материала по стенкам бункера;

$v$  – коэффициент (Пуассона) передачи давления.

Выделим из материала в камере слой толщиной  $dz$ , на который действует приращение давления массы и силы трения. Условия равновесия этого слоя характеризуется уравнением:

$$\frac{ABdp(z,t)}{dz} = -AB\gamma(z, t) + 2\mu v p(z, t) \times (A + B) \quad (4.5)$$

Выражая давление  $P(z,t)$  в выражении (4.3) через  $\gamma(z,t)$  и подставляя в (4.5) получим:

$$P(z, t) = \frac{[\gamma(z, t - \gamma_0)]}{K} \quad (4.6)$$

$$\frac{ABdp(z,t)}{Kdz} = \frac{-AB\gamma(z,t) + 2\mu v p(z,t) \times (A+B) \times [\gamma(z,t) - \gamma_0]}{K} \quad (4.7)$$

Для осуществления разработанного способа и технологии получения крученой хлопкольнайной пряжи используется хлопкольнайная ровница.

Получение хлопкольнайной ровницы происходит с использованием разрыхлительно-очистительного агрегата, чесальнай машины для получения хлопкольнайной чесальнай ленты с заданным содержанием хлопка и льна.

Для этого на кипоразборщике устанавливаем кипы с хлопком и льном. После разрыхления, очистки и смешивания волокнистая смесь поступает на чесальную машину.

Полученную чесальную ленту пропускаем через ленточные машины первого и второго перехода.

Полученная со второго перехода лента направляется к ровничнай машине для получения хлопкольнайной ровницы с заданным содержанием хлопка и льна.

Схема технологического процесса получения хлопкольнайной ровницы представлена на рисунке 4.3.



Рис. 4.3. Схема технологического процесса получения хлопкольнайной

Затем полученная ровница (рис. 4.4) поступала на прядильно-крутильную машину ПК-100М, где хлопкольная ровница является одной из стренг для получения крученой пряжи [134-135].



Рис. 4.4. Хлопкольная ровница

#### 4.3. Разработка способа получения хлопкольнаной крученой пряжи

Представленная методика формирования сдвоенной крученой нити на прядельно-крутильной машине включает следующую последовательность операций: выпрядаемой стренге, выходящей из вытяжного прибора машины, сообщается предварительное (ложное) кручение посредством приложения крутящего момента на участке, расположенном между вытяжным прибором и точкой соединения данной стренги, входящей в вершину веретена, со стренгой, сходящей с паковки, вращаемой веретеном, в виде нити. Соединенные стренги затем направляются в осевой канал веретена через его верхний торец. В процессе вращения веретена происходит их совместная крутка в осевом канале с образованием единой крученой нити, которая наматывается на приемную паковку.

В качестве выпрядаемой стренги, покидающей вытяжной прибор машины, используется нить, произведенная из ровницы следующего компонентного состава: хлопковое волокно в количестве от 30% до 60% и котонин (короткие льняные волокна) в количестве от 40% до 70%. Линейная плотность указанной ровницы варьировалась в диапазоне 400 – 627 текс. В качестве второй стренги, сходящей с вращаемой паковки, применяется хлопчатобумажная пряжа с линейной плотностью в пределах 18,5 – 29 текс. В результате указанного технологического процесса формируется хлопкольнаая крученая пряжа с комбинированной линейной плотностью от  $18,5 \times 2$  текс до  $29 \times 2$  текс. Конечный продукт характеризуется содержанием хлопкового волокна от 65% до 80% и котонина в пределах 20% - 35%.

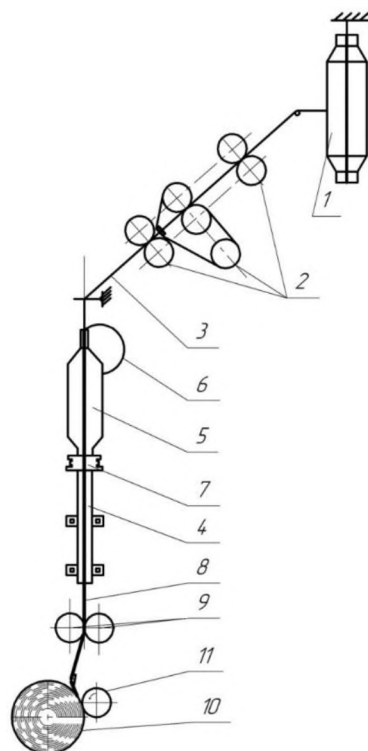


Рис. 4.5. Схема получения хлопкольнай сдвоенной крученой пряжи на прядильно-крутильной машине

Структурная схема процесса формирования хлопкольнай стренги и ее последующего соединения с хлопковой пряжей для получения хлопкольнай крученой пряжи на прядильно-крутильной машине детализирована на рисунке 4.5.

Технологический цикл производства хлопкольнай крученой пряжи характеризуется следующими ключевыми этапами. На стадии подготовки полуфабриката, содержащего котонин, формировалась ровница с параметрами: линейная плотность в диапазоне 400 – 627 текс, при этом компонентный состав волокна включал хлопковое волокно в количестве от 30% до 60% и котонин (короткие льняные волокна) в количестве от 40% до 70%. Полученная ровница последовательно подавалась на прядильно-крутильную машину. В процессе обработки на данном оборудовании осуществлялось формирование хлопкольнай крученой пряжи. Финальный продукт характеризуется следующими показателями: линейная плотность варьируется от  $18,5 \times 2$  текс

до  $29 \times 2$  текс, содержание хлопкового волокна составляет от 65% до 80%, а доля котонина варьируется в пределах 20% - 35%. [134-135].

Формирование крученой сдвоенной хлопкольнай пряжи осуществлялось на прядильно-крутильной машине модели ПК-100. На машине, в частности, в рамке устанавливались катушки с ровницей 1 (см. рис. 4.3), компонентный состав которой включал котонин в количестве от 40% до 70%. Ровница, обладающая линейной плотностью в диапазоне 400 – 627 текс, проходила через вытяжной прибор 2. В результате вытяжки и утонения ровницы формировалась выходящая мычка 3, представляющая собой первую стренгу, с линейной плотностью от 18,5 до 29 текс.

На полое веретено 4 машины (см. рис. 4.5) был установлен початок с хлопчатобумажной пряжей 5, выступающей в роли второй стренги. Данная пряжа была получена на стандартной кольцепрядильной машине. При вращении початка с пряжей 5, сходящая с него баллонизирующая нить 6, вращаясь, увлекает за собой мычку 3. Данное воздействие инициирует вращение мычки 3 вокруг своей оси, тем самым трансформируя ее в пряжу (первую стренгу). Привод веретена осуществляется от барабана посредством тесьмы, охватывающей блочек 7.

В области верхушки веретена происходит процесс сложения выпрядаемой хлопкольнай мычки 3 (первой стренги) и хлопчатобумажной нити 6 (второй стренги), которая сматывается с початка 5. Следовательно, на данном этапе реализуется процесс трощения двух стренг.



Рис. 4.6. Хлопкольнай крученая пряжа

В процессе производства готовой пряжи из хлопкольняной смеси линейной плотности  $18,5 \times 2$  текс –  $29 \times 2$  текс происходит следующее:

1. Строченная нить №8 протягивается через канал веретена №4, которое выполняет функцию вьюрка, с помощью тянущей пары №9, состоящей из цилиндра и прижимного валика.

2. На пути от вершины веретена до тянущей пары две стренги скручиваются в противоположном направлении.

Готовая пряжа наматывается на цилиндрический патрон №10 мотальным механизмом №11.

#### 4.4. Практическое осуществление разработанного способа получения хлопкольняной крученой пряжи

##### Пример 1

На прядильно-крутильной машине модели ПК-100 устанавливается ровница №1 линейной плотности 400 текс, которая имеет крутку 55 кр/м и состоит из 60% хлопка и 40% котонина (короткие льняные волокна). Ровницу заправляют в вытяжной прибор №2. Общая вытяжка в вытяжном приборе составляет 21,63. Число зубьев сменной шестерни — 118 и 41.

В процессе производства пряжи из хлопка линейной плотности 18,5 текс на прядильной машине осуществляется ложное кручение выпрядаемой стренги 3. Для этого к стренге на участке между вытяжным прибором 2 и вершиной веретена 4 прикладывают крутящий момент.

Сходящая с вращаемого веретеном 4 початка 5 стренга 6 в виде нити линейной плотности 18,5 текс соединяется с выпрядаемой нитью 3 линейной плотности 18,5 текс у вершины веретена 4. Затем обе стренги вводятся в осевой канал веретена 4 со стороны его верхнего торца. В осевом канале веретена 4 стренги скручиваются в кручёную нить 8. Полученная кручёная сдвоенная нить 8 линейной плотности  $18,5 \times 2$  текс с круткой 670 кр/м

содержит 20% котонина и 80% хлопка.

### Пример 2

На прядильно-крутильной машине модели ПК-100 устанавливают ровницу 1 (см. рис. 4.5) с линейной плотностью 454 текс, характеризующуюся круткой 52 кр/м и состоящую из 55% хлопка и 45% котонина (короткие льняные волокна). Эта ровница заправляется в вытяжной прибор 2. Общая величина вытяжки в этом приборе составляет 21,63. При этом число зубьев сменной шестерни составляет 118 и 43 соответственно, что обеспечивает нужный режим работы.

Процесс формирования нити включает в себя действие, при котором выпрядаемая стренга 3 подвергается искусственной крутке посредством приложения крутящего момента на участке между вытяжным прибором 2 и вершиной веретена 4. В результате на этом участке происходит формирование ложного кручения. Также, к початку 5, вращающегося вместе с веретеном 4, присоединяется початок 5, с которого выходит стренга 6 в виде нити из хлопка с линейной плотностью 21 текс. Эту нить соединяют с выпрядаемой нитью 3, которая также имеет линейную плотность 21 текс, у вершины веретена 4. Обе стренги вводят в осевой канал веретена 4 со стороны верхнего торца, после чего в веретене 4 происходит их скрутка в крученую нить 8. Полученную нить затем наматывают на приемную паковку 10.

В результате обработки формируется готовая крученая сдвоенная нить 8 с линейной плотностью  $21 \times 2$  текс, обладающая круткой 639 кр/м. Эта нить содержит 22,5% котонина и 77,5% хлопка, что обеспечивает необходимые эксплуатационные и потребительские характеристики готового продукта.

### Пример 3

На прядильно-крутильной машине ПК-100 устанавливают ровницу 1 (рис. 4.5) линейной плотности 476 текс, имеющей крутку 50 кр/м и состоящую из 50 % хлопка и 50 % котонина (короткие льняные волокна), которую

заправляют в вытяжной прибор 2. Общая вытяжка в вытяжном приборе 21,63. При этом число зубьев сменной шестерни - 118 и 44.

Выпрядаемой стренге 3 сообщают ложное кручение путем приложения к ней крутящего момента на участке между вытяжным прибором 2 и вершиной веретена 4. Сходящую с вращаемой веретеном 4 початка 5 стренгу 6 в виде нити из хлопка линейной плотности 22 текс и выпрядаемую нить 3 линейной плотности 22 текс соединяют у вершины веретена 4 и обе стренги вводят в осевой канал веретена 4 со стороны его верхнего торца, скручивают их веретеном 4 в его осевом канале в крученую нить 8 и наматывают последнюю на приемную паковку 10. При этом готовая крученая сдвоенная нить 8 линейной плотности  $22 \times 2$  текс, имеющая крутку 610 кр/м, содержит 25% котонина и 75 % хлопка.

#### Пример 4

Производственный пример 4 рассматривает процесс формирования крученой сдвоенной нити на прядильно-крутильной машине ПК-100 с использованием определенных исходных материалов и параметров.

На данной машине устанавливают ровницу 1 (см. рис. 4.5) с линейной плотностью 519 текс, круткой 48 кр/м, представляющую собой смесь из 45% хлопка и 55% котонина (короткие льняные волокна). После заправки в вытяжной прибор 2 эта ровница подвергается обработке, при которой осуществляется общая вытяжка, равная 21,63. В технологическом механизме задействована сменная шестерня с числом зубьев 118 и 46, что обеспечивает соответствующий режим крутки.

Процесс начинается с воздействия ложного кручения на выпрядаемую стренгу 3, осуществляемого путём приложения крутящего момента в области между вытяжным прибором 2 и вершиной веретена 4. В результате на участке, соединяющем початок 5, вращающийся вместе с веретеном 4, с початком 5, формируется стренга 6, представленная в виде нити из хлопка с линейной плотностью 24 текс. Одновременно с этим к выпрядаемой нити 3, тоже

имеющей линейную плотность 24 текс, происходит соединение в области у вершины веретена 4.

Оба волокнистых потока вводятся в осевой канал веретена 4 со стороны его верхнего торца, после чего в самом веретене 4 — под действием его вращения — происходит их скрутка, результатом чего является получение крученой нити 8. Готовая нить затем накатывается на приемную паковку 10.

В итоговом виде образуется крученая сдвоенная нить 8 с линейной плотностью  $24 \times 2$  текс, обладающая круткой 597 кр/м. В состав этой нити входит 27,5% котонина и 72,5% хлопка, что обеспечивает характеристики, необходимые для дальнейшей переработки и потребительских требований.

#### Пример 5

В рамках процесса прядения на прядильно-крутильной машине ПК-100 осуществляется установка ровницы 1 (см. рис. 4.5), характеризующейся линейной плотностью 540 текс, а также круткой 47 кр/м. В качестве исходного сырья используется смесь, содержащая 40 % хлопка и 60 % котонина (короткие льняные волокна). Указанная ровница заправляется в вытяжной прибор 2 для последующего механического воздействия. Общая степень вытяжки, достигаемая в данном приборе, составляет 21,63. В системе установлено соотношение зубьев сменной шестерни, равное 118 и 49, что обеспечивает соответствующий режим передачи механической энергии.

На участке между вытяжным прибором 2 и вершиной веретена 4 осуществляется воздействие на выпрядную стренгу 3 с целью введения ложного кручения. Для этого к стренге прикладывают крутящий момент, что позволяет моделировать изменение крутки в процессе прядения. Сходящая с вращаемого веретена 4 початка 5 стренга 6, выполненная в виде хлопчатобумажной нити с линейной плотностью 25 текс, соединяется у вершины веретена 4 с выпряденной нитью 3, также обладающей линейной плотностью 25 текс. Оба волокна вводятся в осевой канал веретена 4 со стороны его верхнего торца, после чего посредством вращения веретена 4 в его осевом канале они скручиваются в крученую нить 8.

Полученная крученая нить 8, имеющая линейную плотность  $25 \times 2$  текс и крутку 561 кр/м, наматывается на приемную паковку 10. Анализируемая нить характеризуется содержанием 30 % котонина и 70 % хлопка, что определяет её механические свойства и технологические параметры. Таким образом, описанный процесс позволяет осуществлять контроль за уровнем крутки и состава нити, обеспечивая заданные характеристики конечного продукта.

#### Пример 6

В процессе прядения на прядильно-крутильной машине ПК-100 осуществляется установка ровницы 1 (см. рис. 4.5), обладающей линейной плотностью 584 текс и круткой 45 кр/м. В качестве исходного сырья применяется смесь, содержащая 35 % хлопка и 65 % котонина (короткие льняные волокна). Указанная ровница заправляется в вытяжной прибор 2, в котором достигается общая степень вытяжки, равная 21,63. В системе используется сменная шестерня с числом зубьев 118 и 50, что обеспечивает необходимую передачу механической энергии в процессе прядения.

На участке между вытяжным прибором 2 и вершиной веретена 4 осуществляется воздействие на выпрядную стренгу 3 с целью введения ложного кручения. Для этого к стренге прикладывают крутящий момент, что позволяет моделировать изменение крутки в процессе прядения. В то же время, початок 5, вращающийся вместе с веретеном 4, соединяется у вершины веретена с стренгой 6, выполненной в виде хлопчатобумажной нити с линейной плотностью 27 текс. Выряденная нить 3 и початок 5 соединяются у вершины веретена 4, после чего оба волокна вводятся в осевой канал веретена 4 со стороны его верхнего торца.

Затем оба волокна скручиваются в осевом канале веретена 4 в крученую нить 8 посредством вращения веретена. Полученная крученая нить 8 имеет линейную плотность  $27 \times 2$  текс и крутку 549 кр/м. После этого готовая нить наматывается на приемную паковку 10. В составе конечного продукта нить

содержит 32,5 % котонина и 67,5 % хлопка, что влияет на её механические свойства и технологические показатели.

Данный технологический процесс обеспечивает контроль за уровнем крутки и составом нити, что является важным для получения продукции с заданными характеристиками.

#### Пример 7

В данном технологическом процессе на прядильно-крутильной машине ПК-100 устанавливается ровница 1 (см. рис. 4.5) с линейной плотностью 627 текс и круткой 40 кр/м. В качестве сырья используется смесь, содержащая 30 % хлопка и 70 % котонина (краткие льняные волокна). Ровница заправляется в вытяжной прибор 2, в котором достигается общая вытяжка 21,63. В системе установлено число зубьев сменной шестерни 118 и 52, что обеспечивает нужный режим передачи механической энергии.

На участке между вытяжным прибором 2 и вершиной веретена 4 выпрядная стренга 3 подвергается воздействию ложного кручения путем приложения крутящего момента, что позволяет регулировать уровень крутки нити. Сходящая с вращаемого веретена 4 початка 5, выполненная из хлопковой нити с линейной плотностью 29 текс, соединяется у вершины веретена с выпряденной нитью 3, которая также имеет линейную плотность 29 текс. Эти два волокна вводятся в осевой канал веретена 4 со стороны его верхнего торца.

Затем оба волокна скручиваются в осевом канале веретена 4 вращением веретена и образуют крученую нить 8. Полученная нить имеет линейную плотность  $29 \times 2$  текс и крутку 528 кр/м. После скручивания нить наматывается на приемную паковку 10.

Конечная крученая сдвоенная нить содержит 35 % котонина и 65 % хлопка, что влияет на её механические свойства и технологические параметры. Этот процесс позволяет точно регулировать параметры нити для получения продукции с заданными характеристиками.

#### 4.5. Практическое использование хлопкольнайной крученой пряжи для изготовления ткани различного назначения

Полученная согласно разработанному способу хлопкольнайная крученая пряжа была использована в качестве основы и утка при производстве ткани для рабочей одежды [135-137].

Полученная в производственных условиях хлопкольнайная крученая пряжа может быть использована в качестве основы и утка при производстве ткани для рабочей одежды, при производстве ткани костюмной, полотна простынного, ткани портьерной и парусины, трикотажа, что значительно расширяет ассортимент выпускаемых тканей, трикотажа и т.д.

На рисунке 4.6 представлена хлопкольнайная крученая пряжа и ткань джинсовая, полученная с использованием хлопкольнайной крученой пряжи.

На рисунке 4.7 представлен образец ткани портьерной комбинированного переплетения, полученной с использованием в качестве основы хлопковой пряжи 25 текс, а в качестве утка - хлопкольнайной крученой сдвоенной нити линейной плотности  $21 \times 2$  текс, содержащей 22,5% котонина и 77,5% хлопка. Ткань портьерную изготавливали на ткацком станке СТБ-180.



Рис. 4.7. Ткань портьерная комбинированного переплетения

Количество нитей по основе в готовой ткани составило 210 нитей на 10 см, по утку - 160 нитей на 10 см. Ткань выполнена комбинированным переплетением. Ввиду того, что смесовая уточная нить получена из одиночных льняных волокон согласно разработанному способу, она не содержала костру, а также имела незначительное содержание сорных примесей, это привело к улучшению процесса ткачества и к повышению производительности ткацкого оборудования.

Исследования разрывной нагрузки полоски ткани 50×200 мм показали следующие значения: по основе 50 Н, по утку 64 Н.

Данный пример использования хлопкольняной крученой пряжи для изготовления ткани портьерной дали основание для получения тканей другого назначения. Данное направление использования хлопкольняной крученой пряжи подтвердило свою перспективность. Оно представляет большой интерес для производителей, т.к. направлено на расширение ассортимента тканей с различным содержанием хлопковых льняных волокон и различного назначения.

#### 4.6. Выводы по главе

1. Разработаны способ и технологический процесс получения хлопкольнай крученой пряжи различной линейной плотности и различного содержания льняных волокон.

2. В производственных условиях получен образец ткани портьерной комбинированного переплетения, в которой в качестве основы использована хлопковая пряжа 25 текс, а в качестве утка - хлопкольнай крученая пряжа линейной плотности  $21 \times 2$  текс, содержащая 22,5% котонина и 77,5% хлопка.

3. Использование хлопкольнай крученой пряжи с различным содержанием льняных волокон значительно расширяет ассортимент ткани и области ее назначения.

## **5. РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ПРОТЕКАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПОЛУЧЕНИЯ ТЕКСТИЛЬНОЙ ПРОДУКЦИИ**

### **5.1. Разработка устройства для регулирования параметра натяжение нити**

Согласно проведённым исследованиям, Россия входит в десятку крупнейших стран-производителей трикотажного полотна и трикотажных изделий в мире и занимает седьмое место по объёму производства. Российский рынок показывает стабильный рост, более 10 % в год [142, 145]. Благодаря ряду преимуществ трикотажные полотна вытесняют ткани с рынка текстильной продукции. Всё чаще появляются композиционные материалы, изготавливаемые с применением трикотажных структур. Такое стремительное развитие трикотажа во многом стало возможным благодаря современному оборудованию появившимся на рынке.

Изготовление трикотажных полотен — это сложный технологический процесс, успешность течения которого обусловлена многими факторами, влияющими на ход процесса петлеобразования. К ним относятся: взаимное расположение петлеобразующих органов; натяжение нити; надёжность захвата нитей органами машины при прокладывании и т. д. [143,145].

Из перечисленных факторов натяжение нити является фактором, оказывающим наибольшее влияние и сложно контролируемым. Натяжение нити оказывает влияние на геометрию петли в полотне, его напряжённость, износ рабочих органов и надёжность оборудования. Обеспечению постоянного натяжения в процессе вязания посвящено большое количество работ. Разработаны разнообразные конструкции систем по автоматическому регулированию натяжения нити. Наибольшее распространение получил тарельчатый нитенатяжной прибор и его модификации [144, 145]. Однако, с увеличением производительности трикотажных машин данный прибор

перестал удовлетворять производителей трикотажных машин. Поэтому большинство современных трикотажных машин работает с системой активной подачи нити в зону вязания при помощи фурнизеров различных типов и конструкции.

Принцип работы приборов с активной нитеподачей, заключается в обеспечении постоянства отношения, скорости подачи нити к скорости потребления вязальным устройством. Такое решение должно было обеспечить постоянство натяжения нити, однако обрывы, сбрасывание полотна и остановки из-за поломок игл остались, хотя их вероятность уменьшилась. Анализ режимов работы и настройки кругловязальных машин фирмы Mayer Relanit 3.2 HS, установленных на ООО МИРтекс, позволило предположить причину изменения натяжения нити.

Основной причиной вынужденных остановов трикотажных машин является обрыв нити. Обрывность напрямую зависит от натяжения нити, которая оказывает существенное влияние на правильность взаимодействия крючков, игл и нитей.

На кругловязальных машинах может быть установлено до 102 систем вязания, поэтому обеспечить индивидуальный привод к каждому фурнизеру не представляется возможным и движение передаётся через общий зубчатый ремень. Такая конструкция не позволяет обеспечить одинаковую подачу нити ко всем системам вязания.

Конструкция систем вязания позволяет производить регулирование количества нити, потребляемой каждой системой. В процессе работы настройка некоторых систем сбивается и с каждым циклом вязания система начинает потреблять больше нити, что приводит к постепенному увеличению натяжения нити от цикла к циклу, так как отношение скоростей подачи и потребления изменяется. Постепенно увеличивающееся натяжение нити в итоге приводит к останову машины по той или иной причине.

Для своевременного обнаружения рассогласования скоростей системы питания и потребления необходимо оснастить фурнизеры системой контроля

натяжения нитей. С целью организации контроля натяжения нити разработана модернизированная конструкция нитеподающего устройства, приведённая на рисунке 5.1.

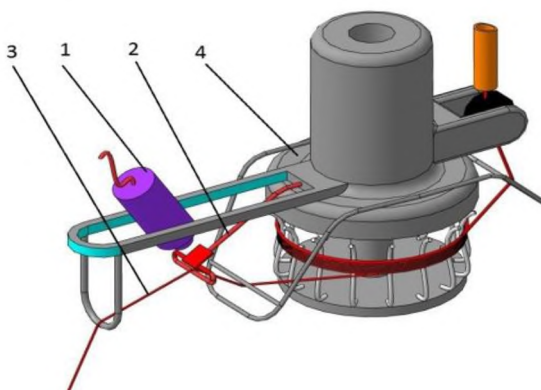


Рис. 5.1. Нитеподающих фурнизер с оптическим датчиком

В конструкцию входит оптический датчик 1, консоль 2 регистрирующая натяжение нити 3, выдаваемой фурнизёром 4. Данная система позволит регистрировать натяжение каждой отдельной нити и заранее предупреждать оператора о необходимости произвести регулирование работы системы вязания.

## 5.2. Экспериментальные исследования определения обрывности при сматывании

Подготовка нитей к ткачеству является связующим технологическим звеном между производством нитей и изготовлением ткани. Выработка трикотажных полотен — это сложный технологический процесс, успешность течения которого обусловлена многими факторами, влияющими на ход процесса петлеобразования. Одним из наиболее важных факторов, определяющим качество вырабатываемого полотна, является натяжение нитей [146,148].

Обрывность нитей в ткачестве может служить одним из важных показателей уровня технологии и организации производства. Большая обрывность нитей ухудшает качество продукции и приводит к вынужденным остановкам трикотажных машин. Обрыв нити в сновании значительно снижает производительность машины, так как обрыв одной нити вызывает прекращение процессов, происходящих на других нитях. Работница затрачивает много времени на ликвидацию каждого обрыва нити [147,148].

С целью установления влияния натяжения нити и скорости сматывания на обрывность была проведена постановка двухфакторного эксперимента. В качестве параметра оптимизации выступала обрывность нити, а в качестве определяющих факторов – скорость сматывания и натяжение нити. Испытание проводилось на х/б пряже плотностью 25 текс. Результаты испытаний представлены в таблице 5.1, графическая интерпретация результатов приведена на рис. 5.2

Таблица 5.1.

Результаты испытаний х/б пряжи

Параметры	Расчетные значения		
	Натяжение нити 1 грамм		
Скорость сматывания	600	700	800
Обрывность нити	51,52	58,24	67,2
	Натяжение нити 2 грамма		
Скорость сматывания	600	700	800
Обрывность нити	46	52	60
	Натяжение нити 3 грамма		
Скорость сматывания	600	700	800
Обрывность нити	55,2	62,4	72
	Натяжение нити 4 грамма		
Скорость сматывания	600	700	800
Обрывность нити	67,4	75,8	87

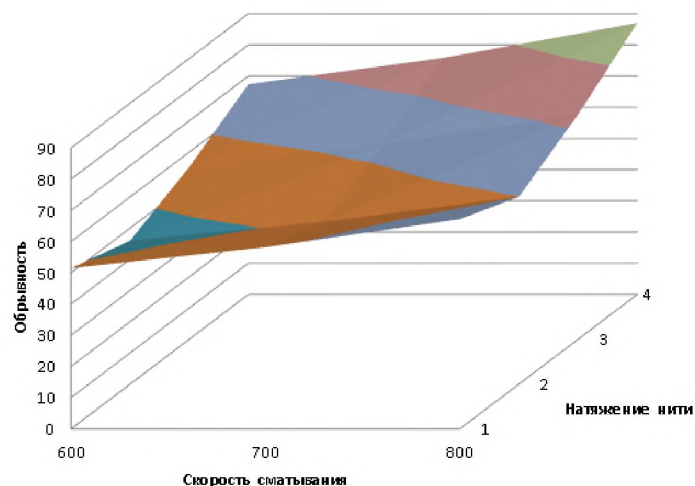


Рис. 5.2. Диаграмма изменения обрывности нити

На основании полученных результатов можно сделать вывод о линейной зависимости обрывности от скорости сматывания и нелинейной зависимости от натяжения нити. Следует отметить, что натяжение нити оказывает большее влияние на обрывность при натяжениях свыше 2-х грамм, поэтому важно обеспечить надёжность работы нитенатяжных устройств для поддержания высокой производительности оборудования.

### 5.3. Исследование требований и характеристик систем автоматического регулирования натяжения нити

Для определения оптимальных параметров и функциональных возможностей этих систем автоматического регулирования натяжения нити был проведен анализ требований и характеристик этих систем. На основе анализа и выявления основных требований к системам автоматического регулирования натяжения нити, а также исследования ключевых характеристик таких систем, можно разработать и внедрить эффективные системы, способные обеспечивать стабильное натяжение нити в различных промышленных процессах. В исследовании поставлена задача выявления факторов, влияющих на качество и производительность систем регулирования

натяжения, и выработка практических рекомендаций по их улучшению с целью повышения эффективности производства и улучшения качества конечной продукции.

Для достижения поставленной цели – определения оптимальных параметров и функциональных возможностей систем автоматического регулирования натяжения нити - необходимо провести более подробный анализ и исследование каждого из установленных требований. Это включает в себя более детальное рассмотрение различных типов нити и материалов, анализ влияния скорости производства на регулирование натяжения, разработку точных алгоритмов управления, а также оценку степени интеграции с смежными системами (рис. 5.3).

Кроме того, необходимо провести сравнительный анализ существующих технологий и систем на рынке, чтобы выявить лучшие практики и возможности для оптимизации системы. Это позволит определить оптимальные параметры работы системы, которые могут варьироваться в зависимости от конкретных потребностей предприятия [149,150].

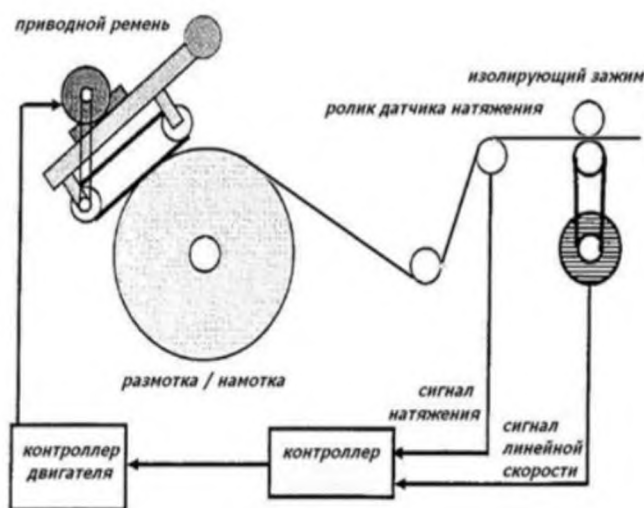


Рис. 5.3. Структурная схема системы автоматического контроля

Определение требований к системам автоматического регулирования натяжения нити является критически важным этапом в разработке эффективных систем, способных обеспечивать стабильное и надежное натяжение нити в промышленных процессах. Основные требования включают в себя учет типа нити и материала, скорости производства, точности и стабильности натяжения, а также интеграции с другими системами и управляемость. Эти требования обеспечивают необходимость адаптации системы к конкретным условиям производства и гарантируют высокое качество производства при минимизации отходов и повышении безопасности рабочей среды.

Анализ и определение требований к системам автоматического регулирования натяжения нити позволяют разработчикам создавать решения, наиболее эффективно отвечающие потребностям конкретной промышленной сферы и обеспечивающие непрерывную и стабильную работу в процессе производства. [152,153] Это, в свою очередь, способствует повышению качества продукции, увеличению производительности и снижению эксплуатационных затрат, что делает такие системы неотъемлемой частью современных производственных процессов. Сравнительный анализ существующих технологий автоматического регулирования натяжения нити представляет собой ключевой этап при определении оптимальных параметров и функциональных возможностей таких систем.

Ниже рассмотрены основные аспекты сравнительного анализа:

– анализ существующих технологий позволяет выявить различные типы датчиков, используемых для измерения натяжения нити. Среди них могут быть датчики натяжения, ультразвуковые, оптические, механические и другие. Оценка их эффективности и точности является важным аспектом сравнительного анализа;

– сравнение различных алгоритмов управления, используемых в существующих системах, позволяет определить, какие из них обеспечивают наилучшую стабильность и реакцию на изменения натяжения нити. Это может

включать в себя пропорционально интегрально-дифференциальные (ПИД) регуляторы, адаптивные алгоритмы и другие методы;

- возможность интеграции существующих систем автоматического регулирования натяжения с другими устройствами и программными решениями в производственном процессе. Это позволит снизить сложность обновления и управления;

- анализ надежности существующих систем включает оценку истории отказов, а также меры, принимаемые для обеспечения безопасности операторов и процессов;

- сравнение производительности различных технологий в различных условиях производства позволяет определить, какие системы обеспечивают наилучшую эффективность и экономическую выгоду;

- оценка затрат на внедрение и обслуживание различных технологий помогает определить оптимальное решение с точки зрения финансов.

Сравнительный анализ существующих технологий автоматического регулирования натяжения нити позволяет выявить преимущества и ограничения различных подходов. Проведенный анализ позволяет определить оптимальные параметры и функциональности для разрабатываемой системы, что в конечном итоге способствует достижению поставленной цели - обеспечению стабильного и высококачественного регулирования натяжения нити в промышленных процессах [154-157].

Статистика учета простоев станков на предприятиях текстильной промышленности показывает, что 28 % простоев вызвано обрывами нити, а также поломками, из-за переизбыточного натяжения, в паре игла-клин. Решение задач минимизации простоев и поломок данных частей оборудования, возможно получить путем автоматического регулирования натяжения нити [150, 158].

Исследование требований и характеристик систем автоматического регулирования натяжения нити представляет собой критически важный этап в разработке и внедрении таких систем в промышленных процессах. В данной

статье были рассмотрены ключевые аспекты, которые следует учитывать при определении оптимальных параметров и функциональных возможностей систем автоматического регулирования натяжения нити.

Системы автоматического регулирования натяжения нити играют важную роль в обеспечении качества продукции, увеличении производительности, сокращении расходов на материалы и обеспечении безопасности производственных процессов. Они способны адаптироваться к разным типам нити и материалам, обеспечивая стабильное натяжение на высокой скорости производства. Кроме того, системы автоматического регулирования могут интегрироваться с другими системами и предоставлять операторам удобные средства управления и мониторинга. Правильное определение требований и характеристик системы является основой для успешной реализации проекта по автоматическому регулированию натяжения нити. Оно позволяет создать систему, которая соответствует уникальным потребностям производства, обеспечивая стабильное и высококачественное производство. Важно также обратить внимание на надежность и безопасность системы, чтобы избежать аварийных ситуаций и снизить риски для операторов.

#### 5.4. Разработка технологии регенерации волокон из текстильных отходов

Выпуск высококачественного регенерированного волокна немыслим без надлежащей организации технологического процесса и применения современного оборудования. Полный технологический цикл, связанный с производством регенерированных волокон из текстильных отходов, включает в себя несколько ключевых этапов: прием и контроль качества поступившего сырья, сортировка данного сырья согласно видам материалов, удаление фурнитуры и мелких деталей, процесс получения регенерированных волокон, а также последующее прессование, маркировка и упаковка, складирование и формирование товарных партий, и хранение готовой продукции [159-160].

На рисунке 5.4 представлены текстильные отходы в виде кип. Схема технологической линии, разработанной для извлечения одиночных волокон, изображена на рисунке 5.5. Этап рассортировки сырья по типам материалов занимает важное место в технологическом процессе, касающемся производства регенерированных волокон, так как качество проведенной сортировки напрямую влияет на конечное качество получаемых регенерированных волокон [159-160].

Основной процесс разделения отходов на отдельные волокна и комплексы волокон осуществляется на многобарабанных щипальных машинах (рис. 5.6). После многобарабанной щипальной машины регенерированные волокна поступают через трубопровод на пресс для формирования кип [159-160].

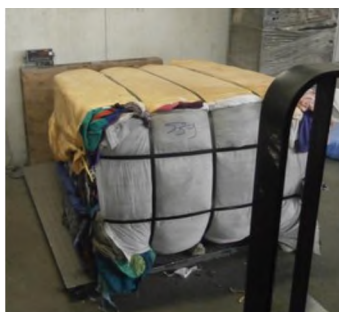


Рис. 5.4. Текстильные отходы в кипах

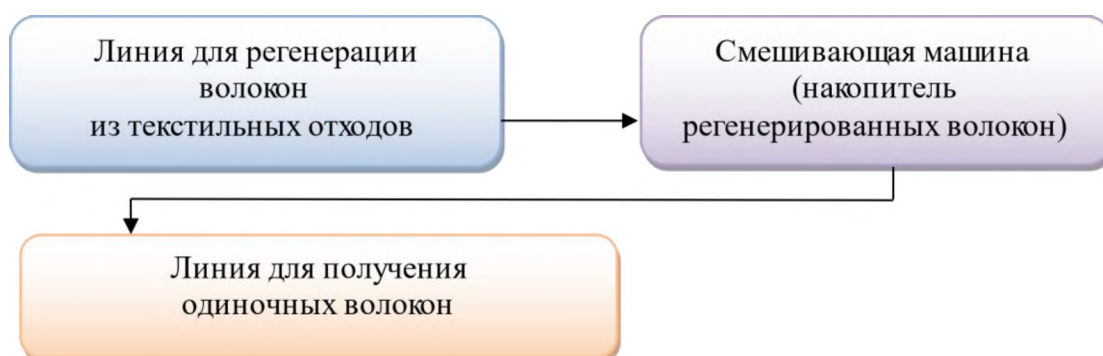


Рис. 5.5. Схема разработанной технологической линии для получения одиночных волокон



Рис. 5.6. Многобарабанная щипальная машина

Как представлено на рисунке 5.5, в нашем случае процесс формования кип был исключен из технологической линии, и после завершения этапа регенерации волокна направляются на смешивающую машину для накопления полученных регенерированных волокон. Далее, с целью повышения качества регенерации волокон, волокнистая масса, содержащая отдельные волокна и комплексы волокон, передается на специально разработанную нами технологическую линию для выделения одиночных волокон.

#### 5.5. Теоретические исследования процесса удаления непрядных частиц на технологической линии для получения одиночных волокон

Для достижения максимального расщепления волоконных комплексов и извлечения одиночных волокон из текстильных отходов, в технологической линии была усилена работа приемного узла путем установки последовательного и горизонтального расположения пильчатых барабанов. Этот подход обеспечивает эффективное разделение и улучшает качество получаемого сырья.

Сверху и снизу пильчатых барабанов расположены сороотбойные ножи и вытяжной канал для непрерывного удаления непрядомых частиц, выделяемых из волокнистой массы. Количество выделяемых непрядомых

частиц зависят от местонахождения сороотбойных ножей и разводкой между сороотбойными ножами и рабочими пальчатыми барабанами.

Для определения оптимального местонахождения сороотбойных ножей и разводки между ними и рабочими пальчатыми барабанами были проведены теоретические исследования, результатом которых явилась математическая модель для расчета траекторий движения непрядомых частиц после их взаимодействия с зубьями гарнитуры пальчатых барабанов разработанного оборудования [159-160].

Выполнено построение математической модели для расчета траекторий движения непрядомых частиц после их взаимодействия с зубьями гарнитуры пальчатых барабанов, для чего была рассмотрена методика определения спектра скоростей воздушных потоков, возникающих в результате вращения пальчатого барабана [159-160].

Комплексная скорость движения непрядомой частицы от начальной точки до конечной рассчитывается по формуле:

$$\frac{dw}{dz} = u_x - i v_y = v_\infty \left( 1 - \frac{R_{пб}^2}{z^2} \right) - \frac{\Gamma_T}{2\pi iz},$$

где  $v_\infty$  - скорость набегающего на пальчатый барабан потока;

$R_{пб}$  - радиус пальчатого барабана;

$$z = x + iy;$$

$u_x$  и  $v_y$  - скорости сорной частицы в начальной и конечной точках.

Циркуляцию скорости воздушного потока по замкнутому контуру обозначим через  $\Gamma$ . В данном случае знак величины  $\Gamma$  зависит от направления обхода контура и за положительное направление обхода выбирается направление против часовой стрелки. При совпадении направления обхода контура с направлением проекции скорости на ориентированный элемент контура величина будет положительной. Модуль величины  $\Gamma$  обозначим через  $\Gamma_T$ . Тогда при отрицательной циркуляции (то есть при вращении потока по часовой стрелке) значение циркуляции  $\Gamma = - \Gamma_T$ . [501, с. 1]

Приравнивая к нулю комплексную скорость, получаем уравнение:

$$v_{\infty} z^2 - \frac{\Gamma_T}{2\pi i} z - v_{\infty} R_{n\delta}^2 = 0.$$

Решением этого уравнения являются следующие два числа:

$$(z_k)_{1,2} = \frac{1}{2v_{\infty}} \left( \frac{\Gamma_T}{2\pi i} \pm \sqrt{-\frac{\Gamma_T^2}{4\pi^2} + 4v_{\infty}^2 R_{n\delta}^2} \right).$$

Преобразовывая полученное соотношение, имеем следующие зависимости для координат критических точек

$$(z_k)_{1,2} = \pm \frac{1}{2v_{\infty}} \sqrt{-\frac{\Gamma_m^2}{4\pi^2} + 4v_{\infty}^2 R_{n\delta}^2} - \frac{\Gamma_m}{4\pi v_{\infty}} i.$$

Обозначим

$$C_R = \frac{1}{2v_{\infty}} \sqrt{-\frac{\Gamma_m^2}{4\pi^2} + 4V_{\infty}^2 R_{n\delta}^2};$$

$$C_I = \frac{\Gamma_m}{4\pi V_{\infty}},$$

тогда

$$(z_k)_{1,2} = \pm C_R - i C_I$$

или

$$z_{k,1} = C_R - i C_I;$$

$$z_{k,2} = -C_R - i C_I.$$

Точки  $z_{k1}$  и  $z_{k2}$  моделируют начальную и конечную координату дуги окружности пильчатого барабана, которая проходит по кончикам зубьев открытой пильчатой поверхности в зоне сорыва деления.

Таким образом, получена математическая модель и аналитические зависимости для расчета скоростей воздушного потока, увлекаемого вращением пильчатого барабана.

Следует отметить, что количество выделяемых непрядомых частиц зависят от местонахождения сороотбойных ножей и разводки между сороотбойными ножами и рабочими пильчатыми барабанами.

После разрыхления волокнистого материала в зоне пильчатых барабанов происходит съём волокон воздушным потоком и движение их в камере рассортировки к зонам формирования слоя, состоящего из одиночных волокон, и слоя, состоящего из комплексов волокон [159-160].

Слой, состоящий из одиночных волокон, направляется на технологическую линию для изготовления нетканых материалов, а слой, состоящий из комплексов волокон, - на повторное разрыхление с целью получения одиночных волокон.

Таким образом, благодаря разработанной технологической линии для получения одиночных волокон обеспечивается поступление на чесальную машину только одиночных волокон. Полученный на чесальной машине прочес, состоящий из одиночных волокон, можно использовать для получения новых видов более качественных текстильных материалов.

#### 5.6. Технологический процесс изготовления волокнистого холста для композиционного материала

Полученные регенерированные волокна были использованы для изготовления многокомпонентного композиционного материала вязально-прошивным способом.

Технологический процесс получения волокнистого холста для многокомпонентного композиционного материала вязально-прошивным способом осуществляется следующим образом.

Регенерированные одиночные волокна после разработанной технологической линии для получения одиночных волокон поступают в смеситель непрерывного действия СН-3У, который предназначен для сбора и

передачи волокнистого материала через трубопровод в бункер чесальной машины ЧММ-14Н.

На малогабаритной чесальной машине ЧММ-14Н происходит переработка отходов и получение прочеса. Она установлена в чесально-вязальном агрегате АЧВ-3 для получения нетканого материала.

Кроме того, в состав чесально-вязального агрегата АЧВ-3 входит преобразователь прочеса ПП-180 и вязально-прошивная машина ВП-3.

На преобразователе прочеса ПП-180 происходит получение волокнистого холста необходимой толщины и ширины посредством многократного сложения элементарной ватки-прочеса, снимаемой со съемного барабана чесальной машины [159-160].

#### 5.7. Разработка технологии изготовления многокомпонентных волокнистых материалов из регенерированных волокон

Полученный на преобразователе прочеса волокнистый холст с заданными параметрами, такими как поверхностная плотность и ширина, направляется на транспортер для последующего сложения с текстильными материалами (такими как ткань, трикотаж, спанбонд) с целью формирования многослойного материала. Этот многослойный состав включает в себя два слоя армирующего материала, расположенных сверху и снизу холста.

Собранный многослойный материал затем передается на вязально-прошивную машину. Вязально-прошивная машина предназначена для прошивания трехслойного материала нитями, что дает возможность получить многокомпонентный композиционный материал.

Волокнистый холст 1 (рис. 5.7) с выходного преобразователя прочеса подается питающим конвейером 2 к системе петлеобразования между неподвижной нижней (отбойной) платиной 3 и верхней подвижной платиной 4 вязально-прошивной машины модели ВП-3. Пазовые иглы 5, находящиеся между платинами, в процессе их движения снизу вверх протыкают холст, а в

крайнем верхнем положении на них прокладываются ушковыми 8 провязывающие нити, которые подаются с навоев 12 через скала 11, нитеразделяющую рамку 10 и ламели 9 системы автоматического останова, предотвращающей дальнейшую работу машины при обрыве одной из провязывающих нитей. При движении сверху вниз пазовые иглы протаскивают провязывающие нити через холст, формируя его основовязанным переплетением [159-160].

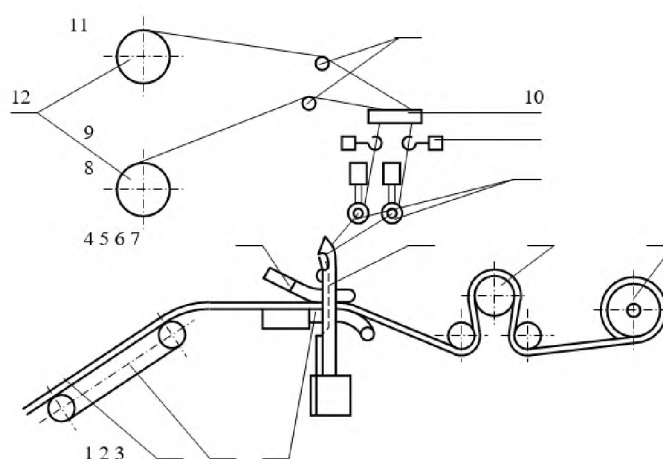


Рис. 5.7. Технологическая схема вязально-прошивной машины до модернизации

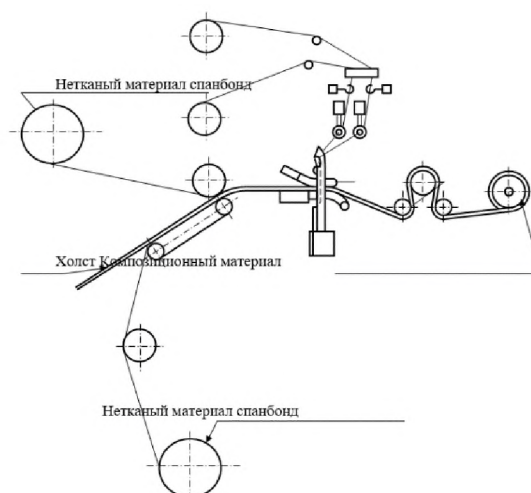


Рис. 5.8. Схема технологического процесса изготовления многокомпонентного волокнистого материала

Верхняя подвижная платина 4 служит для удержания холста от подъема в процессе его прокалывания пазовыми иглами, что обеспечивает успешное выполнение операции заключения. В то же время нижние неподвижные пластины предохраняют холст от опускания во время протаскивания провязывающих нитей, тем самым способствуя реализации различных операций, таких как нанесение, кулирование, соединение, сбрасывание и формирование. Готовый продукт оттягивается валом 6 и наматывается в рулон 7.

В рамках создания многокомпонентного волокнистого материала из текстильных отходов была проведена модернизация зоны подачи нетканого материала спанбонда на вязально-прошивной машине.

В этой зоне были дополнительно установлены два кронштейна со спанбондом, предназначенные для армирования, а также вспомогательные валики, которые обеспечивают подачу спанбонда в область сложения с холстом. Данные модификации позволяют одновременно с подачей холста подавать два слоя спанбонда для армирования, поступающие со свободно вращающихся рулонов, размещенных на кронштейнах, которые установлены сбоку от преобразователя прочеса (П.2).

Таким образом, полученный трехслойный материал, состоящий из холста необходимой толщины и ширины, формируется посредством многократного сложения элементарного прочеса, извлекаемого со съемного барабана чесальной машины, и двух слоев спанбонда для армирования, после чего он направляется в зону прошивания.

Волокнистый холст и два слоя спанбонда соединяются методом вязально-прошивного соединения, что приводит к получению готового композиционного материала, который затем наматывается в рулон. Схема технологического процесса формирования многокомпонентного волокнистого материала из текстильных отходов после проведения модернизации представлена на рисунке 5.8 (П.3).

Полученный многокомпонентный волокнистый материал находит применение в производстве мебели, строительстве и при изготовлении рабочей одежды и т. д.

#### 5.8. Разработка технологии получения новых видов материалов для строительной отрасли с использованием регенерированных волокон из текстильных отходов

Разработанные нами технологические линии обеспечивают возможность использования в них в качестве сырья отходов тканей, нитей, веревок, ковровых покрытий, мешков и т.д., состоящих из химических волокон текстильной промышленности, а также возможность получения новых видов текстильных материалов. Полученные на таких технологических линиях текстильные материалы по структуре и назначению аналогичны материалу, применяемому в строительстве для тепло- и звукоизоляции. Преимуществом разработанных текстильных материалов является, что в качестве сырья используются регенерированные волокна, что значительно снижает себестоимость продукции [159-161].

Так разработанный текстильный материал состоит из двух слоев нетканого материала спанбонд и расположенного между ними нетканого материала, состоящего из регенерированных волокон. Данный материал предназначен для тепло- и звукоизоляции в строительстве.

Технологический процесс получения армированного нетканого материала для тепло- и звукоизоляции начинается с технологического процесса получения регенерированных волокон из отходов тканей, нитей, веревок, ковровых покрытий, мешков и т.д., состоящих из химических волокон [159-160].

Регенерированные волокна подаются в смеситель непрерывного действия. Накопленные в смесителе непрерывного действия

регенерированные волокна подаются в оборудование для дополнительного разрыхления, рассортировки волокон, их распределения и транспортировки. Данное оборудование обеспечивает выделение из волокнистой смеси одиночных регенерированных волокон и комплексов волокон. Одиночные волокна из оборудования для дополнительного разрыхления, рассортировки волокон, их распределения и транспортировки направляются в бункер дозатора смесителя для смешивания с бикомпонентными волокнами. Далее смесь поступает в бункер чесальной машины для получения настила с последующим получением холста определенной ширины и поверхностной плотности на преобразователе прочеса. А комплексы волокон направляются на повторное разрыхление для получения одиночных волокон в многобарабанной щипальной машине с последующим возвращением их на оборудование для дополнительного разрыхления, рассортировки волокон, их распределения и транспортировки [159-160].

Затем холст, состоящий из одиночных регенерированных и бикомпонентных волокон, подается в термокамеру для получения нетканого материала способом термоскрепления. Далее полученный таким образом нетканый материал и спанбонд с нанесенным на него клеем подаются на оборудование для их соединения. Затем аналогично происходит соединение второго слоя спанбонда с нанесенным клеем с целью получения трехслойного армированного материала для тепло- и звукоизоляции.

Для дополнительной фиксации трехслойного армированного материала он поступает в зону сушки сушильной машины, имеющей перфорированный барабан и транспортирующую плоскую ленту.

Таким образом, разработанный технологический процесс изготовления армированного нетканого материала для тепло- и звукоизоляции представляет собой непрерывную технологическую линию, которая обеспечивает более рациональное использование сырья, более современный уровень производства текстильной продукции, а также расширение области применения новых видов текстильной продукции.

Кроме того, наши разработки помогут бизнесу занять новые рыночные ниши, организовать производство новых материалов, востребованных в строительной отрасли [159-161].

#### 5.9. Оценка экономической эффективности предприятия по производству многокомпонентного волокнистого материала с использованием регенерированных волокон

Составляем производственную программу цеха по производству многокомпонентного волокнистого материала с использованием регенерированных волокон, согласно которой определяются объём выпускаемой продукции, количество работающего и заправленного оборудования.

Таблица 5.2

#### Производственная программа цеха по производству многокомпонентного волокнистого материала с использованием регенерированных волокон

Плотность, г/м <sup>2</sup>	Марка машины	Заправлено оборудования		Число часов работы за год	Машино-часы в заправке ч.	КР О	Машино-часы в работе, ч.
		Кол-во машин	Выпуск в на машине				
1	2	3	4	5	6	7	8
Композиционный материал плотность 180 г/м <sup>2</sup>	Чесальная машина ЧММ-14Н	2	1	6212	6212	0,93	5777

Таблица 5.3 - Баланс сырья

Поступило в производство				Получено из производства				
Вид сырья	Количество, кг	Цена за 1 кг, руб.	Сумма, тыс. руб.	Вид сырья	Количество		Цена за 1 кг, руб.	Сумма, тыс. руб.
					%	кг		
Регенерированное волокно	262842	26,0	6833,892	Продукция	91,7	241026	32	6215,692
				Отходы на РОА:	2,1	5519,7	-	176,6
				- орешек и пух	1,2	3154,1	40	-
				- подметь	4,2	11039,4	-	441,6
				Отходы на чесальном агрегате:	0,8	2102,8		-
				- очёс кардный				
				- подметь				
Итого отходов	6,26	21816,0		618,2				
Всего	262842		6833,892		100	262842		6833,892

Таблица 5.4. Калькуляция себестоимости нетканого материала (ветоши)

Наименование статей калькуляции	Абсолютная сумма затрат, тыс.руб.	Затраты на 100 м полотна, руб.	Удельный вес затрат, %	
			В себестоим ости	В обработке
1.Сырьё:				—
1.1. Регенерированные волокна за вычетом возвратных отходов	6215,70	974,67	26	
2.Вспомогательные материалы на технологические цели	239,06	37,48	1,0	1,35
3.Топливо и энергия на технологические цели	119,53	18,74	0,5	0,68
4.Основная заработная плата производственных рабочих	9443,76	1480,68	39,50	53,38
5.Дополнительная заработная плата производственных рабочих	1133,25	177,68	4,70	6,41
6.Начисление на фонд оплаты труда	3352,91	525,7	14,03	18,95
7.Раходы на подготовку и освоение производства	4,78	0,75	0,02	0,03
8.Расходы на содержание и эксплуатацию оборудования	1907,36	299,05	8,0	10,78
9.Цеховые расходы	655,43	102,76	2,75	3,7
10.Общефабричные расходы	476,13	74,65	2,0	2,69
11.Прочие производственные расходы	358,60	56,22	1,5	2,03
Всего обработка	17690,81	2773,61	74	100
Производственная себестоимость	23906,51	3748,28	100	-

Таблица 5.5. Калькуляция себестоимости многокомпонентного  
волокнистого материала

Наименование статей калькуляции	Абсолютная сумма затрат, тыс.руб.	Затраты на 100 м полотна, руб.	Удельный вес затрат, %	
			В себестоим ости	В обработке
1. Сырьё:				—
1.1. Регенерированные волокна за вычетом возвратных отходов	6215,692-	974,55-2696,48		
1.2. Спанбонд	17198,158			
Итого сырья	23413,85	3671,03	50,0	
2. Вспомогательные материалы на технологические цели	468,28	73,42	1,0	2,08
3. Топливо и энергия на технологические цели	234,14	36,71	0,5	1,0
4. Основная заработная плата производственных рабочих	9443,76	1480,68	20,17	40,30
5. Дополнительная заработная плата производственных рабочих	1133,25	177,68	2,42	4,82
6. Начисление на фонд оплаты труда	3352,91	525,7	7,16	14,32
7. Раходы на подготовку и освоение производства	9,37	1,47	0,02	0,04
8. Расходы на содержание и эксплуатацию оборудования	4791,79	751,3	10,23	20,44
9. Цеховые расходы	1779,45	279,0	3,8	7,6
10. Общефабричные расходы	1498,49	234,94	3,2	6,4

11.Прочие производственные расходы	702,41	110,13	1,5	3,0
Всего обработка	23413,85	3671,03	50	100
Производственная себестоимость	46827,7	7342,06	100	-

Таблица 5.6. Объем реализации нетканого материала (ветоши)

Наименование	Годовой выпуск полотна, тыс. тыс.м.	Оптовая отпускная цена за 1 пог.м с НДС, руб	Годовой выпуск продукции, тыс. руб.
Нетканый материал	637,8	51,72	32987,0

Таблица 5.7. Объем реализации многокомпонентного волокнистого  
материала

Наименование	Годовой выпуск полотна, тыс. тыс.м.	Оптовая отпускная цена за 1 пог.м с НДС, руб	Годовой выпуск продукции, тыс. руб.
Композиционный материал	637,8	101,32	64621,9

Оптовая отпускная цена за 1 пог. м нетканого материала с НДС составляет:

$$37,48 \cdot 1,15 \cdot 1,20 = 51,72 \text{ (руб.)}$$

Оптовая отпускная цена за 1 пог. м многокомпонентного волокнистого материала с НДС составляет:

$$73,42 \cdot 1,15 \cdot 1,20 = 101,32 \text{ (руб.)}$$

Годовой выпуск нетканого материала, тыс. руб.

$$637,8 \times 51,72 = 32987,0 \text{ тыс. руб.}$$

Годовой выпуск многокомпонентного волокнистого материала, тыс. руб.

$$637,8 \times 101,32 = 64621,9 \text{ тыс. руб.}$$

Прибыль от реализации товарной продукции рассчитывается по формуле:

$$П = Q - C_{\text{п}} - \text{НДС} \quad (3.12)$$

Прибыль от реализации нетканых материалов:

$$П = 32987,0 - 23906,51 - 5497,83 = 3582,66 \text{ (тыс.руб.)}$$

$$\text{НДС} = 20,0 \cdot Q / (100 + 20) \quad (3.13)$$

$$\text{НДС} = 20,0 \cdot 32987,0 / (100 + 20) = 5497,83 \text{ (тыс. руб.)}$$

Прибыль от реализации многокомпонентного волокнистого материалов:

$$П = 64621,9 - 46827,7 - 10770,32 = 7023,88 \text{ (тыс.руб.)}$$

$$\text{НДС} = 20,0 \cdot 64621,9 / (100 + 20) = 10770,32 \text{ (тыс. руб.)}$$

где  $Q$  – выручка от реализации годового объёма продукции, тыс.руб.;  
 $C_{\text{п}}$  - производственная себестоимость.

Рентабельность продукции определяется:

$$P = \Pi \cdot 100 / C_{\Pi} \quad (3.14)$$

Рентабельность нетканого материала

$$P = 3582,66 \cdot 100 / 23906,51 = 14,99$$

Рентабельность многокомпонентного волокнистого материала

$$P = 7023,88 \cdot 100 / 46827,7 = 15,0$$

Затраты на 1 руб. товарной продукции определяются:

$$З_{\text{т}} = C_{\Pi} / Q \quad (3.15)$$

Затраты на 1 руб. нетканого материала

$$З_{\text{т}} = 23906,51 / 32987,0 = 0,7247 \text{ руб.}$$

Затраты на 1 руб. многокомпонентного волокнистого материала

$$З_{\text{т}} = 46827,7 / 64621,9 = 0,7246 \text{ руб.}$$

#### Определение безубыточной работы предприятия

К постоянным расходам предприятия относятся расходы на содержание и эксплуатацию оборудования, цеховые расходы и общезаводские расходы, составляющие в сумме 8069,73 руб. Сумма постоянных расходов и прибыли предприятия образует маржинальный доход предприятия. Показатели деятельности предприятия, необходимые для проведения анализа безубыточности представлены в таблице 5.8.

## Показатели деятельности предприятия

Показатели	Сумма, руб.
Доход от реализации продукции без НДС $V_p$	53851583
Полная себестоимость продукции $C_p$	46827700
Переменные затраты $ПЗ$	38757970
Переменные затраты на 1 пог. м $ПЗ_m$	60,77
Маржинальный доход $МД$	15091810
Постоянные расходы $ПР$	8069730
Прибыль $П$	7023880

Точка критического объема в стоимостном выражении может быть рассчитана по формуле

$$K_{\partial} = \frac{V_p \cdot ПР}{МД}, \quad (3.16)$$

$$(53851583 \cdot 8069730) / 15091810 = 28794938 \text{ руб.}$$

Точка критического объема в натуральном выражении может быть рассчитана по формуле

$$K_{\partial m} = \frac{ПР}{Ц_{ср} - ПЗ_m}, \quad (3.17)$$

где  $Ц_{ср}$  – средняя оптовая цена 1 пог. м без НДС, руб.

$$8069730 / (84,43 - 60,77) = 341070,6 \text{ пог. м.}$$

Графически анализ безубыточности работы предприятия представлен на рисунке 5.9, где указаны объем продукции, позволяющий предприятию покрыть расходы на производство и реализацию продукции, зона убытков и прибыли предприятия.

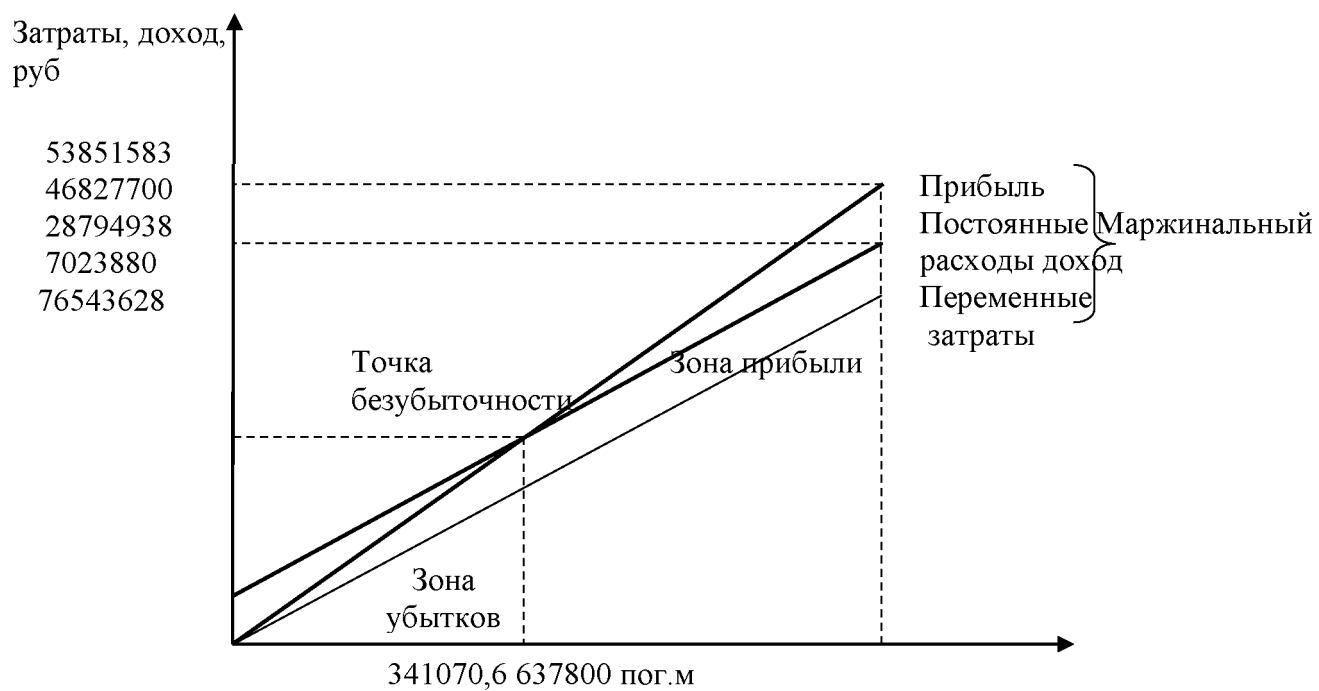


Рис. 5.9. График безубыточной работы предприятия

Таблица 5.9. Техничко-экономические показатели производства нетканого материала (ветоши) и многокомпонентного волокнистого материала

Наименование показателей	Единицы измерения	Расчетная величина нет. матер.	Расчетная величина комп. матер.
1. Чесальная машина	шт.	2	
2. Выпуск многокомпонентного волокнистого материала в год в натуральном выражении	тонн. тыс. м.	214,3 637,8	336,8 637,8
3. Плановая производительность оборудования	м/час	110,4	110,4
4. Выпуск продукции в оптовых ценах	тыс. руб.	32987,0	64621,9
5. Численность основных производственных рабочих	чел.	24	24
6. Себестоимость изделия	руб./пог. м	37,48	73,42
7. Годовая прибыль от реализации продукции	тыс. руб.	3582,66	7023,88
8. Рентабельность изделия	%	14,99	15,00
9. Затраты на 1 руб. товарной продукции	руб.	0,7247	0,7246

## 5.10. Выводы по главе

1. Разработано устройство для регулирования параметра натяжение нити, которое 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.

2. Выполнены экспериментальные исследования определения обрывности при сматывании. Полученные результаты показывают линейную зависимость обрывности от скорости сматывания и нелинейную зависимость от натяжения нити.

3. Разработана математическая модель и получены аналитические зависимости для расчета скоростей воздушного потока, увлекаемого вращением пильчатого барабана для оптимизации местонахождения сороотбойных ножей и разводки между сороотбойными ножами и рабочими пильчатыми барабанами.

4. 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.

5. Разработана технология изготовления многокомпонентного волокнистого материала 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.

6. 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 композиционного материала по разработанной технологии составила 7023,88 тыс. руб., а годовая прибыль от реализации нетканого материала (ветоши) - 3582,66 тыс. руб.

## ИТОГИ ВЫПОЛНЕННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

1. Проведенный анализ литературных источников подтверждает, что непосредственное использование котонина в качестве сырья для получения хлопкольнай 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 хлопкольнай пряжи, а также получение второго слоя, состоящего из комплексов волокон, который транспортируется на повторное разрыхление, расщипывание на отдельные волокна.

3. Рассмотрено механическое состояние волокнистого комплекса в зоне разрыхления на разработанной технологической линии для получения одиночных волокон из котонина. Получено уравнение для определения величины силы, действующей на волокнистый комплекс в зоне разрыхления, использование которого позволяет улучшить протекание процесса воздействия колосников на волокнистую массу, т.е. улучшить процессы разрыхления и очистки.

4. Разработана методика и получена зависимость для определения смещения сорной частицы, которая происходит при транспортировке комплексов волокон на повторное разрыхление и расщипывание на отдельные

волокна по трубопроводу, под воздействием центробежных и аэродинамических сил. Получено численное значение величины смещения сорной частицы и определен оптимальный расход воздуха для удаления сорных частиц.

5. Рассмотрено поведение одиночных волокон при аэродинамическом съеме в камере рассортировки и распределения разработанной технологической линии для получения одиночных волокон в зависимости от угла наклона зуба гарнитуры, скорости воздушного потока, частоты вращения барабана и др. Получена зависимость аэродинамической силы, которая позволяет учесть угол наклона зуба гарнитуры, скорость воздушного потока, частоту вращения барабана и др., и которая является значимой для практических целей.

6. Выполнены теоретические исследования зоны аэродинамического съема для определения условий аэродинамического съема волокна, находящегося в межвитковом пространстве, в зависимости от сил, действующих на свободную часть волокна. Определена длина свободной части волокна, не контактирующей с гарнитурой, при которой происходит аэродинамический съем волокна.

7. Выполненные экспериментальные исследования распределения одиночных волокон, комплексов волокон, костры и пыли по зонам формирования настиллов 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., а годовая прибыль от реализации нетканого материала (ветоши) - 3582,66 тыс. руб.

## **РЕКОМЕНДАЦИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ ИССЛЕДОВАНИЯ**

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 т.д.) и получения нетканых и многокомпонентных волокнистых материалов;
- для проектирования технологических линий по выпуску различной текстильной продукции.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кухарев, М.С., Лебедев Г.Е. Использование льняного волокна в отраслях текстильной промышленности//Текст. промышленность. -1997, №22.
2. Лаврентьева, Е.П. Переработка хлопкольняных смесей на хлопчатобумажном оборудовании // Текст. промышленность. - 1994, № 2.
3. Труевцев, Н.Н., Легезина Г.И., Аснис Л.М., Гришанов С.А. Выработка и оценка свойств смешанной пряжи с льняными штапельированными волокнами // Текст. промышленность. -1995, № 11.
4. Кахраманов, Ф.Р. Новые технологии регенерации отходов текстильного производства и способы получения пряжи из них [Текст ] / Ф.Р. Кахраманов, В.Д. Фролов. - Иваново: ИГТА, 2005.-292 с.
5. Recycling in textiles.Ed. Y. Wang. Woodhead Publishing Ltd. England, 2006, pp. 230.
6. Труевцев, Н.Н. Расширение области применения коротковолокнистого низкономерного льна [Текст] / Н.Н. Труевцев, Г.И. Легезина, Л.М. Аснис // Текст. пром-сть. –1995.– № 4-5.
7. Bast and other plant fibres. Ed. Robert R. Franck, Woodhead, Cambridge, 2005, p. 397.
8. Chuna,D.T.W., Jonn A. Foulka J.A. David D. McAlister D. D. Testing for antibacterial properties of cotton/flax denim. Industrial crops and products, 2009, 29, pp. 371–376.
9. Смирнов, А.И. Технологический комплекс котонизации короткого льняного волокна [Текст] / А.И. Смирнов // Текст. промышленность. – 1997. – № 5.
10. Стокозенко, В.Г. Новая механохимическая технология котонизации короткого льноволокна [Текст] / В.Г. Стокозенко, С.М. Губина // Снабженец. – 2000.– № 6. – С. 23-27.
11. Шевелева, И.С. Технология и оборудование для получения пряжи из смеси хлопка и льна [Текст] / И.С. Шевелева // Сб-к докл-в межд-го

симпозиума “Новые технологические процессы и оборудование в прядении” – М.: ЦНИИТЭИлегпром, – 1992.

12. Кудрявцева, Т.Н. Производство конкурентоспособной пряжи хлопчатобумажного типа с использованием новых типов сырья [Текст] / Т.Н. Кудрявцева [и др.] // Текст. промышленность. – 2002. – № 5. – С. 13-15.

13. Новиков, Э.В. Углубленная переработка волокна на льно-пеньковых заводах [Текст] / Э.В. Новиков.- Кострома.-1999.-88с.

14. Harwood R., Nusenbaum V., Harwood J. Cottonisation of Flax / International Conference on Flax and Other Bast Plants, 2008, pp. 118-128.

15. Патент Румынии № 119961. Process for obtaining fine fibres from flax and hemp rags / C. Sirghie, F.D. Turcu and N. Popa, 2005.

16. Проспект фирмы LAROCHE. Cotonisation du lin.

17. Laserscan technical brochure. CSIRO, Australia, p. 24.

18. А.с. 262290 ЧССР, МПК 4 D01B 1/24, D01G 9/06. Чесальное устройство / A.Doubravski, Z.Suchomel, B.Ondradcer, J.Hancil (ЧССР), заявл. 23.11.87; опубл. 15.06.89, Бюл.№ 8420-87.

19. Пат. 2348745 Российская Федерация, МПК D01B 5/00; D01G 15/00. Способ обработки льняного волокна и устройство для его реализации / Ларин И.Ю., Капитонов В.В.; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО Ивановская государственная текстильная академия.- № 2007117289/12; заявл. 08.05.2007, опубл. 10.03.2009, Бюл.№ 7- 7с: ил.).

20. Хосровян, Г.А. Теория и практика очистки и подготовки полуфабриката к прядению/ Г.А. Хосровян, Я.М. Красик. – Иваново: ИГТА, 1998. – 256 с.

21. Оборудование текстильной и легкой промышленности. Информационно-справочный сборник (выпуск-1). – М: -2004.

22. Оборудование текстильной и легкой промышленности. Информационно-справочный сборник (выпуск-2). – М: -2005.

23. Оборудование текстильное - швейное – С.Петербург, курьер ЛП: - 2006.

24. Оборудование и компоненты. Ваш прямой путь к поставщикам из Германии (4-е издание). – М: - 2005.
25. Современная техника и технология прядения волокнистых материалов. ИНЛЕГМАШ – 2004. – М: - 2004.
26. Концепция развития техники и технологии фирмы РИТЕР. –М: - 2000.
27. Ордина, Н.А. Структура лубоволокнистых растений и её изменение в процессе переработки. -М.: Лёгкая индустрия, 1978.
28. Карякин, Л.Б., Фридман Б.Н., Шевелёва И.С. Дополнительный источник сырья // Текст.пром-сть. -1993, № 7.
29. Проспект фирмы “Schlafhorst” (ФРГ), 1994.
30. Безверетённое прядение. :Пер. с чеш./ В. Роглен и др. - М.: Лёгкая и пищевая промышленность, 1981.
31. Никитина, С.А. Совершенствование пневмомеханического способа прядения путём применения локального доувлажнения. Дис... канд.техн.наук. -И., -1996.
32. Скаубите, Д.Я. Влияние влажности питающей ленты на свойства хлопчатобумажной пряжи пневмомеханического прядения // Исследование и оптимизация процессов текстильной технологии. (Рига). -1989. -№ 17.
33. Незгада, В.Ю. Изменение влажности волокон при переработке в прядильном производстве // Текс. пром-сть. -1987. - № 11.
34. Лебедев, Н.А. Влияние свойств хлопкового волокна на технологический процесс и качество пневмомеханической пряжи // Текст.пром-сть. -1995. -№ 1-2.
35. Барбаумов, В.Е., Егоров Ю.М. Влияние влажности на толщину и количество пороков пряжи // Новое в технике и технологии производства хлопчатобумажной пряжи.: Сб.науч.тр./ ЦНИХБИ. -М., 1983.
36. Ерёмина, К.И., Борухсон Б.В. Текстильные волокна, их получение и свойства. -М.: Лёгкая индустрия, 1966.
37. Гинзбург, Л.Н., Дверницкий И.М. Прядение лубяных волокон и производство кручёных изделий. - М.: Гизлегпром, 1959.

38. Кесвелл, Р. Текстильные волокна, пряжа и ткани: Пер.с англ./ Под ред. Е.Г.Эйгес и Е.С.Шатровой. -М.:Науч.-техн.лит-ра, РСФСР,1960.

39. Незгада, В.Ю. Интенсификация технологических процессов текстильной промышленности методами кондиционирования воздуха: Дис...д.т.н. - Каунас: ВНИИТМ, 1987.

40. Парфёнов, П.Е., Герасимов М.Н., Андреев В.А. Влияние влажности хлопчатобумажной ленты на структуру и физико-механические показатели пряжи 25текс в процессе пневмопрядения // Сб.науч.тр./ ЦНИХБИ. -М., 1985.

41. Парфёнов, П.Е., Крайнов Е.М., Герасимов М.Н. Влияние влажности полуфабрикатов на процесс дискретизации // Совершенствование оборудования и улучшение качества продукции прядильного производства.: Межвуз.сб.науч.тр. / ИвТИ. -Иваново, 1988.

42. Губина, С.М., Ларин И.Ю., Стокозенко В.Г., Морыганов А.П. Получение и переработка механохимического котонина // Текст.пром-сть.-1997, № 6.

43. Труевцев, Н.Н., Легезина Г.И.,Аснис Л.М. Переработка коротковолокнистого льна в смеси с хлопком и химическими волокнами// Текст. промышленность. - 1995, № 3.

44. Хосровян, Г.А. Разработка технологических процессов очистки и формирования полуфабрикатов в прядильном производстве с использованием воздушных потоков: дис... докт. техн. наук. – Иваново, 1999. – 484 с.

45. Фролов, В.Д. Технология и оборудование для производства волокнистых полотен аэродинамическим способом / В.Д. Фролов, И.В. Фролова. – М.: Легпромбытиздат, 1995. – 268 с.

46. Фролов, В.Д. Малоотходная технология в текстильном производстве / В.Д. Фролов. - г. Куровское: 1996. – 498 с.

47. Фролов, В.Д. Производство текстильных материалов на основе малоотходной технологии / В.Д. Фролов, Д.Н. Саприкин, И.В. Фролова. – г. Куровское: 1995. – 268 с.

48. Фролова, И.В. Теория и практика получения и использования регенерированных волокон / И.В. Фролова. – Иваново: - Комитет государственной статистики, 1999. – 523 с.

49. Павлов, Г.Г. Аэродинамика технологических процессов и оборудования текстильной промышленности / Г.Г. Павлов. - М.: Легкая индустрия, 1975.

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

51. Энциклопедия технологий 2.0. Легкая промышленность / гл. редактор Д.О.Скобелев: ФГАУ НИИЦЭПП.- Москва; Санкт-Петербург: Реноме. 2022.- 340 с

52. Нильсен, Педер Хольк Растущий дефицит ресурсов как катализатор развития экологически ориентированной промышленности, Вестник Юнидо в России №12, 2013, -С.70-72.

53. Миренский, В.А. Котонин, как реальный сырьевой фактор в текстильной промышленности // Вестник льняного и пенькового дела, 1929. кн. IX. -С. 584.586.

54. Экарев, В.Н. Котонизация // Техническая энциклопедия. т. XI. - М., 1930.

55. Мальцев, Н.Н. Изготовление котонина // Изв. текст, пром-сти и торговли, 1930.-№4-5.- С. 98. 100.

56. Завьялов, В. Котонизационная способность луба // За новое волокно, 1932.-№ 8, с.9.

57. Рудаков, Д.И. Котонизация / Под ред. Еремина И.Е. и др./ Приложение к вестнику льняного и пенькового дела, 1929. 36 с.

58. Труевцев, Н.Н., Легезина Т.Н., Аснис Л.М. Переработка коротковолнистого льна в смеси с хлопком и химическими волокнами // Текстильная промышленность, 1995.- №3. С. 13. 15.

59. Херник, Т., Ялмужна З., Мочульский Е., Чекальский Е., Волканис А. Новые направления технологии переработки волокон льна // Изв. вузов. Технология текст, пром-сти, 1994. № 2. - С.30-32.

60. Морыганов, А.П. Проблемы реализации и перспективы переработки отечественного льна в котонин и использование его в текстильной и легкой промышленности // Текстильная промышленность, 2001. № 3. -С. 58-64.

61. Ларин И.Ю. Влияние жестких волокон котонина на качество пряжи и стабильность технологического процесса прядения // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности – , №2016, 2, С. 96... 100.

62. Стокозенко, В. Г., Морыганов А. П., Гатаулин О. Н. Наука - текстильному производству: новейшие отраслевые научные разработки в сфере технического текстиля и практический опыт их применения: Сборник докладов участников Второго Международного научно-практического симпозиума (г. Москва, 21 февраля 2017 г., ЦВК Экспоцентр") / Моск. гос. ун-т им. М. В. Ломоносова. - Москва: БОС, 2017. - 322

63. Козловски, Р., Мание С., Козловски Я. Современное положение и перспективы на будущее для льна и пеньки на рубеже XX и XXI века // Льняной комплекс России. Проблемы и перспективы: Материалы междунар. научно-практич. конф. Вологда, 2000. - С. 10.29.

64. Чиликин, М.М. Об опытах механической обработки котонизированного льняного волокна//Бюллетени Центротекстиля, 1918. № 132. - С. 5-8.

65. Рябов, И.И. К вопросу о котонизации льна // Бюллетени Центротекстиля, 1919.-№6(140).-С. 5.8.

66. Якульский, В.П. По вопросу переработки котонизированного льна // Бюллетени Центротекстиля, 1919. № 152. - С. 1.3.

67. Крайс, П. Способы выделения волокон и котонизации // Успехи текстильной химии. Л., 1926. - С.33..43.

68. Ирхен, А.К. Котонизация. М.: Изд-во Новлублинститута ВАСХНИЛ, 1933.-320 с.

69. Балясников, Б. Котонизация лубяных волокон, как новая отрасль промышленности // Известия текст, промышленности торговли, 1928. № 8. -С. 8-11.
70. Клубов, В.С, Механические и химические факторы элементаризации льняного волокна // Известия текст, промышленности и торговли, 1929. № 3. - С. 29.34.
71. Малинин, В.А. Котонин // Вестник льняного и пенькового дела, 1929. -кн. X.-С. 677.679.
72. Лотарев, Б.М. Исследование влияния некоторых методов котонизации на качество волокна // Изв. текст, промышленности и торговли, 1930. № 3. - С. 17.18.
73. Peirce. The rigidity cotton hairs //1, of Text. Inst, 1923.
74. Кобылянский, Д.А.,Фридман Б.Н. Технология короткого льняного волокна. М.-Л., Гизлегпром, 1948.- 182 с.
75. Schonefeld Heinrich. Bastfasern. Fachbuchverlag Leipzig, 1955. - 412 с.
76. У. Кампс. Концепция установки для механической обработки льняного волокна. М., 1994.
77. Лаврентьева, Е.П., Ильин Л.С. Использование короткого льняного волокна в хлопчатобумажной промышленности // Льняное дело, 1995. -№ 1.- С. 9.
78. Гинзбург, Л.Н., Лен базовое сырье текстильщиков / Гинзбург Л.Н, Живетин В.В., Горн И.В., // Текстильная промышленность, 1995. - №3. - С. 22..23.
79. Ларин, И.Ю. Использование лубяных волокон в хлопчатобумажной промышленности // Переработка льносодержащих смесей: Материалы научно-практич. семинара по проблемам текст, промышленности. Иваново: ИГТА, 1996. - С. 7.17.
80. Рыжов, А.И., Живетин В.В. Котонизация льняного волокна методом нарезания // Текстильная промышленность, 1996. №5.

81. Базунов, Л. Ю. Котонизация отходов льна на серийном оборудовании / Л. Ю. Базунов, В. Д. Фролов // Междунар. научно-техн. конф. "Пробл. развития малоотход. ресурсосберегающ. экол. чистых технол. в текстил. и легк. пром-сти", (Прогресс-95), Иваново, 31 окт. - 3 нояб., 1995. - Иваново, 1995. - С. 26-28.

82. Губина, С.М., Ларин И.Ю., Стокозенко В.Г., Морыганов А.П. Получение и переработка механохимического котонина // Текстильная промышленность, 1997. № 6. - С. 19-21.

83. Чешкова, А.В., Мельников В.Н., Гордеев В.Е., Стрельцов В.С., Колосков А.В. Получение изделий с вложением биокотонизированного волокна // Изв. вузов. Технология текст, промышленности 1997. № 6. - С. 28.33.

84. Чешкова, А.В. Перспективы маломодульных ферментативных экотехнологий котонизации / А.В. Чешкова, В.А. Логинова, И.М. Захарова, Т.С. Фролова // Изв.вузов. Технология легкой промышленности. – 2019. – Т. 46. – № 4. – С. 20 – 26.

85. Родионов, С.А. Инновационные разработки теории и технологии производства одиночной и крученой пряжи с содержанием льноволокна /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. - С. 96-108.

86. Тарасов, В.П., Крылова И.П., Лебедева Г.Е., Мухин В.В. Производство льносодержащей пряжи и тканей на ее основе // Текстильная промышленность, 1996. № 3.

87. Переработка котонизированного льна в смеси с полиэфирным волокном // Текстильная промышленность, 1991. № 11-12. - С. 22.23.

88. Кухарев, М.С., Лебедев Г.Е. Использование льняного волокна в отраслях текстильной промышленности // Текстильная промышленность, 1997. -№ 3. С. 14.17.

89. Рыжов, А.И. Повышение эффективности использования льняного волокна // Текстильная промышленность, 1998. - № 5. – С.50-54.

90. Kohler, R., Wedler M. Anwendung von Naturfasern in technischen Bereichen //Mittex, 1996. № 3. - P. 7.10.

91. Решетников, Л.Л. Новая технология котонизации льняного волокна и его переработка//Текстильная промышленность, 1997.-№ 6. С. 15. 19.

92. Lennox-Kerr Peter. A new daun for linen // Text. Mon., 1998. oct. - С. 52.54.

93. Лаврентьева, Е.П., Санина О.К., Белоусов Р.О. Глубокая переработка лубяных волокон – путь к возрождению национальных традиций России № 3 (399) Технология текстильной промышленности. 2022, с 130-139

94. Трещалкин, М.Ю. Нетканые материалы на основе химических волокон и короткого льняного волокна / Трещалкин М.Ю, Трещалкин Ю.М.// Известия вузов. Технология текстильной промышленности. – 2019. – №6 (384). – С.51-55.

95. Роговина, С.З. Композиционные материалы на основе синтетических полимеров, армированных волокнами природного происхождения/ С. З. Роговина, Э. В. Прут, А.А. Берлин// Высокомол. соединения. – 2019. – Т. 61. – № 4. – С. 291–315.

96. Утонение волокнистых пучков льна при его подготовке к модификации /Разин С.Н., Смирнова Т.Ю., Пашин Е.Л.; Всероссийский НИИ по переработке лубяных культур. - Кострома 2002. - 11 с. - Депон. в ВИНТИ. 22.07.02, №1365. -В 2002.

97. Красик, Т.Я. К определению предельно допустимых размеров жестких волокон при пневмопрядении смесей с содержанием котонина / Т.Я. Красик, И.Ю. Ларин, Г.А. Хосровян, В.Э. Рыбин // ПРОГРЕСС-2008: сб. материалов междунар. науч.-техн. конф. – Иваново: ИГТА, 2008.-С.11-12.

98. Разин, С.Н. Теоретические основы совершенствования механической модификации льна. – Кострома: КГТУ, 2005., – С. 45 – 48.

100. Дорофеев, В.В. Ударно-волновая технология получения модифицированного пенькового -волокна для текстильной промышленности

/ В.В. Дорофеев // Рынок легкой промышленности. - Санкт-Петербург, 2014. - №110.

101. Рыклин, Д. Б. Изменение структуры и свойств котонизированного льняного волокна в процессе переработки на машинах поточной линии кипа – лента / Д. Б. Рыклин, Р. А. Васильев, П. В. Мурычев // Новое в технике и технологии текстильной и легкой промышленности: материалы международной научной конференции. Ч. 1 / УО ВГТУ. – Витебск, 2009. – С. 43 – 46.

102. Хосровян, А.Г. Совершенствование технологического процесса смешивания волокнистой массы в производстве новых текстильных и нетекстильных материалов/ А.Г. Хосровян, С.А. Егоров, Г.А. Хосровян // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2020, №1. С 172-176.

103. Ларин, И.Ю. Влияние жестких волокон котонина на качество пряжи и стабильность технологического процесса прядения. Муравьева Г.Ю. О факторах, влияющих на ворсистость льняной ровницы. Ларин И.Ю., Морыганов, А.П., Красик, Т.Я., Тувин, М.А., Савельева, Е.Е. № 2 (362) Технология текстильной промышленности 2016, с 96-100

104. Топорищева, Н.А., Мухина, Е.Н., Чешкова, А.В. Актуальный дизайн и цветовые характеристики тканей на основе природноокрашенного котонина льна// В сб. мат. Всерос. научн.-практ. конф.: Дизайн и искусство – стратегия проектной культуры XXI века (ДИСК – 2019). Ч.4. – М.: РГУ имени А.Н. Косыгина. – С. 29 – 32.

105. ИТС 39-2017. Производство текстильных изделий (промывка, отбеливание, мерсеризация, крашение текстильных волокон, отбеливание, крашение текстильной продукции). Информационно-технический справочник. – М.: Бюро НТД.2017. 376 с.

106. 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. - С. 127-123.

107. Хосровян Г.А. Теория и технологии подготовки волокнистой массы для производства текстильной продукции: монография / Г.А. Хосровян, А.Г. Хосровян, И.Г. Хосровян; под общ. ред. Г.А. Хосровяна. — Москва: РУСАЙНС, 2023. — 254 с.

108. Хосровян И.Г. Общая теория динамики волокнистых комплексов в процессе их взаимодействия с рабочими органами разрыхлителя/ И.Г. Хосровян, Т.Я. Красик, Г.А. Хосровян// Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2012. - № 6. - С. 194...197.

109. Хосровян, А.Г., Хосровян, Г.А. Математическое моделирование процесса очистки волокнистых материалов в разрыхлителе-очистителе /А.Г. Хосровян, Г.А. Хосровян// Международный научно-исследовательский журнал. – 2021. Часть 1, №4 (106). С. 86...92.

110. Хосровян, А.Г. Теоретические исследования процесса движения волокнистого клочка по рабочему элементу барабана разрыхлителя-очистителя / А.Г. Хосровян, А.А. Жукова, И.Г. Хосровян, Г.А. Хосровян // Международный научно-исследовательский журнал. –2022 Часть I, №7. С 23-31.

111. Тувин, М.А. Математическое моделирование аэродинамической рассортировки волокон в устройстве для получения многослойных нетканых материалов/М.А. Тувин, И.Г. Хосровян, Т.Я. Красик, Г.А. Хосровян // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2015. – №6. – С. 119-122.

112. 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.

113. Жукова, А.А. Разработка технологии и оборудования для подготовки полуфабрикатов из текстильных отходов и вторичного сырья для изготовления композиционных текстильных материалов различного назначения/А.А. Жукова, А.Г. Хосровян, Г.А. Хосровян//Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2021. - №6. - С. 184-188.
114. 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 - С.164-167.
115. Смирнов, А.И. Технологический комплекс котонизации короткого льняного волокна [Текст] / А.И. Смирнов // Текст. пром-сть. – 1997. – № 5.
116. Recycling in textiles.Ed. Y. Wang. Woodhead Publishing Ltd. England, 2006, pp. 230.
117. Труевцев, Н.Н. Расширение области применения коротковолокнистого низкономерного льна [Текст] / Н.Н. Труевцев, Г.И. Легезина, Л.М. Аснис // Текст. пром-сть. –1995.– № 4-5.
118. Chuna D.T.W., Jonn A. Foulka J.A. David D. McAlister D. D. Testing for antibacterial properties of cotton/flax denim. Industrial crops and products, 2009, 29, pp. 371–376.
119. Cai, Y., Computer Modeling of Fiber Motion in High-speed Airflow. PhD thesis, North Carolina State University, 2003, 147 p.
120. Ларин, И.Ю. Теоретическое исследование параметров устройства аэросъема остаточного слоя волокон с гарнитуры приемного барабана / И.Ю. Ларин, В.В. Капитанов, Я.М. Красик и др.// Известия вузов. Технология текстильной промышленности. – Иваново, 2007. - № 4 (299). - С. 28-29.
121. Павлов, Г.Г. Применение аэродинамики в технологических процессах текстильной промышленности: обзор / Г.Г. Павлов. - м-во лег. пром-сти СССР, Центр. науч.исслед. ин-т информ. и техн.экон. исслед. лег. Пром-сти. - М.: 1972. 86 с.

122. Хосровян, А.Г. Математическая модель движения волокна при его съеме ускоряющимся воздушным потоком с гарнитуры вращающегося пильчатого барабана/А.Г. Хосровян, М.А. Тувин, Т.Я. Красик, Г.А. Хосровян, А.А. Тувин// Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2017. - № 2. - С. 185-188.

123. Хосровян, А.Г. Движение волокнистых комплексов в процессе их аэродинамического съема в камере распределения / А.Г. Хосровян, И.Г. Хосровян, Г.А. Хосровян // Международный научно-исследовательский журнал. – 2021, Часть 1. – №3 (105). – С. 84-88.

124. 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. - С. 202-206.

125. Хосровян, А.А. Аналитические исследования процесса аэродинамического съема волокон/А.А. Хосровян, С.А. Родионов, Г.А. Хосровян//Молодые ученые – развитию текстильной и легкой промышленности (ПОИСК – 2024): тез. докл. межвузовской научно-технической конференции аспирантов и студентов. – Иваново: ИВГПУ, 2024. С.220-224.

126. Патент 2471897 Российская Федерация. Способ получения многослойных волокнистых материалов и устройство для его осуществления / Г.А. Хосровян, А.Г. Хосровян, Т.Я. Красик, И.Г. Хосровян, Т.В. Жегалина. – Оpubл. 10.01.2013.

127. Хосровян, Г.А. Общая теория процесса выделения сора из волокнистого продукта при обработке пильчатой поверхностью / Г.А. Хосровян, Я.М. Красик//Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 1998. – №5. С. 26...29.

128. Хосровян, Г.А., Ситнов Ю.В., Красик Я.Н., Яницкая В.И. Математическое моделирование процесса движения сорных примесей в аспирационном устройстве узла для формирования полуфабриката // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 1998. №3. С. 27...29.

129. Патент 2361022 Российская Федерация. Разрыхлитель-очиститель с многоступенчатой очисткой /Хосровян Г.А. Хосровян А.Г. Кушаков О.Н. Мкртумян А.С. Минеева Л.В. Жегалина Т.В. – Оpubл. 10.07.2009.

130. Патент 2128737 Российская Федерация. Узел дискретизации пневмомеханической прядильной машины /Г.А. Хосровян, А.В. Аветисян, А.Г. Хосровян. – Оpubл. 04.10.1999 г.

131. Патент 2220236 РФ Устройство для роторного пневмомеханического прядения/А.В. Саврасов, А.Г. Хосровян, Я.М. Красик, Г.А. Хосровян. от 02.09.2003г. – Оpubл. 27.12.2003г.

132. Патент 2220237 Российская Федерация. Способ дискретизации волокнистого материала и устройство для его осуществления/А.В. Саврасов, А.Г. Хосровян, Я.М. Красик, Г.А. Хосровян. от 02.09.2003г.

133. Патент 119344 Российская Федерация. Дискретизирующее устройство пневмомеханической прядильной машины/ Красик Т.Я., Хосровян Г.А., Хосровян И.Г. – Оpubл. 20.08.2012.

134. 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// Молодые ученые – развитию текстильной и легкой промышленности (ПОИСК – 2024): тез. докл. межвузовской научно-технической конференции аспирантов и студентов.– Иваново: ИВГПУ, 2024. С.161-163.

135. Патент 2807097 Российская Федерация. Способ получения хлопкольнайной сдвоенной крученой пряжи на прядильно-крутильной машине /Г.А. Хосровян, И.Г. Хосровян, С.А. Родионов, А.А. Жукова, Н.Ю. Хосровян. Оpubл. 09.11.2023. Бюл.№31.

136. Родионов, С.А. Разработка технологии получения одиночной и крученой хлопкольнайной пряжи/С.А. Родионов, И.Г. Хосровян, А.Г. Хосровян, А.А. Жукова А.А., 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.

137. 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//Молодые ученые – развитию текстильной и легкой промышленности (ПОИСК – 2023): тез. докл. межвузовской научно-технической конференции аспирантов и студентов.– Иваново: ИВГПУ, 2023. С.137-139.

138. Родионов, С.А. Смесовая машина как объект автоматического регулирования линейной плотности настила волокна поточной линии /С.А. Родионов, С.П. Зимин// Молодые ученые – развитию текстильной и легкой промышленности (ПОИСК – 2019): тез. докл. межвузовской научно-технической конференции аспирантов и студентов.– Иваново: ИВГПУ, 2019. С.305.

139. 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. – 2.ч. С 151-155.

140. Родионов, С.А. Разработка динамической имитационной модели процесса смешивания в камерах смесовой машины/ С.А. Родионов, С.П. Зимин// Молодые ученые – развитию текстильной и легкой промышленности (ПОИСК – 2020): тез. докл. межвузовской научно-технической конференции аспирантов и студентов.– Иваново: ИВГПУ, 2020. С.563-566.

141. Родионов, С.А. Смесовая машина как объект стабилизации линейной плотности настила волокнистого материала/ Молодые ученые – развитию текстильной и легкой промышленности (ПОИСК – 2024): тез. докл.

межвузовской научно-технической конференции аспирантов и студентов.– Иваново: ИВГПУ, 2024. С. 197-198.

142. Гобечия, Т. З. Основные тенденции развития российского рынка трикотажных изделий// ТДР. 2010. №11. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/osnovnyie-tendentsii-razvitiya-rossiyskogo-rynka-trikotazhnyh-izdeliy> (дата обращения: 27.03.2021).

143. Катаева, С.Б. Технология трикотажных изделий. Основы трикотажного производства в дизайне костюма: учебное пособие / Катаева С.Б. — Омск: Омский государственный институт сервиса, Омский государственный технический университет, 2014. — 163 с. — ISBN 978-5-93252-310-0. — Текст: электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS: [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/26696.html> (дата обращения: 20.03.2021).

144. Патент 2507323 Российская Федерация, МПК D01H13/00. Нитенатяжной прибор сновальной рамки/ Н.М. Сокерин ; заявитель и патентообладатель ИГТА. – № 2012124804/12; заявл. 14.06.12 ; опубл. 20.02.12, Бюл. № 5.

145. Родионов, С.А. Разработка устройства для регулирования параметра натяжение нити на трикотажной машине /С.А. Родионов, Р.Р. Алешин// Молодые ученые – развитию текстильной и легкой промышленности (ПОИСК – 2021): тез. докл. межвузовской научно-технической конференции аспирантов и студентов.– Иваново: ИВГПУ, 2021. С.116-117.

146. Оников, Э.А. Натяжные и контрольно-очистительные устройства одиночных нитей/ Э.А. Оников–М.: Издательство научно-технической литературы лёгкой промышленности ГИЗЛЕГПРОМ,1963. – 104 с.

147. Валиев, Г. Н. Способ определения технологичности нитенатяжных приборов текстильных машин / Г. Н. Валиев, В. О. Хомидов, М. Турдиев // Физика волокнистых материалов: структура, свойства, наукоёмкие

технологии и материалы (SMARTEX). – 2018. – № 1-1. – С. 185-188. – EDN VKGKFL.

148. Родионов, С.А. Определение обрывности при сматывании/ Молодые ученые – развитию текстильной и легкой промышленности (ПОИСК – 2022): тез. докл. межвузовской научно-технической конференции аспирантов и студентов.– Иваново: ИВГПУ, 2022. С.1058-1059.

149. Киселев, В.М. Фазовые системы числового программного управления станками. М.: Машиностроение, 1976,-352 с.

150. 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.

151. Ковчин, С.А. Основные вопросы теории и принципы построения точных систем электропривода. Дисс. на соискание ученой степени докт.техн.наук. Л.: 1973.

152. Комплектные системы управления электроприводами тяжелых металлорежущих станков / Под ред. А.Д.Поздеева. М.: Энергия, 1980,-288 с.

153. Коновалов Г.Ф., Коноваленко О.В. Системы автоматического управления с электромагнитными порошковыми муфтами. М.: Машиностроение, 1976,-156 с.

154. Красовский, А.А., Пospelов Г.С. Основы автоматики и технической кибернетики. М.-Л.: Госэнергоиздат, 1962,-600 с. 170.

155. Лазарев, С.А. Динамические характеристики объекта регулирования в электроприводе намоточно-размоточных устройств.-В кн.: Электрооборудование промышленных предприятий. Вып.7,-Чебоксары: Чув.госуниверситет, 1979, с.ЮЗ-Ш.

156. Лазарев, С. А. Синтез АСР натяжения перематывающего механизма при управлении по цепи возбуждения тормозного генератора. В кн.:

Электрооборудование промышленных предприятий. - Чебоксары: Чув.госуниверситет, 1982, с.38-44.

157. Аллямов, Р. Р. Динамический анализ ткацких станков типа СТБ / Р. Р. Аллямов, А. А. Максимов, А. А. Тувин // Современные наукоемкие технологии. – 2019. – № 10-1. – С. 9-14.

158. Блинов, О.В., Кузнецов В.Б., Калинин Е.Н., Влияние растворов поверхностно-активных веществ на триботехнические свойства текстильных материалов в паре трения ткань – транспортирующий ролик Известия вузов. Технология текстильной промышленности, Выпуск № 2 – 2022, №2. С. 233-237.

159. 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 //Молодые ученые – развитию текстильной и легкой промышленности (ПОИСК – 2024): тез. докл. межвузовской научно-технической конференции аспирантов и студентов.– Иваново: ИВГПУ, 2024. С.441-442.

160. 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.

161. Аллямов, Р.Р. О перспективах использования композитных материалов полуфабрикатов в производстве средств химической защиты/ Р.Р. Аллямов, А.А.Максимов, Р.С. Родионов// Физика волокнистых материалов: структура, свойства, наукоемкие технологии и материалы (SMARTEX-2019): сборник материалов XXV международного научно-практического форума - Иваново, 2019. – 1ч. С 173-175.

162. Платонова, Н.А. Планирование деятельности предприятия / Н. А. Платонова, Т.В. Харитонова. – М.: Дело и сервис, 2005. – 432 с.

163. Попов, В.Н. Бизнес – планирование / В.Н. Попов, С.И. Ляпунов. - М.: Финансы и статистика, 2009. – 246 с.
164. Просветов, Г. И. Бизнес-планирование: задачи и решения: учебно-практическое пособие / Г. И. Просветов. – 2-е изд., доп. – М.: Альфа-Пресс, 2008. – 255 с.
165. Райзберг, Б. Современный экономический словарь: учеб. пособие для студентов вузов/ Лозовский Л., Стародубцева Е.- М.: ИНФРА-М, 2006.- 479 с.
166. Сборник бизнес-планов с комментариями и рекомендациями / Под ред. В.М. Попова. – М.: Финансы и статистика, 2012. – 488 с.
167. Сборник бизнес-планов: практическое пособие / ред. Ю. Н. Лапыгин. – М.: Омега-Л, 2012. – 310 с.
168. Составление бизнес-плана: нормы и рекомендации. - М.: Книга сервис, 2012. – 346 с.
169. Уткин, Э.А. Бизнес-план компании / Э.А. Уткин.- М.: Изд-во ЭКМОС, 2012. – 102 с.
170. Черняк, В.З. Бизнес-планирование: Учебник для вузов. - М. ЮНИТИ-ДАНА, 2010. – 470 с.
171. Шевчук, Д.А. Бизнес-планирование: учеб. пособие / Д.А. Шевчук. – Ростов н/Д.: Феникс, 2010. – 208 с.
172. Хосровян, И. Г. Разрыхление и разделение на фракции волокнистого потока при получении нетканых многослойных материалов: дис.... канд. техн. наук: 05.19.02 / Хосровян Илья Гайкович. – Иваново, 2016. – 156 с.