

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

На правах рукописи



**ХОСРОВЯН ИЛЬЯ ГАЙКОВИЧ**

**РАЗРЫХЛЕНИЕ И РАЗДЕЛЕНИЕ НА ФРАКЦИИ  
ВОЛОКНИСТОГО ПОТОКА ПРИ ПОЛУЧЕНИИ  
НЕТКАНЫХ МНОГОСЛОЙНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Специальность 05.19.02 – Технология и первичная обработка  
текстильных материалов и сырья

**ДИССЕРТАЦИЯ**

на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Научный руководитель –  
доктор технических наук,  
доцент А.А. Тувин

Иваново 2016

**ОГЛАВЛЕНИЕ**

<b>ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ</b> .....	6
<b>1. АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР</b> .....	17
1.1. Теоретические исследования процессов разрыхления и очистки волокнистых материалов.....	18
1.2. Современные разрыхлители-очистители для волокнистых материалов.....	25
1.3. Инерционно-аэродинамическая рассортировка волокон и сорных примесей.....	29
1.4. Способы и оборудование для получения (производства) многослойных текстильных материалов.....	31
1.4.1. Способы получения (производства) многослойных текстильных материалов.....	31
1.4.2. Оборудование для производства многослойных текстильных материалов.....	34
1.5. Выводы по главе.....	37
<b>2. РАЗРАБОТКА СПОСОБА И ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ МНОГОСЛОЙНЫХ ВОЛОКНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ И ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА РАЗРАБОТАННОМ ОБОРУДОВАНИИ</b> .....	38
2.1. Способ получения многослойных волокнистых материалов и оборудование для его осуществления.....	38
2.2. Технологические процессы, влияющие на качество разделения на фракции волокнистого потока в камере распределения разработанного оборудования.....	47
2.3. Разработка теории выравнивающей способности устройства для получения многослойных волокнистых материалов.....	49
2.4. Динамика волокнистых комплексов в процессе их аэродинами- ческого съема с зубьев вращающихся пильчатых барабанов.....	54

2.5. Выводы по главе.....	61
<b>3. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ВОЗДЕЙСТВИЯ РАБОЧИХ ОРГАНОВ РАЗРЫХЛИТЕЛЕЙ- ОЧИСТИТЕЛЕЙ НА ВОЛОКНИСТЫЕ КОМПЛЕКСЫ.....</b>	<b>62</b>
3.1. Теоретические исследования силы удара колка о волокнистый комплекс и математическая модель для ее расчета .....	64
3.2. Методика расчета сил, действующих на волокнистый комплекс, находящийся на штифте на барабане разрыхлителя-очистителя.....	69
3.3. Вывод уравнения динамики движения волокнистого комплекса вдоль поверхности штифта на барабане разрыхлителя-очистителя.....	79
3.4. Расчет сил, действующих на волокнистый комплекс на колосниковой решетке до момента удара колка.....	80
3.5. Растаскивающая сила и математическая модель для ее расчета.....	92
3.6. Выводы по главе.....	94
<b>4. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА РАЗРЫХЛЕНИЯ ВОЛОКНИСТОГО МАТЕРИАЛА В РАЗРЫХЛИТЕЛЯХ-ОЧИСТИТЕЛЯХ.....</b>	<b>96</b>
4.1. Скорость витания волокнистых комплексов после обработки рабочими органами разрыхлителей-очистителей.....	96
4.2. Моделирование аэродинамического поля в камере разрыхлителя UNClean B11.....	97
4.3. Математическая модель для расчета условия движения волокнистого комплекса по поверхности штифта на барабане разрыхлителя-очистителя.....	105
4.4. Алгоритм для расчета условия движения волокнистого комплекса по поверхности штифта UNClean B11.....	109
4.5. Результаты расчета процесса разрыхления в зоне вывода волокнистого материала из камеры машины UNClean B11...	116

4.6. Исследование динамики волокнистых комплексов в разрыхлителе-очистителе CL-P .....	123
4.6.1. Вывод уравнения движения волокнистого комплекса по поверхности колка разрыхлителя-очистителя CL-P .....	123
4.6.2. Расчет условия движения волокнистого комплекса по поверхности колка разрыхлителя-очистителя CL-P .....	126
4.6.3. Решение уравнения движения волокнистого комплекса по поверхности колка разрыхлителя-очистителя CL-P .....	132
4.6.4. Расчет траекторий движения волокнистых комплексов в воздушных потоках в камере разрыхлителя-очистителя CL-P....	136
4.7. Выводы по главе.....	148
<b>5. РЕАЛИЗАЦИЯ В ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ УСЛОВИЯХ РАЗРАБОТАННОГО СПОСОБА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПНЕВМОМЕХАНИЧЕСКОЙ ПРЯЖИ, ОДНОСЛОЙНЫХ И МНОГОСЛОЙНЫХ НЕТКАНЫХ МАТЕРИАЛОВ.....</b>	<b>150</b>
5.1. Технологический процесс получения пряжи и межвенцового утеплителя.....	150
5.2. Технологический процесс получения четырехслойного материала для наполнения одеял.....	167
5.3. Технологический процесс получения нетканых многослойных армированных материалов.....	170
5.4. Выводы по главе.....	178
<b>6. ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ ТЕКСТИЛЬНЫХ МНОГОСЛОЙНЫХ МАТЕРИАЛОВ РАЗРАБОТАННЫМ СПОСОБОМ.....</b>	<b>180</b>
6.1. Технологический процесс получения нетканых многослойных армированных материалов (контрольный вариант).....	180
6.2. Технологический процесс получения нетканых многослойных армированных материалов (опытный вариант).....	183

6.3. Технический эффект от организации технологической линии для получения нетканых многослойных армированных материалов разработанным способом.....	186
6.4. Расчет экономических показателей контрольного варианта производства.....	187
6.5. Расчет экономических показателей опытного варианта производства.....	190
6.6. Экономический эффект.....	194
6.7. Выводы по главе.....	195
<b>ИТОГИ ВЫПОЛНЕННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ.....</b>	<b>197</b>
<b>БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....</b>	<b>201</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ 1.....</b>	<b>217</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ 2.....</b>	<b>224</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ 3.....</b>	<b>240</b>

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы диссертационной работы.** На сегодняшний день одним из самых перспективных в текстильной промышленности является производство нетканых многослойных материалов, в том числе, армированных.

Следует отметить развитие тенденций разработки технологий и способов получения нетканых многослойных материалов из различного сырья, что позволяет значительно расширить их ассортимент. Наибольшую актуальность имеют способы, которые позволяют получить различные комбинации слоев, отличающиеся по физико-механическим показателям, с различными наполнителями и армированием, благодаря чему нетканые многослойные материалы приобретают специфические свойства и могут быть использованы в различных отраслях народного хозяйства.

На основе анализа опыта работы отечественных и зарубежных фирм, занимающихся разработкой технологий и оборудования для производства нетканых многослойных материалов, установлено, что есть потребность расширения ассортимента используемых волокон, повышения однородности по составу и физико-механическим свойствам получаемых слоев, рациональности использования сырья, сокращения технологических переходов и снижения трудозатрат, расширения области применения нетканых многослойных материалов, в том числе, армированных, с улучшенными показателями качества.

Поэтому актуальной становится разработка нового способа и оборудования для получения многослойных волокнистых материалов для последующего их использование в технологических линиях получения нетканых многослойных волокнистых материалов, в том числе, армированных, в которых роль арматуры могут выполнять включаемые между волокнистыми слоями тканые, трикотажные и нетканые полотна. Так, например, один из видов нетканого многослойного материала может быть использован в качестве заме-

нителя сукна в производстве швейных изделий специального назначения: костюмов сварщика, вачег, рукавиц и т.п.

Актуальным также является повышение эффективности подготовки полуфабриката для получения нетканых многослойных материалов, а именно: процессов разрыхления, очистки, съема и разделения на фракции волокнистого потока. Данные технологические процессы играют значительную роль в получении слоев однородных по физико-механическим показателям и толщине.

**Степень научной разработанности темы.** В технологическую линию получения нетканых многослойных материалов включено разработанное оборудование, обеспечивающее новый способ получения многослойных волокнистых материалов, который разработан на основе аэродинамического метода и имеет многоступенчатый характер, включая процессы питания, разрыхления, очистки, съема, разделения на фракции волокнистого потока до непосредственного формирования и сложения слоев с образованием многослойных настилов. Важную роль для качественного разделения волокнистого потока на фракции играют процессы разрыхления и очистки на разрыхлительно-очистительном оборудовании. Теоретических исследований этих технологических процессов в целом (как единой совокупности) не существует. Отдельные его этапы остаются неизученными, а другие нуждаются в существенной доработке. Так отдельные аспекты теории процесса разрыхления на этапе ударного воздействия рабочих элементов на волокнистые комплексы нашли свое отражение в исследованиях отечественных и зарубежных ученых. Однако, следует отметить, что углубленных трудов по теоретическому исследованию процесса разрыхления в целом недостаточно. Также отсутствуют теоретические исследования процесса разрыхления с точки зрения механики на всех его этапах. Кроме того, на современных разрыхлителях-очистителях не определены этапы процесса разрыхления волокнистой массы и не выделены их существенные признаки, отсутствуют построенные на законах механи-

ки математические модели каждого из этапов, необходимые для достаточно целостного представления о процессе разрыхления.

В литературных источниках не нашло отражение решение проблем равномерной подачи волокнистого материала в зону разрыхления, улучшения условий качественного съема волокон, эффективного разделения их на фракции с учетом скорости витания и распределения по зонам формирования отдельных слоев, однородных по физико-механическим показателям.

**Цель работы** заключается в повышении эффективности процессов разрыхления и разделения на фракции волокнистого потока для получения нетканых многослойных материалов.

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

- разработаны новый способ получения многослойных волокнистых материалов и оборудование для его осуществления;
- получена математическая модель для проектирования толщины слоев волокнистого материала, формируемых на транспортерах с учетом физико-механических свойств поступающей в зону питания волокнистой смеси, ее засоренности и неровноты;
- выполнено на основании законов механики математическое моделирование процесса движения волокон в камере распределения при их аэросъеме и движении в зону разделения на фракции на оборудовании, обеспечивающем разработанный способ получения многослойных волокнистых материалов;
- разработана математическая модель процесса ударного воздействия колка на волокнистый комплекс в разрыхлителях-очистителях и выведена аналитическая зависимость для расчета растаскивающей силы;
- выведены на основе законов механики и аэродинамики уравнения движения волокнистого комплекса вдоль поверхности колка или штифта барабанов разрыхлителей-очистителей и математические модели для расчета

условия движения волокнистого комплекса вдоль поверхности колка или штифта на барабанах разрыхлителей-очистителей;

- разработаны алгоритмы для расчета граничных значений скоростей витания волокнистого комплекса вдоль поверхности колка или штифта разрыхлителей-очистителей, превышение которых обеспечивает движение волокнистого комплекса вдоль этих поверхностей, с дальнейшим сбросом с них;

- определено, что закрученный воздушный поток в камере разрыхлителя-очистителя также, как и колок, выполняет операцию перемещения волокнистого комплекса к колосниковой решетке; установлено, что при увеличении радиуса барабана уменьшается как угловой сектор, в котором происходит движение волокнистого комплекса после сброса с колка, так и время, за которое волокнистый комплекс достигает колосниковой решетки;

- определены и реализованы варианты использования разработанного способа получения многослойных волокнистых материалов и оборудования для его осуществления с целью получения пряжи, однослойных и многослойных нетканых материалов, в том числе армированных.

**Объект исследования** – новый способ получения однослойных и многослойных нетканых материалов, в том числе, армированных.

**Предмет исследования** – технологические процессы разрыхления, очистки, съема, разделения волокнистого потока на фракции, формирования волокнистых настолов и получения однослойных и многослойных нетканых материалов, в том числе, армированных.

**Научная новизна** диссертационной работы заключается в развитии теории технологических процессов разрыхления, съема и разделения на фракции волокнистого потока.

В рамках этих теоретических исследований впервые получены следующие научные результаты:

- разработана методика расчета выравнивающей способности зоны питания оборудования для получения волокнистых слоев с учетом геометриче-

ских параметров бункера, механических свойств поступающей смеси, ее засоренности и неровноты плотности поступающей в зону питания волокнистой составляющей смеси;

- на основании законов механики выведено дифференциальное уравнение движения волокнистых комплексов в камере распределения при их аэросъеме и движении в зону разделения на фракции в оборудовании, обеспечивающем разработанный способ получения многослойных волокнистых материалов;

- для повышения эффективности разделения волокнистого потока на фракции разработана методика определения и оптимизации углового размера дуги аэросъема на базе решения уравнения, которое связывает характеристики волокнистых комплексов, параметры гарнитуры, радиус и частоту вращения рабочего барабана со скоростью воздушного потока в аэросъемном канале;

- разработана математическая модель процесса ударного воздействия рабочих элементов (колков, штифтов) на волокнистый комплекс в разрыхлителях-очистителях;

- доказано, что сила удара колка о волокнистый комплекс практически пропорциональна квадрату радиуса барабана разрыхлителя-очистителя, и, следовательно, с увеличением радиуса барабана происходит интенсификация процесса очистки;

- на основании законов механики и аэродинамики разработана методика расчета сил, действующих на волокнистый комплекс на штифте барабана разрыхлителя-очистителя, и выведено уравнение движения волокнистого комплекса вдоль поверхности штифта;

- выведены уравнения механики волокнистого комплекса в зоне колосниковых решеток разрыхлителя-очистителя с учетом растаскивающей силы, а также разработана математическая модель для ее расчета;

- разработаны математическая модель и алгоритм для расчета условия движения волокнистого комплекса вдоль поверхности штифта для разрыхлителя-очистителя UNIClean B11;

- выполнен расчет процесса разрыхления волокнистого материала и определены технологические условия вывода его из камеры разрыхлителя-очистителя UNIClean B11;

- выведено уравнение движения волокнистого комплекса вдоль поверхности колка разрыхлителя-очистителя CL-P, получены аналитические зависимости для расчета величин перемещения и скорости волокнистого комплекса вдоль поверхности колка;

- установлено, что колок разрыхлителя-очистителя CL-P, кроме ударного воздействия на волокнистый комплекс, выполняет и технологическую функцию, заключающуюся в том, что после удара колка волокнистый комплекс совершает движение вдоль его поверхности в направлении колосниковой решетки;

- определено, что волокнистый комплекс при сбросе с колка разрыхлителя-очистителя CL-P приобретает не только окружную, но и радиальную скорость;

- разработана методика расчета траекторий движения волокнистого комплекса в воздушных потоках в камере разрыхлителя-очистителя CL-P;

- установлено, что при увеличении радиуса барабана уменьшается как угловой сектор, в котором происходит движение волокнистого комплекса после сброса с колка, так и время, за которое волокнистый комплекс достигает колосниковой решетки.

**Новизна разработанных технических решений** защищена патентами на полезные модели № 111141 РФ (опубл. 10.12.2011), № 119344 РФ (опубл. 20.08.2012) и патентом № 2471897 РФ (опубл. 10.01.2013).

**Теоретическая значимость работы** заключается в применении методов механики и аэродинамики к комплексному моделированию процесса разрыхления волокнистого материала и в получении на этой основе матема-

тических моделей всех этапов обработки волокнистого материала в разрыхлителях-очистителях, в разработке теоретических основ процесса выравнивания линейной плотности волокнистых слоев на разработанном оборудовании, в развитии теории аэродинамического съема волокнистых комплексов с зубьев гарнитуры вращающегося пильчатого барабана и направлении их в зону разделения по фракциям с последующим формированием волокнистых слоев.

**Практическая значимость и реализация результатов работы.** Разработаны способ и оборудование для получения многослойных волокнистых материалов. Благодаря использованию в технологических линиях разработанного оборудования для получения многослойных волокнистых материалов была создана возможность одновременного использования каждого из полученных волокнистых слоев, как для изготовления пряжи разной линейной плотности, так и для изготовления однослойных и многослойных нетканых материалов, в том числе, армированных.

Практическая реализация работы осуществлялась на ООО «Интер», ООО «К-ТЕКС», ООО «ТК ГАМТЕКС», ООО «ЛИТЕКС», ООО «СпецПошив-Иванов», ООО «ИСКРА», ООО «ПК «ИВСПЕЦПОШИВ».

Из нетканого многослойного материала «под сукно», полученного с использованием в технологической линии разработанного оборудования, обеспечивающего реализацию нового способа получения многослойного волокнистого материала, пошита партия костюмов сварщика, рукавиц и вачег с последующей их реализацией. Физико-механические и потребительские показатели полученного в производственных условиях нетканого многослойного материала «под сукно» доказали его конкурентоспособность в сравнении с традиционным текстильным материалом (сукном). Кроме того, внедрение в производство разработанных способа и оборудования для получения многослойного волокнистого материала сокращает количество оборудования в технологической линии, что упрощает обслуживание технологической линии и улучшает экономические показатели производства.

Отдельные результаты внедрены в учебный процесс ИВГПУ в виде лабораторных работ, предназначенных для студентов, обучающихся по направлению подготовки «Материаловедение и технология новых материалов», а также при выполнении курсовых, дипломных проектов и в научно-исследовательской работе студентов. Кроме того, полученные результаты работы используются в лекционном материале для аспирантов по курсу «Технологические машины и оборудование текстильной и легкой промышленности».

Также, 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, векторного анализа, 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.

#### **Положения, выносимые на защиту:**

- способ и оборудование для получения многослойных волокнистых материалов;
- методика расчета выравнивающей способности зоны питания оборудования для получения многослойных волокнистых материалов с учетом геометрических параметров бункера, механических свойств поступающей смеси, засоренности продукта и неровноты плотности поступающей в зону питания волокнистой составляющей смеси;
- дифференциальное уравнение движения волокнистых комплексов в камере распределения при их аэросъеме и движении в зону разделения на

фракции в оборудовании, обеспечивающем разработанный способ получения многослойных волокнистых материалов;

- методика определения углового размера дуги аэросъема на базе решения уравнения, которое связывает характеристики волокнистых комплексов, параметры гарнитуры, радиус и частоту вращения пыльчатого барабана со скоростью воздушного потока в аэросъемном канале;

- математическая модель процесса ударного воздействия рабочих элементов (колки, штифты) на волокнистый комплекс в разрыхлителях-очистителях;

- методика расчета сил, действующих на волокнистый комплекс на штифте барабана разрыхлителя-очистителя, и уравнение движения волокнистого комплекса вдоль поверхности штифта;

- уравнение механики волокнистого комплекса в зоне колосниковых решеток разрыхлителя-очистителя с учетом растаскивающей силы, а также математическая модель для расчета последней;

- математическая модель и алгоритм для расчета условия движения волокнистого комплекса вдоль поверхности штифта для разрыхлителя-очистителя UNIClean B11;

- уравнение движения волокнистого комплекса вдоль поверхности колка разрыхлителя-очистителя CL-P и аналитические зависимости для расчета величин перемещения и скорости волокнистого комплекса вдоль поверхности колка;

- методика расчета траекторий движения волокнистого комплекса в воздушных потоках в камере разрыхлителя-очистителя CL-P.

**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: Прогресс-2013, SMARTEX-2015 (ИВГПУ, Иваново); «Современные технологии и оборудование текстильной промышленности» (МГТУ, Москва, 2010, 2011 гг.); «Современные инструментальные системы, информационные технологии и инновации» (Курск, 2015 г.);

- на всероссийских научно-технических конференциях: «Инновации молодежной науки» (СПГУТД, Санкт-Петербург, 2011, 2015 гг.); «Получение и модифицирование синтетических волокон и нитей для инновационных материалов, композитов и изделий» (Плес, Ивановская обл., 2015 г.);

– на межвузовских научно-технических конференциях: Поиск-2011, 2014, 2015 (ИГТА, ИВГПУ, Иваново); «Студенты и молодые ученые КГТУ - производству» (КГТУ, Кострома, 2011, 2014 гг.);

и отмечены грантом, дипломами и грамотами:

- 2011 г. дипломом за активное участие в научно-исследовательской работе и на межвузовских научно-технических конференциях «Молодые ученые – развитию текстильной и легкой промышленности (Поиск-2011)». – ИГТА, Иваново, 2011 г.;

- 2013 г. грамотой за особые успехи в научно-исследовательской работе. – ИВГПУ, Иваново, 2013 г.;

- 2014 г. дипломом за лучший доклад на межвузовской научно-технической конференции «Молодые ученые – развитию текстильной и легкой промышленности (Поиск-2014)». – ИВГПУ, Иваново, 2014 г.;

- 2014 г. дипломом лауреата регионального инновационного конвента молодых ученых «Интеграция» в номинации «Текстильная промышленность». – ИвГУ, Иваново, 2014 г.;

- 2014 г. грантом победителя конкурса грантов ректора ИВГПУ;

- 2015 г. дипломом за лучший доклад на межвузовской научно-технической конференции «Молодые ученые – развитию текстильной и легкой промышленности (Поиск-2015)». – ИВГПУ, Иваново, 2015 г.;

- 2015 г. грамотой за лучший стендовый доклад, дипломом и памятными подарками за активное участие во всероссийской научно-практической конференции «Получение и модифицирование синтетических волокон и нитей для инновационных материалов, композитов и изделий». – Плес, Ивановская обл., 2015 г.

**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 нетканых многослойных материалов выполнены автором при участии научного руководителя и соавторов. Результаты производственных исследований и экономических расчетов принадлежат автору.

**Публикации.** Основные результаты выполненных исследований опубликованы в 28 печатных работах, в их числе 7 статей, 5 из которых в журнале «Изв. вузов. Технология текстильной промышленности», рекомендуемом ВАК РФ для изложения основных научных результатов диссертации, патент на изобретение, два патента на полезную модель и 18 тезисов в сборниках материалов научно-технических конференций различного уровня. Доля соискателя от 30 до 70 %.

**Структура и объем работы.** Диссертационная работа изложена на 247 страницах печатного текста, состоит из введения, 6 глав, итогов выполненного исследования и перспектив дальнейшей разработки темы, библиографического списка из 137 наименований, содержит 14 таблиц и 50 рисунков. В диссертации 3 приложения на 29 страницах.

## 1. АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР

Производство новых нетканых материалов развивается бурными темпами во всех странах Западной Европы, Северной Америки, Японии, Китая и других странах. В последнее время в России производство новых нетканых материалов так же значительно возросло. Все большее значение в конкурентной борьбе приобретают экономичность в сочетании с рациональным подходом к организации производства, а также выпуск высококачественной продукции по доступным ценам с одновременной автоматизацией технологических процессов. К числу преимуществ производства новых текстильных материалов перед производством традиционной текстильной продукции относятся:

- выработка из текстильного сырья бытовых и технических изделий на оборудовании с высокой производительностью, во много раз превышающей производительность оборудования, принимаемого в классических системах;
- сокращение производственного цикла;
- значительное повышение производительности труда;
- эффективная замена ассортимента традиционной текстильной продукции ассортиментом новых текстильных материалов с перспективой его расширения, со снижением себестоимости и более рациональным использованием натурального сырья и отходов текстильного производства;
- расширение производства с использованием минимальных производственных площадей и с меньшими затратами на капитальное строительство новых;
- переработка натуральных и химических волокон и нитей всех видов в высококачественные изделия с высоким выходом готовой продукции.

Для получения новых нетканых многослойных волокнистых материалов, в том числе, армированных, необходимо осуществить определенные технологические процессы подготовки полуфабриката: разрыхления, очистки, съема, смешивания и т.д.

## 1.1. Теоретические исследования процессов разрыхления и очистки волокнистых материалов

Так как, волокнистый материал поступает на предприятия в кипах, то он нуждается в хорошей степени разрыхления и очистки. В процессе разрыхления происходит уменьшение объемной массы волокнистого материала вплоть до разделения его на мелкие клочки и отдельные волокна [1...3]. Технологический процесс тщательного разрыхления волокнистой массы необходим для обеспечения возможности очистки волокнистого материала от непрядомых примесей, чесания, лучшего смешивания всех компонентов волокнистой смеси [4...10].

Для разрыхления волокнистых материалов применяют методы расщипывания волокнистой массы на отдельные клочки, нанесения ударных воздействий по волокнистому материалу с целью разрыхления последнего, аэродинамического воздействия на волокнистый материал, комбинированный способ воздействия на волокнистый материал и т.д.

В случаях, когда рабочий орган машины, покрытый гарнитурой, имеет сравнительно большую скорость, элементы его гарнитуры, кроме захвата волокнистого материала и расщипывания его, производят на него ударное воздействие. Такие удары по волокнистой массе, содействуя эффекту расщипывания, имеют и самостоятельное значение в ее разрыхлении: они производят сильное встряхивание, большие перемещения и сдвиги волокон друг относительно друга. В результате этого ослабляются связи между волокнами, вследствие чего крупные клочки распадаются на более мелкие. Упругость волокон заставляет их располагаться более свободно и занимать больший объем, вследствие чего уменьшается объемная масса волокнистого материала [1...8]. При разрыхлении волокнистого материала различают следующие ударные воздействия на него: удар рабочих элементов вращающегося барабана машины по свободно движущимся клочкам волокнистой массы, удар клочков о неподвижные рабочие поверхности и удар рабочих элементов вращающегося

барабана машины по некоторым участкам бородки, выступающей из зажима, подающего слой в зону разрыхления.

Ударное воздействие наряду с расщипыванием является эффективным методом разрыхления. При разрыхлении волокнистого материала разрушаются контакты между волокнами и преодолеваются силы цепкости и трения при разделении волокнистой массы на клочки. Для этого необходимо приложить силу, т.к. волокнистый материал оказывает сопротивление разрыхлению, величина которого может изменяться в зависимости от действия ряда факторов. Изменение величины сопротивления может привести к таким последствиям: оно может сказаться на эффективности разрыхления, то есть материал будет выходить из машины с большей или меньшей объемной массой, с большей или меньшей средней массой клочков, оно может сказаться на продолжительности нахождения материала в машине. Так, например, в питателе-смесителе, пласты хлопка поднимаются игольчатой наклонной решеткой к разравнивающей игольчатой решетке, иглы которой движутся навстречу иглам наклонной игольчатой решетки и при этом встречном движении расщипывают волокнистый материал [1...8].

От степени сопротивления волокнистого материала разрыхлению зависит размер клочков, на которые он распадается при таком воздействии. Если волокнистый материал разрыхляется легко, т.е. при той же интенсивности воздействия он разделяется на более мелкие клочки, а объемная масса клочков уменьшается значительно, то разрыхление будет происходить более эффективно и разделенный на мелкие клочки волокнистый материал будет быстрее выходить из машины. Если же волокнистый материал разрыхляется с трудом и оказывает разрыхлению большее сопротивление, то при той же интенсивности воздействия он будет с трудом распадаться на мелкие клочки и в большем количестве будет отброшен обратно в камеру машины. Трудно разрыхляемый волокнистый материал будет неоднократно подниматься наклонной игольчатой решеткой вверх к разравнивающей решетке и снова отбрасы-

ваться обратно в камеру. В результате продолжительность нахождения волокнистого материала в камере машины увеличится.

Однако в этом случае, несмотря на более длительное пребывание в камере машины, степень разрыхленности волокнистого материала на выходе из нее будет хуже, чем когда волокнистый материал разрыхляется легко.

Изменение степени разрыхленности волокнистого материала и производительности машины являются источниками возникновения неровноты полуфабрикатов прядения и пряжи.

Сопrotивление волокнистого материала разрыхлению зависит от ряда факторов: плотность прессования и величина клочков (чем больше объемная масса волокнистого материала и чем крупнее поступающие в машину пласты или клочки его, тем больше усилий требуется, чтобы его разделить), влажность волокнистого материала (при увеличении влажности волокнистого материала сопротивление разрыхлению возрастает), длина волокон и другие свойства (для разрыхления волокнистого материала необходимо преодолеть сопротивление волокон растаскиванию больших клочков на более мелкие, это сопротивление тем больше, чем больше длина волокон, чем они тоньше, чем шероховатее их поверхность, чем спутаннее они).

Для успешного разрыхления волокнистого материала большое значение имеет также степень его зрелости. Волокна зрелого хлопка имеют более толстые стенки, величина силы упругости в них больше, они производят большее давление на соседние волокна и поэтому в большей мере содействуют разрыхлению. Волокна же незрелого хлопка неупруги, и поэтому незрелый хлопок разрыхляется труднее.

На интенсивность разрыхления влияют тип и размеры органов разрыхления и их гарнитура, разводка рабочих органов, скоростной режим, степень наполнения камеры машины.

В работе [8] рассмотрены три вида рабочих органов: колковый (ножевой) барабан, планочное трепало (барабан с планками), игольчатый барабан (барабан с игольчатыми планками). Определена вероятность попадания

клочков хлопка под удар ножевого (колкового) барабана, а также вероятность попадания клочка под удар трепала. Приводится анализ сил, действующих на волокнистый материал в рабочей камере разрыхлителей-очистителей.

Представлено движение клочка по колосниковой решетке под действием рабочего органа для случая, когда центр масс клочка расположен между кончиком ножа и колосниками, и для случая, когда клочок совершает вращательное движение относительно своего центр масс, закатывается и загнувается. Кроме того, отмечено, что клочок волокнистого материала может выполнять самостоятельное движение по колосниковой решетке [8].

Процесс разрыхления сопровождается выделением сорных примесей и пыли. Очищающая способность разрыхлителя, как отмечают авторы [2,3], зависит от работы рабочего барабана, причем увеличение количества колков или ножей на поверхности барабана не приводит к повышению очистительной способности. По данным автора [2,3] в разрыхлителе возникают две силы: сила трения и центробежная сила, которые в свою очередь создают равнодействующую силу, благодаря которой отдельные соринки и жесткие примеси, приобретая инерцию, стремятся вылететь через колосники.

Профессор Севостьянов А.Г. вывел уравнения момента инерции ударяющего органа при свободном движении клочка волокнистой массы в разрыхлителе, а также импульса силы удара в случае удара клочков о неподвижные поверхности, например, о колосниковую решетку [5,11].

В работе [11] автор, опираясь на результаты [5], рассматривает процесс разработки бородки и процесс движения волокнистого комплекса по колосниковой решетке. Отметим, что автор [11] рассматривает процесс движения волокнистого комплекса по колосниковой решетке как процесс кручения волокнистого комплекса. При этом не отражается механизм растаскивания волокнистого комплекса по колосниковой решетке, не учитывается, что помимо кручения волокнистого комплекса, происходит еще воздействие на волокнистый комплекс колосниковой решетки как периодической структуры,

т.е. волокнистый комплекс на колосниковой решетке периодически испытывает удары.

При выводе уравнений нахождения волокнистого клочка у колосниковой решетки поверхность колосниковой решетки В.И. Будников и А.В. Севостьянов принимали как абсолютную гладкую, причем не учитывались силы, возникающие в момент удара клочка о переднюю грань колосников [3,5,11].

В действительности же колосники установлены так, что при встрече клочка, движущегося с определенной скоростью, с передней гранью колосника возникают силы, стремящиеся остановить движение клочка по линии контакта поверхности клочка с передней гранью колосника. При этом возникают импульсные реакции (реакции наложенных связей) и клочок стремится повернуться относительно центра тяжести по направлению движения, в результате чего может произойти его закатывание [11].

В работах [12...17] отмечается, что при разрыхлении и очистке волокнистых материалов особое значение приобретает механизм соровыделения в волокноочистителе, так как он является сложным процессом взаимодействия волокна с колосниковой решеткой.

Авторами работ [14] представлена модель взаимодействия волокна с колосниковой решеткой в зоне за первым колосником, разработана методика определения шага расстановки колосников. Определена величина шага расстановки колосников для одноступенчатой прямоточной волокноочистительной машины.

Как отмечают авторы [12], колосниковая решетка является одним из наиболее важных элементов очистительной секции. При совместной работе с рабочим барабаном колосниковая решетка способствует выделению из волокнистого материала сорных примесей и пороков. При проектировании колосниковых решеток стремятся получить максимальную очистительную способность машины при минимальном выходе в угар и порче прядомого волокна. Для того, чтобы лучше понять сущность происходящих при очистке явлений (механизм соровыделения), необходимо подробно исследовать слож-

ный процесс взаимодействия волокна с колосником. В работе [12] рассмотрен случай взаимодействия волокон с колосником треугольного профиля. Подобные вопросы были затронуты в работах [12...20]. В работе [12] предполагалось создать теоретические предпосылки для разработки колосниковой решетки с регулируемыми параметрами. В результате была разработана математическая модель взаимодействия пряди волокна с колосником треугольного профиля, которая описывает процесс взаимодействия пряди волокна с элементом колосниковой решетки. Представлена методика расчета основных кинетостатических параметров процесса. Так же в работе [12] предложена методика, позволяющая оценить силы натяжения, действующие на элементы пряди волокна, при различных технологических и конструктивных характеристиках очистительной секции.

Дальнейшее развитие теории процессов разрыхления и очистки было получено в работах [21...24], где рассматривались взаимодействие волокнистых материалов с пильчатой гарнитурой рабочих барабанов с использованием законов механики и аэродинамики.

В работе [21] предложена и реализована новая концепция процесса очистки волокнистых продуктов при обработке их пильчатой гарнитурой, предусматривающая уточненную модель взаимодействия сорной частицы с зубом гарнитуры, учитывающую возможность проникновения сорной частицы в межвитковое пространство. Теоретически обоснованы и разработаны аналитические методы расчета динамики ударного воздействия зуба пильчатой гарнитуры на сорную частицу, а также проведено математическое моделирование процесса выделения сора из волокнистого продукта при обработке пильчатой поверхностью. Получены аналитические зависимости для расчета траекторий движения сорных частиц в межвитковом пространстве, в том числе и конечные формулы для определения положения сорных частиц после их взаимодействия с зубом пильчатой гарнитуры и т.д.

В работе [22] усовершенствована теория механики клочков волокон на зубе гарнитуры пильчатого барабана. Впервые клочок волокон рассматри-

вался как протяженное тело, имеющее центр массы, а также учитывалось влияние на него упругих сил со стороны соседних волокон и волокнистых клочков. Определена взаимосвязь между геометрическими и кинематическими параметрами рабочих органов, обеспечивающими процессы удержания на пальчатой поверхности клочков волокон и их аэросъема. Проведены теоретические исследования процесса движения клочков волокон по рабочей поверхности зуба гарнитуры пальчатого барабана. Выполнено математическое моделирование процесса аэродинамического съема клочков волокон с зуба гарнитуры пальчатого барабана.

В работе [23] усовершенствована теория процесса волокноперехода между пальчатыми поверхностями вращающихся барабанов, которая базируется на законе сохранения массы и методах теории подобия. Впервые проведены теоретические исследования процесса одностороннего волокноперехода между пальчатыми гарнитурами двух вращающихся барабанов.

В работе [24] разработан разрыхлитель-очиститель с многоступенчатой очисткой, повышающий эффективность процессов разрыхления и очистки волокнистых материалов, обеспечивающий равномерное питание последующих машин и повышение качества полуфабриката и пряжи. Для оптимизации технологического процесса, протекающего на разработанном разрыхлителе-очистителе с многоступенчатой очисткой, были использованы полученные аналитические зависимости связывающие характеристики волокнистой смеси с геометрическими параметрами оборудования.

Однако, в выше упомянутых работах не были рассмотрены:

- процесс ударного воздействия рабочих элементов, таких как колок или штифт рабочего барабана на волокнистый комплекс в разрыхлителях-очистителях;
- процесс движения по поверхности рабочих элементов барабана волоконных комплексов;
- процесс сброса волокнистых комплексов с поверхности рабочих элементов барабана.

Также в выше упомянутых работах в недостаточной мере исследована механика волокнистого комплекса в зоне колосниковых решеток, т.к. не учитывалась растаскивающая сила.

В связи с этим нами была поставлена задача теоретического исследования процесса ударного воздействия рабочих элементов барабана на волокнистый комплекс в современных разрыхлителях-очистителях, процесса движения по поверхности рабочих элементов барабана волокнистых комплексов, а также их сброс. Кроме того, была поставлена задача теоретического исследования растаскивающей силы с учетом воздействия на волокнистый комплекс колосниковой решетки как периодической структуры, периодически воздействующей силой на волокнистый комплекс. Эта периодически воздействующая сила должна рассматриваться вместе с другими силами, в совокупности действующими на волокнистый комплекс в рабочей зоне колосниковой решетки.

## 1.2. Современные разрыхлители-очистители для волокнистых материалов

Постепенное, бережное и эффективное разрыхление волокнистого материала является основным требованием к современным разрыхлителям-очистителям, а также непременным условием качественной очистки волокнистого материала от сорных примесей и получения равномерного волокнистого полуфабриката и, в конечном итоге, высококачественной текстильной продукции.

Кроме того, при разработке современного разрыхлителя-очистителя большое внимание уделяется гибкости перенастройки оборудования связанной с изменяющимися свойствами сырья и надежности, которая позволяет предприятиям эксплуатировать оборудование с высоким КПД, используя минимальное количество машин в технологической линии [25-29].

Как известно, разрыхление и очистка волокна производятся в свободном и в зажатом состоянии. Среди машин, обрабатывающих волокно в свободном состоянии, наиболее часто используются разрыхлители-очистители фирм Rieter (Швейцария), Truetzschler, Schubert & Salzer Ingolstadt, Hergeth Hollingsworth (Германия), Marzoli (Италия), АО «Кузтекстильмаш», ОАО «Вниилтекмаш» (Россия), China Tektilemachinery CO.LTD и т.д.

Так фирма Truetzschler выпускает следующие современные модели разрыхлителей-очистителей для разного применения: очиститель модели CL-P для предварительной очистки волокнистого материала, однобарабанный очиститель модели CL-C1 для переработки тонковолокнистого хлопка, универсальный трехбарабанный очиститель модели CL-C3, четырехбарабанный очиститель модели CL-C4, заменяющий от 3 до 4 обычных очистителей, и очиститель для хлопчатобумажных отходов модели CL-R [25...31].

Основными рабочими органами разрыхлителей-очистителей являются колковые, штифтовые, игольчатые и пильчатые барабаны, под которыми установлены колосниковые решетки. Положение колосниковых решеток по отношению к рабочим барабанам можно регулировать. За счет этого достигается регулировка количества выделяющихся на машине отходов.

Колковый разрыхлитель-очиститель модели CL-P предназначен для интенсивной предварительной очистки сильно засоренного хлопка, устанавливается перед машинами для основной очистки волокнистого материала или непосредственно перед смесовыми машинами. Подача волокнистого материала в машину модели CL-P всегда осуществляется пневматически через смонтированный в ее верхней части конденсор.

Универсальный трехбарабанный разрыхлитель-очиститель CLEANOMAT модели CL-C3 может быть использован в качестве единственной очистительной машины и в составе коротких производственных линий при переработке хлопка со средней засоренностью. В комбинации с колковым разрыхлителем-очистителем модели CL-P для предварительной очистки он обеспечивает возможность переработки хлопка практически любого качества.

Особенностью четырехбарабанного разрыхлителя-очистителя CLEANOMAT модели CL-C4 является возможность последовательной установки четырех разрыхлительных барабана: первый барабан - колковый, остальные - обтянуты жесткой пильчатой гарнитурой с разным шагом зубьев, толщиной основания гарнитуры и высотой зубьев и угла наклона последних. На разрыхлителе-очистителе имеется пять зон очистки, он обладает максимальной очистительной способностью и может заменить целый очистительно-разрыхлительный агрегат, состоящий из трех или четырех отдельных разрыхлителя-очистителя. Скорость вращения барабанов от первого к последнему и плотность зубьев их гарнитуры постепенно увеличиваются. Это позволяет обеспечить максимальную эффективность разрыхления и очистки волокнистого материала без излишнего перенапряжения волокон. Устройства для очистки волокнистых материалов, состоящие из заслонки, сороотбойного ножа и вытяжного канала, установленных в отдельных зонах очистки, регулируются независимо друг от друга, что обеспечивает возможность достижения максимального эффекта очистки. Регулировка параметров устройств для очистки волокнистых материалов может осуществляться в процессе работы машины. Количество отсасываемого от разрыхлителя-очистителя воздуха корректируется в соответствии с его производительностью. Высокая производительность очистителя (до 800 кг/ч) достигнута за счет оптимального конструктивного исполнения всех рабочих органов, влияющих на качество обработки волокнистого материала. Разрыхлитель-очиститель CLEANOMAT модели CL-C4 может быть использован как в качестве единственной разрыхлительно-очистительной машины, так и в комбинации с разрыхлителем-очистителем модели CL-P для предварительной очистки хлопка [25...31].

Разрыхлители-очистители фирмы Rieter отличаются большой эффективностью и малыми размерами. Ранее рабочие барабаны разрыхлителей-очистителей этой марки были колковыми, например, мод. В4/1. В последние годы основной машиной для разрыхления и очистки волокнистых материалов фирмы Rieter является разрыхлители-очистители UNIClean B11 и

UNIClean B12, рабочими элементами барабанов являются штифты. Разрыхлители-очистители устанавливаются в разрыхлительно-очистительном агрегате сразу после автоматического кипоразрыхлителя [25...29, 32,33].

Особенно эффективны разрыхлители-очистители UNIClean B11 и UNIClean B12 для разрыхления и обеспыливания хлопка, льна и отходов прядильного производства. Волокно поступает в разрыхлитель-очиститель по патрубку и разрыхляется в свободном состоянии штифтами рабочего барабана. Сорные примеси выделяются через отверстия в колосниковой решетке, затем через шлюзовой затвор отводятся по патрубку в систему удаления отходов. Пыль, выделенная из волокна во время разрыхления, осаждается на сетчатых фильтрах, а технологический воздух удаляется через патрубок. Разрыхленное и очищенное волокно выводится из разрыхлителя-очистителя через отдельный патрубок. Небольшой размер разрыхляющего элемента - штифта - обеспечивает разрыхление волокнистого материала на очень мелкие клочки, что способствует более эффективной обработке материала на следующей машине - пильчатом разрыхлителе-очистителе UNIflex B60. В зависимости от вида и засоренности поступающего волокнистого материала оптимизация работы разрыхлителей-очистителей осуществляется автоматизированной системой Vario Set путем изменения угла расположения колосников и частоты вращения рабочих барабанов. Выделение прядомых волокон в отходы на разрыхлителях-очистителях UNIClean B11 и UNIClean B12 на 2% ниже, чем на машинах с колковыми барабанами, а их производительность достигает 1200 кг/ч. [25...29, 32,33].

Фирма Marzoli также выпускает современные разрыхлители-очистители. Особый интерес представляют разрыхлители-очистители мод. В 31 и мод. В 39. Разрыхлитель-очиститель мод. В 39 выполнен со смещенными колковыми барабанами. Волокно в процессе разрыхления и очистки проходит по спирали вокруг первого колкового барабана и затем переходит к следующему колковому барабану, вращающемуся быстрее, также огибая его по спирали. Таким образом, волокно дольше взаимодействует с колками барабанов,

что улучшает степень разрыхления и очистки волокнистых материалов. Кроме этого, волокно меньше зажгучивается, поскольку не подвергается одновременному воздействию колков с двух сторон. Сорные примеси проваливаются сквозь колосниковую решетку в угарную камеру и удаляются через шлюзовую затвор пневмосистемой. Производительность машины до 1250 кг/ч. [10, 34].

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

Инерционно-аэродинамическая рассортировка волокон и сорных примесей известна и давно используется при отделении ости и пуха при производстве кашмирской шерсти. Промытая кашмирская шерсть подается на чесальную машину и после разрыхления выдувается через аэродинамическую трубу определенной длины и высоты [35]. При этом толстая ость разбрасывается ближе, а тонкий, легкий пух дальше. В этом и состоит примитивный метод отделения ости от пуха. Однако, данный способ имеет низкую производительность, недостаточное отделение ости от пуха и другие отрицательные стороны. Поэтому данный метод постепенно механизировали. Принцип работы нового оборудования, обеспечивающего инерционно-аэродинамическую рассортировку волокон и отделение ости, заключается в том, что мягкие, гибкие и извитые волокна постепенно перемешаются вперед, а жесткие и прямолинейные волокна (ость) падают под машины, т.е. создается из-за весовой разницы между волокнами разность в скорости перехода между волокнами от одного вала к другому.

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 центробеж-

ной 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 [35...38]. 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.

Рассортированные по секциям регенерированные волокна отличаются по массе. Выявлено, что разнородные в общей массе по физико-механическим свойствам регенерированные волокна после рассортировки в каждой из секций достаточно стабильны по длине [35...38].

Некоторые технологические процессы подготовки волокон, в том числе в прядильном производстве, связаны с движением волокнистого материала во вращающихся воздушных потоках вблизи поверхности рабочих барабанов, обтянутых гарнитурой. Условия движения волокнистого материала во вращающихся воздушных потоках таковы, что возможна сепарация волокнистого материала с выделением сорных примесей, кожицы с волокном и др.[39,40].

В работах [39,40] рассмотрены факторы, способствующие инерционно-аэродинамической рассортировке волокон на примере сепарации частиц в воздушном потоке вблизи вращающихся поверхностей рабочих барабанов. Автор предположил, что условное тело (сорные примеси, кожица, узелки, группа волокон, одиночное волокно и т.д.) находится во вращательном движении вблизи дискретизирующего барабанчика в момент отделения первого от гарнитуры. Основными действующими на тело силами являются центробежная сила инерции и аэродинамическая сила. Автор отметил, что аэродинамическая сила возникает в результате воздействия на тело воздушного потока, сопутствующего вращению дискретизирующего барабанчика и стре-

мящегося переместить волокнистый материал по касательной к окружности. Возникающая при этом центробежная сила направлена по нормали к мгновенной траектории тела (сорные примеси, кожица, узелки, группа волокон, одиночное волокно и т.д.). В итоге тело под действием этих двух сил движется по некоторой кривой.

При изучении движения волокон, сорных частиц и других составляющих волокнистой пыли часто используется величина, называемая скоростью витания, которая определяется из условия равномерного падения тела в неподвижной воздушной среде. Автором установлено, что соотношение основных действующих сил пропорционально квадрату скорости витания тела. Таким образом, траектория движения тела формируется как функция 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 [39,40].

#### 1.4. Способы и оборудование для получения (производства) нетканых многослойных материалов

##### 1.4.1. Способы получения (производства) нетканых многослойных материалов

В настоящее время наметилась тенденция к разработке и совершенствованию способов получения многослойных текстильных материалов из различного сырья, что позволяет значительно расширить ассортимент многослойных текстильных материалов. Наибольшую актуальность имеют спосо-

бы, которых позволяют получить различные комбинации слоев по сырьевому составу с различными наполнителями и армированием, благодаря чему они приобретают специфические свойства и могут быть использованы в различных отраслях народного хозяйства.

Известен способ для получения слоистого материала «несостаренная» пленка - «несостаренное» нетканое полотно, в котором пленку и нетканое полотно формируют одновременно и далее в непрерывном процессе обработки образуют слоистый материал. В таком способе пленку получают в поточном процессе, в то же время формируется нетканое полотно, при этом вновь образуемую пленку сразу после ее образования ламинируют на нетканое полотно [41].

Недостатком данного способа является то, что для получения слоистого материала используют рулоны нетканого материала, полученного на отдельной поточной линии известными способами, отличающимися высокой себестоимостью и трудоемкостью.

Известен способ для получения многослойного волокнистого материала в производстве нетканых полотен, заключающийся в том, что чесание и формирование двух волокнистых слоев осуществляют на двух чесальных аппаратах, расположенных друг за другом, затем холсты поступают на конвейер, где происходит их сложение и уплотнение, после чего полученный полуфабрикат направляют на преобразователь прочеса [42].

Недостатком данного способа является его трудоемкость, высокая себестоимость; получаемые волокнистые слои достаточно неравномерны по длине и толщине волокон. Кроме того, с одной стороны этот способ нецелесообразен для изготовления многослойного волокнистого материала из низкосортного сырья и отходов, а с другой – при получении качественного продукта, содержащего длинные и тонкие волокна, большое количество прядомых, но коротких волокон выделяется в отходы.

Известен способ получения производства многослойного продукта в производстве нетканых материалов, заключающийся в том, что с главного

барабана валичной чесальной машины верхний слой волокон в верхней точке снимается верхним съемным барабаном, а в нижней точке глубинный слой волокон – нижним съемным барабаном, после чего волокнистые слои подаются конвейерами к месту соединения слоев методом наложения [43].

Недостатком данного способа является то, что процесс съема происходит в основном из двух точек, отсутствует процесс аэродинамической рассортировки волокон по физико-механическим показателям, кроме того, нет механизма воздействия на получение слоев, состоящих из волокон с заданными по длине и по толщине параметрами, а также нет контроля толщины волокнистых слоев.

Известен способ аэродинамической рассортировки волокон, заключающийся в рассортировке смеси на отдельные составляющие по физико-механическим свойствам под действием центробежных сил при сбросе смеси волокон с дискретизирующего барабана с возможностью регулировки выхода количества составляющих смеси по секциям. [44].

Недостатком данного способа является грубая рассортировка смеси по компонентам, отсутствие возможности формирования настилов, отсутствие контроля получаемых составляющих по толщине и физико-механическим показателям волокон, отсутствие обеспыливания компонентов и удаления сорных примесей.

Наибольший интерес вызывает способ получения многослойных волокнистых материалов, заключающийся в создании в распределительной камере внутренних воздушных потоков, направленных в зону формирования волокнистых слоев с разделением их на составляющие: в зону сороудаления и в зону обеспыливания [45].

Однако данный способ не обеспечивает достаточную регулировку траектории перемещения волокнистого материала, особенно, движения воздушно-волокнистой смеси в зону верхней пары сетчатых барабанов, формирующих верхний настил, а так же не предусмотрена дополнительная возможность снижения неровноты получаемых слоев при их сложении.

#### 1.4.2. Оборудование для производства нетканых многослойных материалов

Для осуществления выше описанных способов получения нетканых многослойных материалов было разработано различное оборудование.

Известно устройство для формирования волокнистого холста, содержащее два питающих валика, два расчесывающих барабана, два конденсора, два узла съема и формирования волокнистых слоев. Питающий столик служит для разделения питающей волокнистой массы на два потока. Каждый поток волокнистой массы проходит параллельно процессы разрыхления, очистки и формирования волокнистых слоев, которые затем соединяются на выпускном транспортере в готовый волокнистый холст [46].

Недостатком данного устройства для получения волокнистого холста, состоящего из двух слоев, является то, что отсутствует бункерный питатель, обеспечивающий равномерное питание устройства и снижение неровноты питающей волокнистой массы; нет достаточного разрыхления клочков волокон и достаточной их очистки; отсутствует рассортировка волокон по скорости витания и распределения их по слоям; нет контроля толщины выходящих слоев и образования трехслойного материала.

Известно устройство для получения многослойного волокнистого материала в производстве нетканых полотен, содержащее два чесальных аппарата, расположенных друг за другом и содержащих главный и съемный барабаны, транспортер, на который поочередно укладываются слои волокон, и транспортер, где в последующем происходит их уплотнение [47].

Недостатком данного устройства для получения многослойного волокнистого материала в производстве нетканых полотен является то, что выпускные узлы чесальных аппаратов недостаточно оперативно отслеживают и реагируют на изменение линейной плотности выходящего слоя, что ведет к неравномерности конечного продукта, кроме того, в устройстве отсутствует

механизм контроля однородности выходящего продукта по отдельным компонентам.

Известно устройство для производства многослойного продукта в производстве нетканых материалов, выполненное в виде валичной чесальной машины, содержащей главный барабан, верхний съемный барабан, нижний съемный барабан, отдельные конвейеры для транспортировки каждого компонента к месту соединения слоев методом наложения на общем конвейере [48].

Недостатком данного устройства для производства многослойного продукта в производстве нетканых материалов является отсутствие возможности регулировки получаемых слоев волокон по толщине, а также узлы съема не имеют возможности проводить перераспределение волокон по слоям, кроме того, в узлах съема не предусмотрена дополнительная очистка волокнистого материала.

Известен разрыхлитель-очиститель с многоступенчатой очисткой, содержащий бункер, подающие валы, питающие цилиндры, пыльчатый барабан и выпускной трубопровод. Под пыльчатым барабаном установлен сетчатый барабан, связанный с механизмом пневмоотсоса, сороотбойный нож и чешущий сегмент, за чешущим сегментом по ходу волокнистого продукта на ограждении вдоль образующей пыльчатого барабана выполнены щели для поступления воздушного потока. Также под пыльчатым барабаном находится камера распределения с установленным на выходе узлом для формирования волокнистого слоя в виде сетчатого барабана, под сетчатым барабаном установлена регулирующая заслонка. Полный съем волокон с пыльчатого барабана осуществляется благодаря аэродинамическому съему, обеспечивающему поступление дополнительного воздушного потока через щели на ограждении пыльчатого барабана и отсосу технологического воздуха сетчатым барабаном, снимающим волокна и клочки волокон с пыльчатого барабана. Регулирование неровноты волокнистого продукта осуществляется исполнительным механизмом, который автоматически изменяет скорости питающих цилинд-

ров в зависимости от количества волокнистого продукта на заслонке под сетчатым барабаном [49].

Недостатком данного устройства является отсутствие очистки волокнистой смеси в бункере и равномерного распределения её плотности на выходе из бункера, элемент рассортировки волокон после съема с пильчатого барабана присутствует, однако этот процесс не управляем и в конечном итоге все волокна независимо от их физико-механических свойств собираются в один слой.

Наибольший интерес представляет устройство для получения многослойных волокнистых материалов, содержащее бункер, подающие валы, питающие цилиндры, пильчатый барабан, сороотбойный нож, неподвижный чешущий сегмент и камеру распределения с установленным на выходе узлом для формирования волокнистых слоев, при этом на боковых стенках бункера выполнена перфорация с пневмоотсосом, камера распределения выполнена с сечением в виде прямоугольного треугольника, по одному из катетов которого на стенке камеры, имеется перфорация, связанная с пневмоотсосом, а по другому катету, расположен узел для формирования волокнистых слоев в виде попарно установленных сетчатых барабанов со встречным вращением, по выходе из которых установлены транспортеры с контролирующими самогрузочными валиками, при этом в нижнем углу треугольника камеры установлен узел сороудаления [50].

Недостатками данного устройства являются: малая интенсивность разрыхления клочков волокон, особенно натурального происхождения (льна, джута, отходов); неэффективная работа зоны съема волокон с пильчатого барабана; неоптимальная конфигурация верхней контролирующей зоны обеспыливания камеры распределения волокон, которая не обеспечивает заданного перераспределения волокон по зонам формирования настилов; не предусмотрена возможность получения трехслойных волокнистых материалов.

## 1.5. Выводы по главе

1. Из анализа известных научных работ, посвященных теоретическому исследованию процесса разрыхления волокнистых материалов в разрыхлителях-очистителях следует, что до сих пор не существует единой теоретической концепции, в рамках которой описывалась бы механика воздействия рабочих органов и их рабочих элементов на волокнистый комплекс. Критический анализ научных работ в области исследования движения волокнистых комплексов в рабочей зоне колосниковой решетки показывает, что они основаны на значительных приближениях. В отдельных работах поверхность колосниковой решетки принималась за гладкую, причем не учитывались силы, возникающие в момент удара клочка о переднюю грань колосников. Таким образом, рассмотренные выше теоретические исследования не отражают реальный процесс воздействия рабочих элементов барабанов и колосниковой решетки на волокнистый материал, а также его движение по рабочим элементам барабанов и колосниковой решетке.

2. Как следует из анализа литературных источников теоретические исследования и примеры практического использования инерционно-аэродинамической рассортировки волокон и сорных примесей подтверждают недостаточный уровень разработки данного способа и оборудования для его осуществления.

3. На основе анализа опыта работы отечественных и зарубежных фирм, занимающихся разработкой технологий и оборудования для производства нетканый многослойных материалов, в том числе, армированных, установлено, что есть потребность расширения ассортимента используемых волокон, повышения однородности по составу и физико-механическим свойствам получаемых слоев, рациональности использования сырья, сокращения технологических переходов и снижения трудозатрат, расширения области применения нетканых многослойных материалов, в том числе, армированных.

## **2. РАЗРАБОТКА СПОСОБА И ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ МНОГОСЛОЙНЫХ ВОЛОКНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ И ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА РАЗРАБОТАННОМ ОБОРУДОВАНИИ**

### **2.1. Способ получения многослойных волокнистых материалов и оборудование для его осуществления**

На основе изучения опыта работы отечественных и зарубежных фирм, занимающихся разработкой технологий и оборудования для производства многослойных волокнистых материалов, а также на основе анализа теоретических и практических исследований [21...24,52...56], нами разработаны новый способ получения многослойных волокнистых материалов и оборудование для его осуществления [57]. Разработанный способ был использован для получения нетканых многослойных армированных материалов, в которых роль арматуры выполняет включаемое между двумя волокнистыми слоями тканое полотно [58]. Полученный вид нетканых многослойных материалов может использоваться как заменитель сукна в производстве текстильной продукции специального назначения, о чем будет сказано в главе 5.

Разработанный способ получения многослойных волокнистых материалов, заключается в направленном перемещении под воздействием воздушных потоков волокнистого потока и разделении последнего на фракции по зонам формирования слоев в распределительной камере, в которой создаются внутренние воздушные потоки, направленные в зону формирования волокнистых слоев с разделением их на составляющие, в зону сороудаления и в зону обеспыливания (Патент №2471897 Российская Федерация). [57].

На рисунке 2.1 представлена технологическая схема разработанного устройства для получения многослойных волокнистых материалов.

Устройство для получения многослойных волокнистых материалов содержит бункер 1, на стенках которого выполнена перфорация с пневмоканалом 2, под бункером размещены пара подающих валов 3 и пара питающих цилиндров 4. Под последними установлен рабочий барабан 5, обтянутый пильчатой гарнитурой 6. На периферии пильчатого барабана размещены со-роотбойный нож 7 и неподвижный чешущий сегмент 8, а под последним выполнена щель 9 для поступления воздушного потока. Под пильчатым барабаном расположена распределяющая камера 10, сечение которой представляет прямоугольный треугольник со сторонами  $a$ ,  $b$ ,  $c$ . На катете  $b$  треугольника (камера 10 - зона распределения) размещены попарно сетчатые барабаны 11 и 12. Внутри сетчатых барабанов 11 размещены неподвижные сегменты 13 с пневмоотсосом, а внутри сетчатых барабанов 12 – неподвижные сегменты 14 с пневмоотсосом, имеющие подвижные заслонки 15, меняющие углы раскрытия зоны пневмоотсоса  $\alpha$  и  $\beta$ . За сетчатыми барабанами установлены транспортеры 16 с самогрузочными контролирующими валиками 17. На катете  $a$  треугольника (верхняя стенка камеры 10) установлена верхняя контролирующая зона обеспыливания 18 в виде перфорации с пневмоканалом. В нижнем углу треугольника, на пересечении сторон  $b$ ,  $c$  (нижняя наклонная стенка камеры), установлен узел сороудаления 19 в виде щели с трубопроводом, подключенным к пневмоотсосу. Величина угла  $\lambda$  наклона стороны  $c$  (гипотенузы треугольника) к горизонтали составляет  $55 - 65^\circ$ .

Устройство для получения многослойных волокнистых материалов работает следующим образом.

Волокнистый продукт с предыдущей машины агрегата конденсором подается в бункер 1. Воздушный поток проникает в верхнюю часть волокнистого столба и, захватывая пыль, через перфорацию на боковых стенках бункера 1 отсасывается пневмоотсосом 2.

В нижней части бункера 1 клочки волокон захватываются подающими валами 3 и направляются к питающим цилиндрам 4, последние подводят клочки тонким слоем под действие рабочего барабана 5, обтянутого пильча-

той гарнитурой 6. Рабочий барабан 5, имея большую частоту вращения, зубьями гарнитуры 6 ударяет по выступающей из питающих цилиндров 4 бородке волокон и вычесывает из нее отдельные клочки. Под действием наносимых ударов и разделения клочков волокон ослабевают связи крупных сорных примесей с волокнами, благодаря чему они сравнительно легко удаляются. Скорость крупных сорных примесей и клочков волокон в результате механического воздействия рабочего барабана 5 и воздушного потока в кратчайшее время достигает окружной скорости рабочего барабана 5. Таким образом, скорости движения клочков волокон и крупных сорных примесей в зоне действия сороотбойного ножа 7 приблизительно одинаковы. При этом крупные сорные примеси, обладающие большей кинетической энергией под действием центробежных сил, отделяются от рабочего барабана 5 и выделяются сороотбойным ножом 7 в камеру для отходов.

Дальнейшее разрыхление клочков волокон происходит при взаимодействии с неподвижным чешущим сегментом 8, установленным после сороотбойного ножа 7. Съем клочков волокон с гарнитуры 6 рабочего барабана 5 осуществляется воздушными потоками, создаваемыми узлами пневмоотсоса, расположенными внутри сетчатых барабанов 11 и 12, а также воздушным потоком, подаваемым через щель 9.

Для определения линий тока в камере распределения 10 было проведено математическое моделирование динамики движения воздушных потоков. Результаты расчета, выполненного с применением современного математического программного пакета MATLAB, представлены на рисунке 2.2.

В камере распределения 10 протекают следующие воздушные потоки (рис. 2.2):

- воздушные потоки, образованные узлами пневмоотсоса в сетчатых барабанах 11 и 12 (внутри неподвижных сегментов 13 и 14), направленные от рабочего барабана 5 к сетчатым;

- воздушный поток, нагнетаемый через щель 9, направленный опять же в сторону сетчатых барабанов 11 и 12;

- дополнительный воздушный поток, создаваемый разрежением в верхней контролирующей зоне обеспыливания 18;

- дополнительный воздушный поток, создаваемый узлом пневмоочистки камеры 19, направленный вдоль стенки с треугольника распределяющей камеры 10.

Создаваемые в распределяющей камере 10 воздушные потоки, направленные в зону формирования волокнистых слоев (катет  $b$  треугольника) – к сетчатым барабанам 11 и 12 обеспечивают тонкую рассортировку волокон, а именно разделения волокнистого потока на фракции, по зонам сбора на поверхностях верхней и нижней пар сетчатых барабанов 11 и 12. Разделение волокнистого потока по верхней и нижней парам сетчатых барабанов 11 и 12 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 11 и 12, а волокна, имеющие большую скорость витания, – к нижней. 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 11 и 12 будут оседать более длинные и тонкие волокна, а на поверхности нижней – более короткие и толстые.

В сетчатых барабанах 12 установлены неподвижные сегменты 14 с подвижными заслонками 15, позволяющими изменять угол раскрытия всасывающего факела. Заслонки 15 работают в паре – изменение на больший угла раскрытия верхнего неподвижного сегмента 14, расположенного внутри верхнего сетчатого барабана 12, влечет изменение на меньший угла раскрытия нижнего неподвижного сегмента 14, расположенного в нижнем сетчатом барабана 12, и наоборот, что обеспечивает увеличение зоны сбора волокон на поверхности верхнего сетчатого барабана 12 и уменьшение зоны сбора волокон на поверхности нижнего сетчатого барабана 12 и наоборот соответственно. Увеличение и уменьшение зоны сбора волокон на поверхности сетчатых

барабанов 12 обеспечивает соответственно увеличение и уменьшение количества волокон, осаждаемых на поверхностях сетчатых барабанов 12, а, следовательно, увеличение и уменьшение толщины слоев волокнистого материала, формируемых на транспортерах 16.

Верхняя контролирующая зона обеспыливания 18 имеет возможность регулировки разрежения воздуха в данном узле, за счет чего увеличивается или уменьшается дополнительный воздушный поток, создаваемый этим узлом. Увеличение или уменьшение данного воздушного потока соответственно в большей или меньшей степени отклоняет направление течения основных воздушных потоков, транспортирующих волокна от рабочего барабана 5 к сетчатым барабанам 11 и 12, в сторону верхней пары сетчатых барабанов, а, следовательно, увеличивается и уменьшается толщина слоев волокнистого материала, формируемых на верхнем и нижнем транспортерах 16 соответственно. Одновременно верхняя контролирующая зона обеспыливания 18 удаляет из распределительной камеры 10 запыленный воздух.

Слой волокнистого материала, образующийся на поверхности пары сетчатых барабанов 11 и 12, поступает на транспортер 16, которые передают волокнистый материал на последующие машины. Толщина слоя волокнистого материала на транспортерах 16 контролируется самогрузочными валиками 17. Изменение толщины волокнистого слоя на транспортере 16 под контролирующим валиком 17 через датчик в валике передает сигнал к изменению положения заслонок 15 неподвижных сегментов 14 сетчатых барабанов 12, а также изменению величины расхода воздуха в узле верхней контролирующей зоны обеспыливания 18. Согласованная работа узлов формирования волокнистых слоев, верхней зоны обеспыливания 18 обеспечивает однородность подготавливаемых на транспортерах 16 настилов по физико-механическим показателям волокон и толщине.

Сформированные на транспортерах 16 слои могут использоваться как отдельно для производства пряжи разной линейной плотности, так и в качестве верхнего слоя при производстве пряжи, а нижнего – при производстве

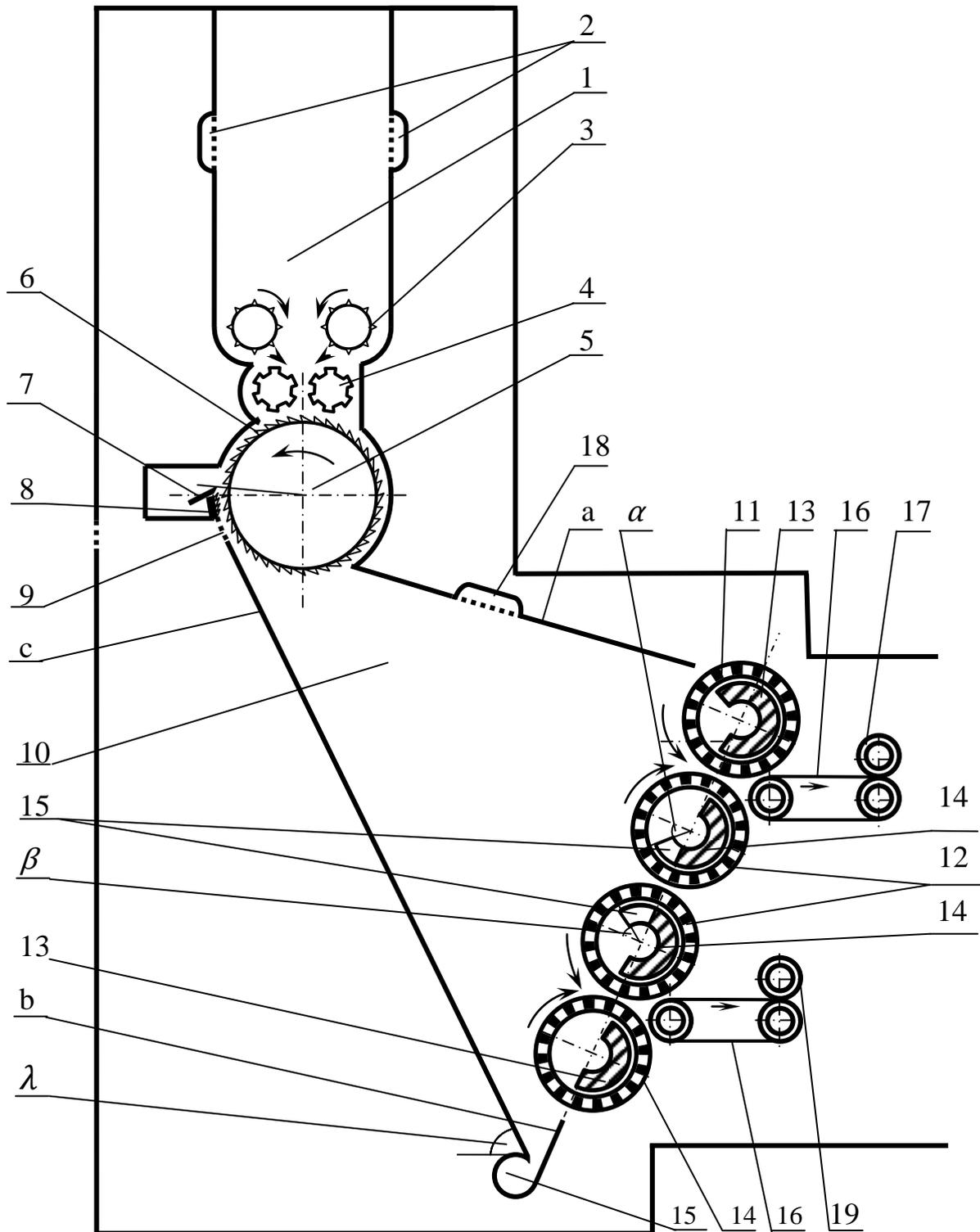


Рис. 2.1. Технологическая схема устройства для получения многослойного волокнистого материала

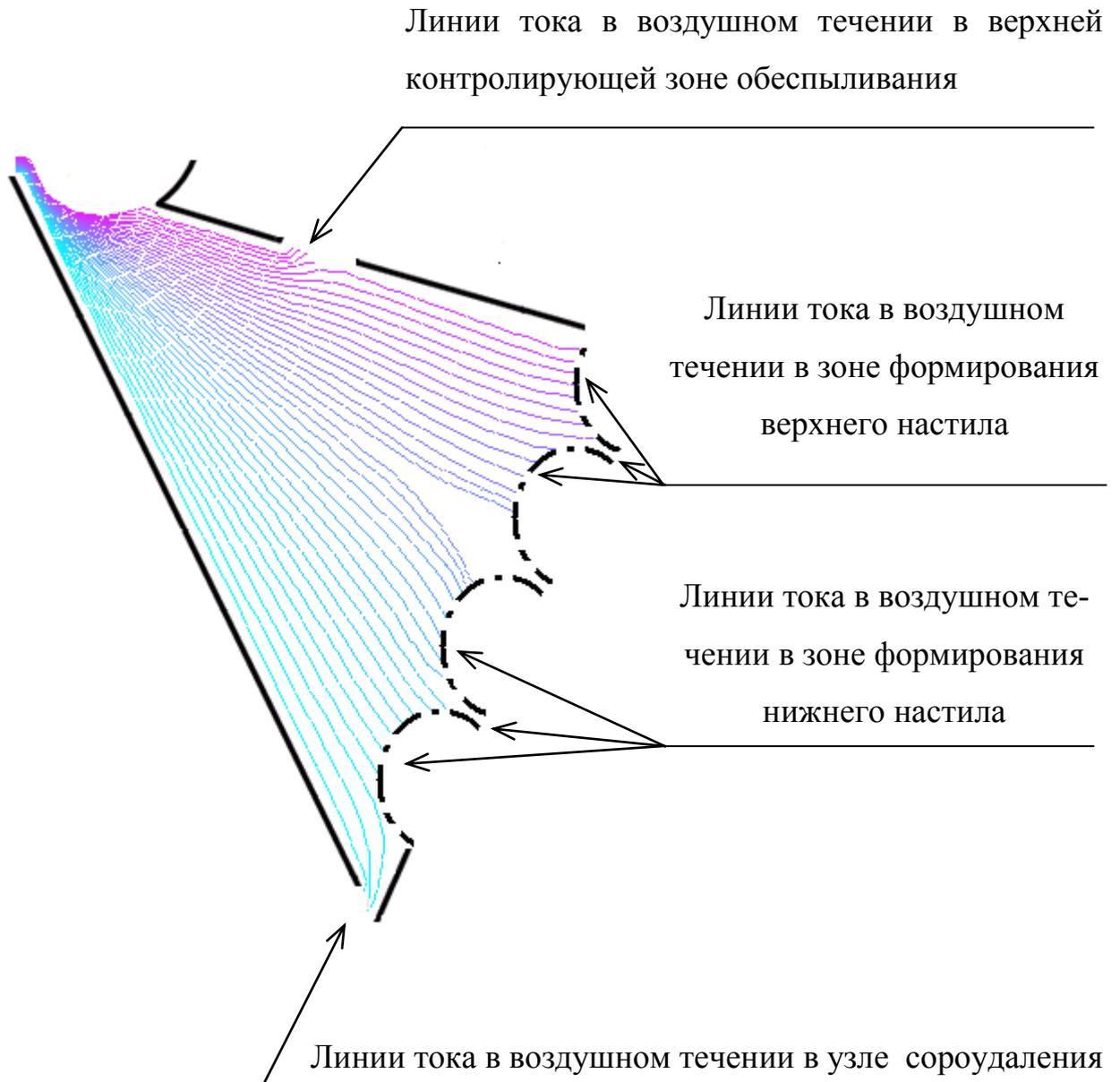


Рис. 2.2. Линии тока воздушных течений в распределяющей камере

нетканых материалов, кроме того, слои могут быть использованы для производства многослойных нетканых материалов.

Так как каждый слой на транспортерах 16 характеризуется однородными по физико-механическим свойствам волокнами, это позволяет получить многослойный материал с запланированными свойствами.

Узел пневмоочистки камеры 19 создает дополнительный воздушный поток, направленный вдоль нижней стенки с распределяющей камеры 10. Крупные сорные частицы, выделяющиеся в распределяющей камере 10, под действием воздушного потока и сил притяжения двигаются вдоль стенки с (гипотенузы треугольника) распределяющей камеры 10 и попадают в зону действия всасывающего факела в узле сороудаления 19.

При использовании разработанного устройства в технологической линии транспортировка волокнистого продукта с предыдущей машины разрыхлительно-очистительного агрегата в бункер разработанного устройства осуществляется конденсором. Однако, при использовании разработанного устройства после чесальной машины прочес подается с помощью транспортера. В таком случае вместо бункера разработанное устройство снабжено питающим конвейером (рис. 2.3).

Равномерная подача волокнистого материала в устройство для получения многослойного волокнистого материала осуществляется посредством транспортера 1 с прижимными валиками 2, которые гарантируют равномерное распределение прочеса с чесальной машины по всей рабочей ширине устройства. Прижимные валики 2 имеют пневматическую нагрузку, которая регулируется в зависимости от вида перерабатываемого волокна и толщины прочеса. Прочес транспортером 1 направляется к паре питающих валиков 3, обтянутых пильчатой гарнитурой, которые подводят прочес тонким слоем под действие пильчатого барабана 4.

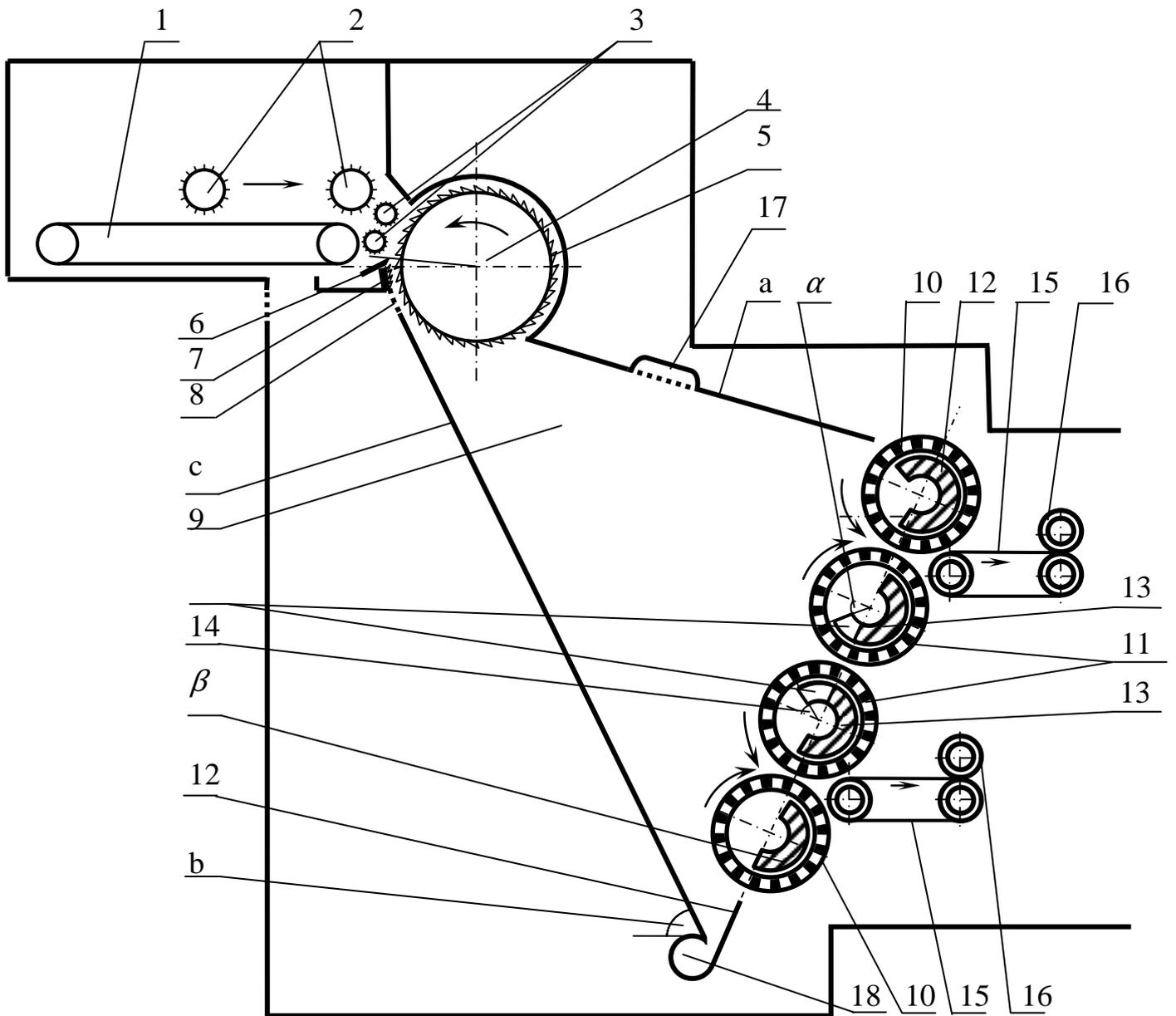


Рис. 2.3. Технологическая схема устройства для получения многослойного волокнистого материала, снабженного питающей решеткой

## 2.2. Технологические процессы, влияющие на качество разделения на фракции волокнистого потока в камере распределения разработанного оборудования

Важную роль в получении на транспортерах слоев однородных по физико-механическим показателям волокон и равномерных по толщине играют технологические процессы, протекающие на оборудовании разрыхлительно-очистительного агрегата и технологические процессы, протекающие на разработанном оборудовании.

Так совершенствование процессов подготовки, в том числе, разрыхления, очистки, смешивания непосредственно влияет на качество разделения на фракции волокнистого потока в камере распределения разработанного оборудования.

Важную роль в процессах разрыхления волокнистых материалов, выделения сорных примесей и уменьшения величины клочков играют два взаимосвязанных фактора. Первый фактор - это воздействие на клочки вращающихся рабочих органов, второй фактор (аэродинамический) - это воздействие на клочки вращающихся воздушных потоков в камере разрыхлителя.

Глубокие теоретические исследования аэродинамических и технологических процессов, протекающие на разрыхлителях-очистителях будут способствовать как, оптимизации работы, повышения эффективности, созданию нового высокоэффективного технологического оборудования для разрыхления и очистки волокнистых материалов, так и, в конечном итоге, улучшению разделения на фракции волокнистого потока в камере распределения разработанного оборудования. В связи с этим становится необходимым разработка математического аппарата для описания процессов разрыхления в рабочих зонах и в целом на современном оборудовании для разрыхления и очистки волокнистых материалов, что и будет осуществлено в последующих пунктах работы.

Для оптимизации технологического процесса смешивания волокнистых материалов на смешивающих машинах нами были использованы программные продукты для оптимизации технологического процесса смешивания волокнистых материалов в дозаторе-смесителе [59]. В процессе исследования варьировалась высота волокнистого материала в вертикальных камерах, а также величины давления в питающей и обеспыливающей системах. Цель оптимизации заключалась в повышении точности дозировки волокнистых компонентов перед поступлением на транспортер и, тем самым, в снижении значения такой важной характеристики настила, как неравномерность смеси.

Ввиду того, что в процессе исследования перерабатывались волокнистые смеси, состоящие только из хлопка разных сортов, во время исследования отслеживались изменения физико-механических показателей полуфабриката и готовой продукции. Было установлено, что в результате использования разработанной программы для оптимизации технологического процесса смешивания волокнистых материалов в дозаторе-смесителе, конечный готовый продукт имеет меньшее отклонение по физико-механическим показателям.

Процесс получения равномерных по толщине слоев на разработанном оборудовании также зависит от работы его основных узлов: работы бункерного питателя, работы узла рабочего барабана, согласованности работы узлов формирования волокнистых слоев, верхней зоны обеспыливания и нижней зоны сороудаления. Эффективная и согласованная работа данных узлов обеспечивает однородность по физико-механическим показателям слоев, формирующихся на транспортерах, а также равномерность их по толщине.

Следует отметить, что продолжение работы будет заключаться в дальнейшем совершенствовании технологического процесса разрыхления и очистки на разработанном оборудовании для осуществления нового способа получения многослойных волокнистых материалов, которое будет направлено на модернизацию зоны питания, а также на увеличение количества рабочих

барабанов с различными по конструкции и размерами рабочих элементов, с целью обеспечения роста интенсивности разрыхления клочков волокон, вплоть до разделения их на отдельные волокна.

### 2.3. Разработка теории выравнивающей способности устройства для получения многослойных волокнистых материалов

При разработке способа получения многослойных волокнистых материалов и устройства для его осуществления особое внимание уделялось выравнивающей способности устройства в зоне питания, повышению однородности настилов по физико-механическим свойствам, получаемых в результате разделения волокнистого потока на фракции в камере, с одновременным снижением неровноты настилов по толщине на выходе.

С целью минимизации неровноты настила, производимого устройством для получения многослойных волокнистых материалов [57], была изучена зона питания, в которую поступает волокнистый материал. В работах [60...62], получены аналитические зависимости, моделирующие линейную плотность настила в зависимости от механических свойств поступающего в зону питания волокнистого материала и его засоренности, от давления в воздухе над столбом волокон в шахте бункера, а также от аэродинамических параметров аспирационного устройства [63].

В зону питания разработанного устройства (бункерный питатель) поступает засоренная волокнистая смесь (рис. 2.4). Высота заполнения шахты бункера равна  $h$ . Пусть  $a$  - расстояние между передней и задней стенками бункера,  $b$  - ширина бункера. Обозначим через  $p$  давление воздуха в бункере, а через  $y_3$  - засоренность волокнистой смеси в долях единицы.

Полагаем, что упругие свойства волокнистой составляющей смеси подчиняются следующей линейной зависимости:

$$\rho_{ex} = k\sigma(x)/g + \rho_0, \quad (2.1)$$

где  $\rho_{ex}$  – плотность волокнистой составляющей на уровне  $x$ ;

$g$  – ускорение свободного падения;

$\sigma(x)$  – давление, сжимающее тонкий слой волокон в шахте бункера, в зависимости от  $x$ ;

$k$  – коэффициент сжимаемости волокнистого продукта, учитывающий влияние сжимающего давления  $\sigma(x)$  на его плотность;

$\rho_e$  – плотность тонкого слоя волокон в несжатом состоянии.

Так как рассматриваемый бункерный питатель не содержит обеспыливающей системы, то из общей теории бункерных питателей, изложенной в [62,63], следует, что величина линейной плотности настила  $T_w$  определяется по следующей формуле [62...66]:

$$\begin{aligned}
 T_w &= \frac{10^{-6} ab}{Y} \left\langle \rho_e \left\{ \frac{k}{\alpha Y - k} [1 - \exp(-Ah)] + 1 \right\} + \frac{kp}{g} [2 - \exp(-Ah)] \right\rangle = \\
 &= \frac{10^{-6} ab}{Y} \left\langle \rho_e \left[ \frac{\alpha Y - k \exp(-Ah)}{\alpha Y - k} \right] + \frac{kp}{g} [2 - \exp(-Ah)] \right\rangle = \\
 &= \frac{10^{-6} ab}{Y} \left\{ \frac{\rho_e g [\alpha Y - k \exp(-Ah)] + kp(\alpha Y - k) [2 - \exp(-Ah)]}{g(\alpha Y - k)} \right\} = \\
 &= \frac{10^{-6} ab \{ \rho_e g [\alpha Y - k \exp(-Ah)] + kp(\alpha Y - k) [2 - \exp(-Ah)] \}}{gY(\alpha Y - k)}, \quad (2.2)
 \end{aligned}$$

где  $Y = 1 - y_3$ ;  $\alpha = \frac{2\mu f(a+b)}{ab}$ ;  $A = \alpha - Y^{-1}k$ ;

$\rho_e$  – плотность волокнистой составляющей продукта, поступающего в бункер в несжатом состоянии;

$\mu$  – коэффициент поперечного распора (отношение давления волокнистой смеси на стенки бункера к давлению, сжимающему слой в вертикальном направлении);

$f$  – коэффициент трения волокнистой смеси о стенки бункера.

Величина  $\rho_e$  и  $h$  являются случайными. Обозначим дисперсию величины  $\rho_e$  через  $s_\rho^2$ , дисперсию  $h$  – через  $s_h^2$ , а дисперсию величины  $T_w$  через  $s_T^2$ .

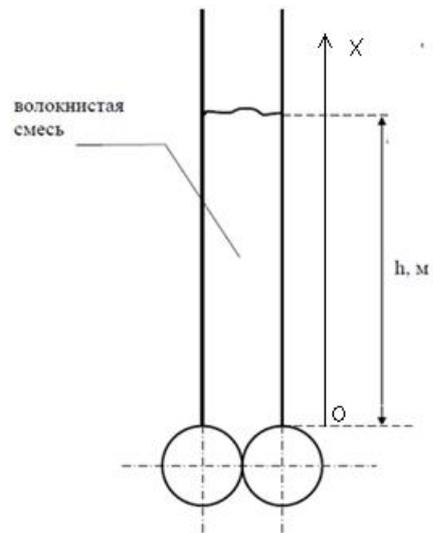


Рис. 2.4. Схема бункерного питателя

Пусть  $\sigma_\rho$ ,  $\sigma_h$ ,  $\sigma_T$  средние квадратические отклонения величин  $\rho_\epsilon$ ,  $h$ ,  $T_w$ , то есть

$$\sigma_\rho = \sqrt{s_\rho^2}; \quad \sigma_h = \sqrt{s_h^2}; \quad \sigma_T = \sqrt{s_T^2}.$$

Согласно [67] дисперсия функции  $T_w$  вычисляется по формуле

$$s_T^2 = \left( \frac{\partial T_w}{\partial \rho_\epsilon} \right)^2 s_\rho^2 + \left( \frac{\partial T_w}{\partial h} \right)^2 s_h^2.$$

Следовательно,

$$\sigma_T^2 = \left( \frac{\partial T_w}{\partial \rho_\epsilon} \right)^2 \sigma_\rho^2 + \left( \frac{\partial T_w}{\partial h} \right)^2 \sigma_h^2.$$

Коэффициенты вариации величин  $T_w$ ,  $\rho_\epsilon$  и  $h$  по определению выражаются формулами

$$c_{v,T} = 100 \frac{\sigma_T}{T_w} \% ; \quad c_{v,\rho} = 100 \frac{\sigma_\rho}{\rho_\epsilon} \% ; \quad c_{v,h} = 100 \frac{\sigma_h}{h} \% .$$

Поэтому

$$(c_{v,T} T_w)^2 = \left( \frac{\partial T_w}{\partial \rho_\epsilon} \right)^2 (c_{v,\rho} \rho_\epsilon)^2 + \left( \frac{\partial T_w}{\partial h} \right)^2 (c_{v,h} h)^2.$$

Отсюда

$$c_{v,T}^2 = \left( \frac{\rho_\epsilon}{T_w} \frac{\partial T_w}{\partial \rho_\epsilon} \right)^2 c_{v,\rho}^2 + \left( \frac{h}{T_w} \frac{\partial T_w}{\partial h} \right)^2 c_{v,h}^2,$$

где

$$\begin{aligned}
\frac{\partial T_w}{\partial \rho_\epsilon} &= \frac{10^{-6} ab}{Y} \left\{ \frac{k}{\alpha Y - k} [1 - \exp(-Ah)] + 1 \right\} =; \\
&= \frac{10^{-6} ab}{Y} \left[ \frac{k - k \exp(-Ah) + \alpha Y - k}{\alpha Y - k} \right] = \\
&= \frac{10^{-6} ab}{Y} \left[ \frac{\alpha Y - k \exp(-Ah)}{\alpha Y - k} \right] = \\
&= \frac{10^{-6} ab [\alpha Y - k \exp(-Ah)]}{Y(\alpha Y - k)}. \\
\frac{\partial T_w}{\partial h} &= \frac{10^{-6} ab}{Y} \left\{ \rho_\epsilon \left[ \frac{kA \exp(-Ah)}{\alpha Y - k} \right] + \frac{kA p \exp(-Ah)}{g} \right\}. \\
&= \frac{10^{-6} ab k A \exp(-Ah)}{Y} \left\{ \frac{\rho_\epsilon}{\alpha Y - k} + \frac{p}{g} \right\} = \\
&= \frac{10^{-6} ab k A \exp(-Ah) [g \rho_\epsilon + p(\alpha Y - k)]}{Y g (\alpha Y - k)}.
\end{aligned}$$

Следовательно,

$$\begin{aligned}
c_{v,T}^2 &= \left\langle \frac{\rho_\epsilon}{T_w} \frac{10^{-6} ab}{Y} \left\{ \frac{k}{\alpha Y - k} [1 - \exp(-Ah)] + 1 \right\} \right\rangle^2 c_{v,\rho}^2 + \\
&+ \left\{ \frac{10^{-6} ab k A \exp(-Ah) [g \rho_\epsilon + p(\alpha Y - k)]}{Y g T_w (\alpha Y - k)} \right\}^2 c_{v,h}^2.
\end{aligned}$$

В частном случае, когда можно считать, что коэффициент вариации величины  $h$  равен нулю ( $c_{v,h} = 0$ ), получаем, что

$$c_{v,T} = \left| \frac{\rho_\epsilon}{T_w} \frac{10^{-6} ab}{Y} \left\{ \frac{k}{\alpha Y - k} [1 - \exp(-Ah)] + 1 \right\} \right| c_{v,\rho}$$

или, проводя преобразования,

$$c_{v,T} = \frac{g \rho_\epsilon [\alpha Y - k \exp(-Ah)]}{g \rho_\epsilon [\alpha Y - k \exp(-Ah)] + k p [2 - \exp(-Ah)] (\alpha Y - k)} c_{v,\rho}. \quad (2.3)$$

## 2.4. Динамика волокнистых комплексов в процессе их аэродинамического съема с зубьев вращающихся пильчатых барабанов

Исследования по моделированию аэросъема волокнистых комплексов рассматривались ранее в [22,23,68]. В них были приняты следующие два допущения: во-первых, волокнистый комплекс моделировался материальной точкой, и, во-вторых, скорость воздушного потока в межвитковом пространстве принималась постоянной. В приведенной ниже методике рассматривается математическая модель, в которой учитываются протяженность волокнистого комплекса, и то, что скорость воздуха неравномерно распределена в межвитковом пространстве. Целью настоящей работы является задача определения взаимосвязи параметров гарнитуры с радиусом и частотой вращения барабана при учете неравномерности скорости воздушного потока, обтекающего волокнистый комплекс при аэросъеме [69...73].

Пусть радиус пильчатого барабана  $R_B$ ,  $h_z$  - высота зуба,  $\beta$  - угол при вершине зуба,  $\omega$  - угловая скорость вращения барабана,  $m$ ,  $v_{вит}$  - масса и скорость витания волокнистого комплекса,  $g$  - ускорение свободного падения,  $n$  - частота вращения барабана [ $\text{мин}^{-1}$ ],  $\vec{v}_{ac}$  - средняя скорость воздуха в аэросъёмном канале. Длина рабочей грани зуба  $l_r = h_z / \cos\beta$ .

Возможны два состояния волокнистого комплекса на рабочей грани зуба гарнитуры. В первом состоянии комплекс зажат между рабочей гранью зуба и тыльной гранью соседнего зуба. Во втором состоянии комплекс не контактирует с тыльной гранью соседнего зуба. Ниже приводится моделирование движения волокнистого комплекса во втором состоянии.

Положим далее, что движение центра масс комплекса в процессе аэросъема происходит по оси  $Oy$  (рис. 2.5). Ось  $Oy$  в данном случае проходит через начальную точку рабочей грани зуба и центр масс волокнистого комплекса. Отсчет оси  $Oy$  происходит от основания зуба.

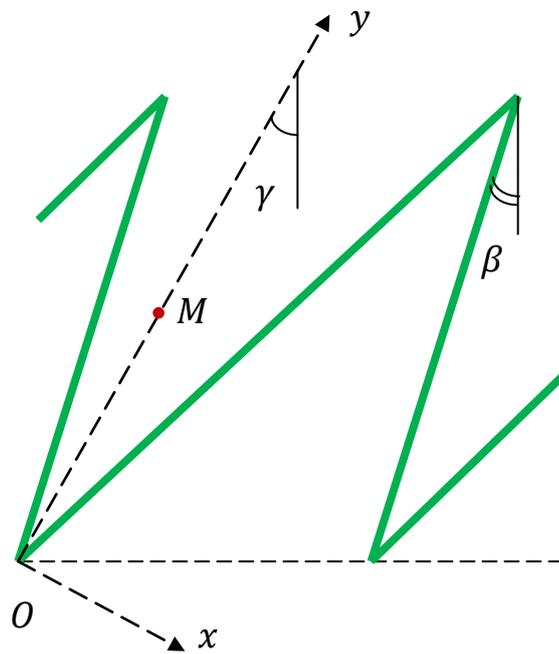


Рис. 2.5. Схема расположения волокнистого комплекса на рабочей грани зуба при аэросъеме и расположения системы координат  $Oxy$

Обозначим угол  $\gamma$  – угол между осью  $Oy$  и перпендикуляром, направленным к основанию зуба. Угол  $\gamma$  по своему значению всегда больше угла  $\beta$ . Очевидно, что при аэросъеме одиночного волокна можно считать, что его центр масс движется вдоль рабочей грани зуба. Центр же масс волокнистого комплекса очерчивает некоторую прямую  $Oy$  (рис. 2.5). То есть в силу неравенства  $\gamma > \beta$  путь движения волокнистого комплекса по сравнению с путем движения одиночного волокна оказывается более протяженным. Следовательно, аэросъем волокнистого комплекса требует большего времени для своего осуществления по сравнению с аэросъемом одиночного волокна, то есть более протяженного канала аэросъема или увеличения скорости воздушного потока в канале. Кроме этого следует заметить, что ось  $Oy$  можно представить себе как рабочую грань воображаемого, условного, зуба по которой движется центр масс волокнистого комплекса при аэросъеме. Так как угол при вершине этого условного зуба  $\gamma$  больше реального угла  $\beta$ , то и движению волокнистого комплекса в этом случае оказывается большее сопротивление.

Путь, преодолеваемый волокнистым комплексом во время аэросъема, приближенно равен  $l_k = h_z / \cos \gamma$ .

Далее считаем, что центр масс волокнистого комплекса расположен в точке  $(0; y)$ , а его скорость –  $v(t)$ , где  $t$  – время. Обозначим время, необходимое для аэросъема волокнистого комплекса через  $t_k$ . В неинерциальной системе координат  $Oxy$  при аэросъеме волокнистый комплекс начинает свое движение с нулевой скорости  $v(0) = 0$  (до аэросъема волокнистый комплекс неподвижен относительно вращающегося барабана) до скорости  $v(t_k) = v_k$  при прохождении всего участка пути, равного  $l_k$ .

Принимаем, что в межвитковой зоне скорость воздушного потока изменяется от значения окружной скорости точек на основании зуба гарнитуры (из-за вязкости воздуха) до значения скорости воздуха на уровне кончиков зубьев гарнитуры. На уровне основания зуба гарнитуры воздушный поток из-за своей вязкости имеет скорость по величине и направлению, равную ок-

ружной скорости барабана при радиусе  $R_B - h_3$ , то есть по модулю равную  $\omega(R_B - h_3)$ . Таким образом, величина скорости воздуха в межвитковом пространстве изменяется в пределах от  $\omega(R_B - h_3)$  до  $v_{ac}$ . В качестве математической модели распределения скорости воздуха по радиусу возьмем формулу расчета скоростей вязкого воздуха между вращающимися цилиндрами [69]:

$$v_a(r) = \frac{1}{R_B^2 - (R_B - h_3)^2} \left\{ \left[ \omega_{yc} R_B^2 - \omega(R_B - h_3)^2 \right] r + \frac{(\omega_{yc} - \omega) R_B^2 (R_B - h_3)^2}{r} \right\}, \quad (2.4)$$

где  $\omega_{yc} = v_{ac} / R_B$  - условная угловая скорость точек воздушной среды на

уровне кончиков зубьев гарнитуры;

$r$  - радиус-вектор точки  $M$ .

В силу малости величины  $h_3$  по сравнению с  $R_B$  имеем, что  $(R_B - h_3)^2 \approx R_B^2 - 2R_B h_3$ , а  $R_B^2 - (R_B - h_3)^2 \approx 2R_B h_3$ . Следовательно,

$$\begin{aligned} v_a(r) &= \frac{1}{2R_B h_3} \left\{ \left[ \omega_{yc} R_B^2 - \omega(R_B^2 - 2R_B h_3) \right] r + \frac{(\omega_{yc} - \omega) R_B^2 (R_B^2 - 2R_B h_3)}{r} \right\} = \\ &= \frac{1}{2h_3} \left\{ \left[ \omega_{yc} R_B - \omega(R_B - 2h_3) \right] r + \frac{(\omega_{yc} - \omega) R_B^2 (R_B - 2h_3)}{r} \right\}. \end{aligned} \quad (2.5)$$

Обратимся к рис. 2.6, где показан перпендикуляр, направленный к основанию зуба из точки  $M$ . Так как расстояние  $MN = u \cos \gamma$ , то  $r = R_B - h_3 + u \cos \gamma$ . Следовательно, формула для скорости воздушного потока в зоне движения комплекса, выраженная в зависимости от  $u$ , имеет вид

$$v_a(u) = \frac{1}{2h_3} \left\{ \left[ \omega_{yc} R_B - \omega(R_B - 2h_3) \right] (R_B - h_3 + u \cos \gamma) + \frac{(\omega_{yc} - \omega) R_B^2 (R_B - 2h_3)}{R_B - h_3 + u \cos \gamma} \right\}. \quad (2.6)$$

На волокнистый комплекс действуют (рис. 2.7) аэродинамическая сила  $F_a$ , центробежная сила  $F_u$ , сила притяжения  $P = mg$ , сила трения  $F_{mp}$ ,

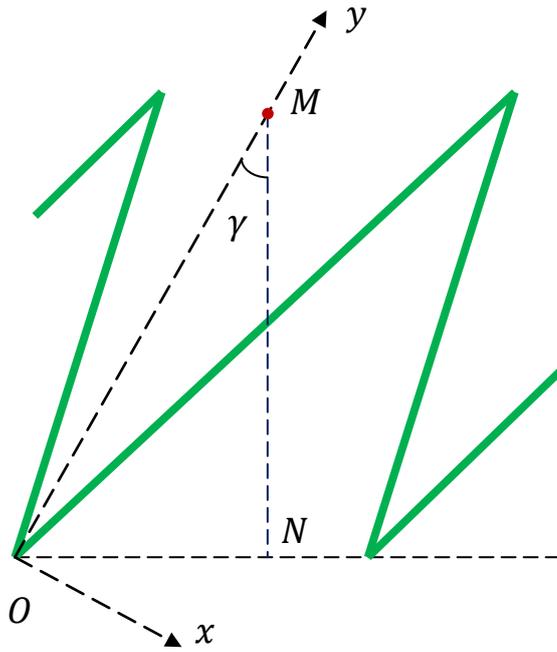


Рис. 2.6. К расчету радиуса-вектора положения центра масс волокнистого комплекса

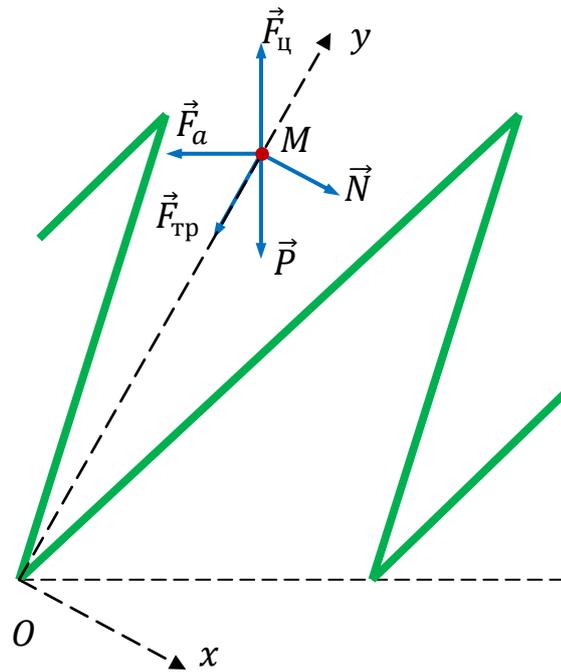


Рис. 2.7. Схема сил, действующих на волокнистый комплекс с центром масс в точке  $M$

сила реакции опоры  $N$  и кориолисова сила. В дальнейших расчетах пренебрежем кориолисовой силой. Уравнения движения волокнистого комплекса вдоль рабочей грани зуба, составленные в соответствии с законом Ньютона, имеют вид:

$$m\ddot{x} = N + P \sin \gamma - F_y \sin \gamma - F_a \cos \gamma; \quad (2.7)$$

$$m\ddot{y} = F_y \cos \gamma - F_a \sin \gamma - P \cos \gamma - F_{mp}. \quad (2.8)$$

Отсюда получаем, что

$$N = F_y \cos \gamma + F_a \cos \gamma - P \sin \gamma.$$

Так как  $F_{mp} = kN$ , где  $k$  – коэффициент трения, то

$$m\ddot{y} = F_y \cos \gamma - F_a \sin \gamma - P \cos \gamma - kN.$$

Подставим в последнюю формулу выражение для  $N$ :

$$m\ddot{y} = F_y \cos \gamma - F_a \sin \gamma - P \cos \gamma - k(F_y \cos \gamma + F_a \cos \gamma - P \sin \gamma).$$

Так как  $F_y = m\omega^2 R_B$ , то

$$\frac{dv}{dt} = (\omega^2 R_B - g)(\cos \gamma - k \sin \gamma) - \frac{F_a}{m}(\sin \gamma + k \cos \gamma). \quad (2.9)$$

Величина скорости воздушного потока относительно центра масс волокнистого комплекса равна  $|v_a(y) - \omega(R_B - h_3 + y \cos \gamma) - v \sin \gamma|$ . Следовательно, согласно [7, 74] можно записать, что аэродинамическая сила, действующая на волокнистый комплекс равна

$$F_a = mg[v_a - \omega(R_B - h_3 + y \cos \gamma) - v \sin \gamma]^2 / v_{sum}^2. \quad (2.10)$$

Тогда имеем, что следующее базовое дифференциальное соотношение моделирует процесс аэродинамического съема волокнистых комплексов

$$\begin{aligned} \frac{dv}{dt} = & (\omega^2 R_B - g)(\cos \gamma - k \sin \gamma) - \\ & - g(\sin \gamma + k \cos \gamma)[v_a - \omega(R_B - h_3 + y \cos \gamma) - v \sin \gamma]^2 / v_{sum}^2. \end{aligned} \quad (2.11)$$

## 2.5. Выводы по главе

1. Разработан способ получения многослойных волокнистых материалов, заключающийся в направленном перемещении под воздействием воздушных потоков волокнистого потока и разделении последнего на фракции по зонам формирования слоев в распределительной камере, в которой создаются внутренние воздушные потоки, направленные в зону формирования волокнистых слоев с разделением их на составляющие, в зону сороудаления и в зону обеспыливания (Патент №2471897 Российская Федерация).

2. Разработано оборудование для осуществления нового способа получения многослойных волокнистых материалов, содержащее бункер для питания волокнистыми материалами, узел для разрыхления и очистки, камеру распределения волокон по зонам формирования волокнистых слоев с установленным на выходе из камеры узлом для формирования волокнистых слоев и транспортеры для транспортирования образованных волокнистых слоев.

3. Разработана методика расчета выравнивающей способности зоны питания оборудования для получения многослойных волокнистых материалов с учетом ее геометрических параметров, механических свойств поступающей смеси, засоренности продукта и неровноты плотности поступающей в зону питания волокнистой составляющей смеси.

4. На основании законов механики выведено дифференциальное уравнение движения волокнистых комплексов в камере распределения при их аэросъеме в оборудовании, обеспечивающем новый способ получения многослойных волокнистых материалов. Решение уравнения связывает характеристики волокнистых комплексов, параметры гарнитуры, радиус и частоту вращения рабочего барабана со скоростью воздушного потока в аэросъемном канале и является базовым для разработки методики определения и оптимизации углового размера дуги аэросъема.

### **3. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ВОЗДЕЙСТВИЯ РАБОЧИХ ОРГАНОВ РАЗРЫХЛИТЕЛЕЙ-ОЧИСТИТЕЛЕЙ НА ВОЛОКНИСТЫЕ КОМПЛЕКСЫ**

Как было отмечено ранее важную роль в получении слоев однородных по физико-механическим показателям волокон и равномерных по толщине на разработанном оборудовании играют так же технологические процессы, протекающие на оборудовании разрыхлительно-очистительного агрегата. К ним относятся разрыхление, очистка, смешивание, которые непосредственно влияют на качество рассортировки волокон в камере распределения разработанного оборудования.

Поэтому глубокие теоретические исследования аэродинамических и технологических процессов, протекающие на разрыхлителях-очистителях будут способствовать как, оптимизации работы, повышению эффективности, созданию нового высокоэффективного технологического оборудования для разрыхления и очистки волокнистых материалов, так и, в конечном итоге, повышению эффективности разделения на фракции волокнистого потока в камере распределения разработанного оборудования. В связи с этим становится необходимым разработка математического аппарата для описания процессов разрыхления в рабочих зонах и в целом на современном оборудовании для разрыхления и очистки волокнистых материалов, что и будет осуществлено в последующем.

Для разрыхления и очистки волокнистых материалов зарубежные фирмы, такие как, Truetzschler, Rieter, Marzoli и др. предлагают множество современного технологического оборудования, которое используется на отечественных предприятиях.

Проблемы, возникающие в производственных условиях, можно было бы решить проще, если бы имелись теоретические разработки технологических процессов, протекающих на этих машинах.

Теоретическое описание технологических процессов становится особенно актуальным при модернизации имеющегося и разработке нового оборудования.

Поэтому была поставлена задача развития теоретической базы для описания технологических процессов, протекающих на современных разрыхлителях-очистителях.

В качестве исследуемого объекта были выбраны разрыхлитель-очиститель CL-P фирмы Truetzschler, разрыхлители-очистители B31, B39 фирмы Marzoli, разрыхлители-очистители Uniclean B11, Uniclean B12 фирмы Rieter, а также их аналоги отечественных фирм такие, как ЧО [25...31].

Разрыхлитель-очиститель CL-P, состоящий из двух колковых барабанов, колосниковых решеток и угарной камеры для сбора сорных примесей, используется для очистки сильно загрязненного волокнистого материала. Он является первой ступенью очистки и устанавливается всегда перед машинами для смешивания и тонкого разрыхления волокон. Подача волокнистого материала в разрыхлитель-очиститель CL-P фирмы Truetzschler осуществляется с помощью конденсора, что позволяет уменьшить расход отсасываемого воздуха, увеличить время пребывания волокнистого материала в зоне колковых барабанов, что в свою очередь приводит к более интенсивному очищению.

Необходимо отметить, что до настоящего времени не проводились теоретические исследования движения волокнистого комплекса на колке барабана, в зоне «барабан – колосниковая решетка», а также исследования взаимодействия волокнистого комплекса с колком.

Проведенные нами теоретические исследования процесса разрыхления в разрыхлителе-очистителе CL-P фирмы Truetzschler (Германия) применимы для аналогичного оборудования (отечественного очистителя осевого ЧО, разрыхлителя-очистителя WR 6.102 фирмы Hergeth Hollingsworth (Германия), разрыхлителей-очистителей B31, B39 фирмы Marzoli (Италия), разрыхлителей-очистителей Uniclean B11, Uniclean B12 фирмы Rieter (Швейцария) и др).

### 3.1. Теоретические исследования силы удара колка о волокнистый комплекс и математическая модель для ее расчета

В процессе обработки волокнистого материала в очистителях-разрыхлителях происходит воздействие колков и колосников на волокнистые комплексы. Это воздействие носит многообразный стохастический характер, и моделирование этого явления в общем случае является сложной и весьма трудоемкой задачей. Поэтому для расширения понимания процесса очистки и разрыхления важную роль играет разработка и анализ упрощенных моделей, основанных на законах механики и аэродинамики, на следующих последовательных этапах обработки волокнистых комплексов [77...85]:

- при воздействии на них колков или штифтов;
- при перемещении в камере очистителя-разрыхлителя;
- при контакте с колосниковой решеткой.

На рисунке 3.1 представлен разрыхлитель-очиститель CL-P фирмы Truetzschler (Германия). Разрыхлитель-очиститель CL-P состоит из конденсора 1, питающего бункера 2, зоны очистки 3, двух колковых барабанов 4, выходного трубопровода 5 и зоны сбора и удаления сорных примесей 6 [31].

Рассмотрим изменения механического состояния волокнистого комплекса во время удара  $\Delta t$  о колкок (или штифт) рабочего барабана разрыхлителя-очистителя. Обозначим расстояние от барабана разрыхлителя-очистителя до центра масс волокнистого комплекса через  $h_{ком}$ . Схема процесса сжатия волокнистого комплекса в неподвижной системе координат в промежутке времени между началом удара  $t_1$  и завершением удара  $t_2$  представлена на рис. 3.2. Следующие точки на рис. 3.2. характеризуют положение центра масс на разных стадиях удара:

- $M_D$  – начало удара ( $t = t_1$ );
- $M_C$  – во время ( $t_1 < t < t_2$ );
- $M_H$  – конец удара ( $t = t_2$ ).

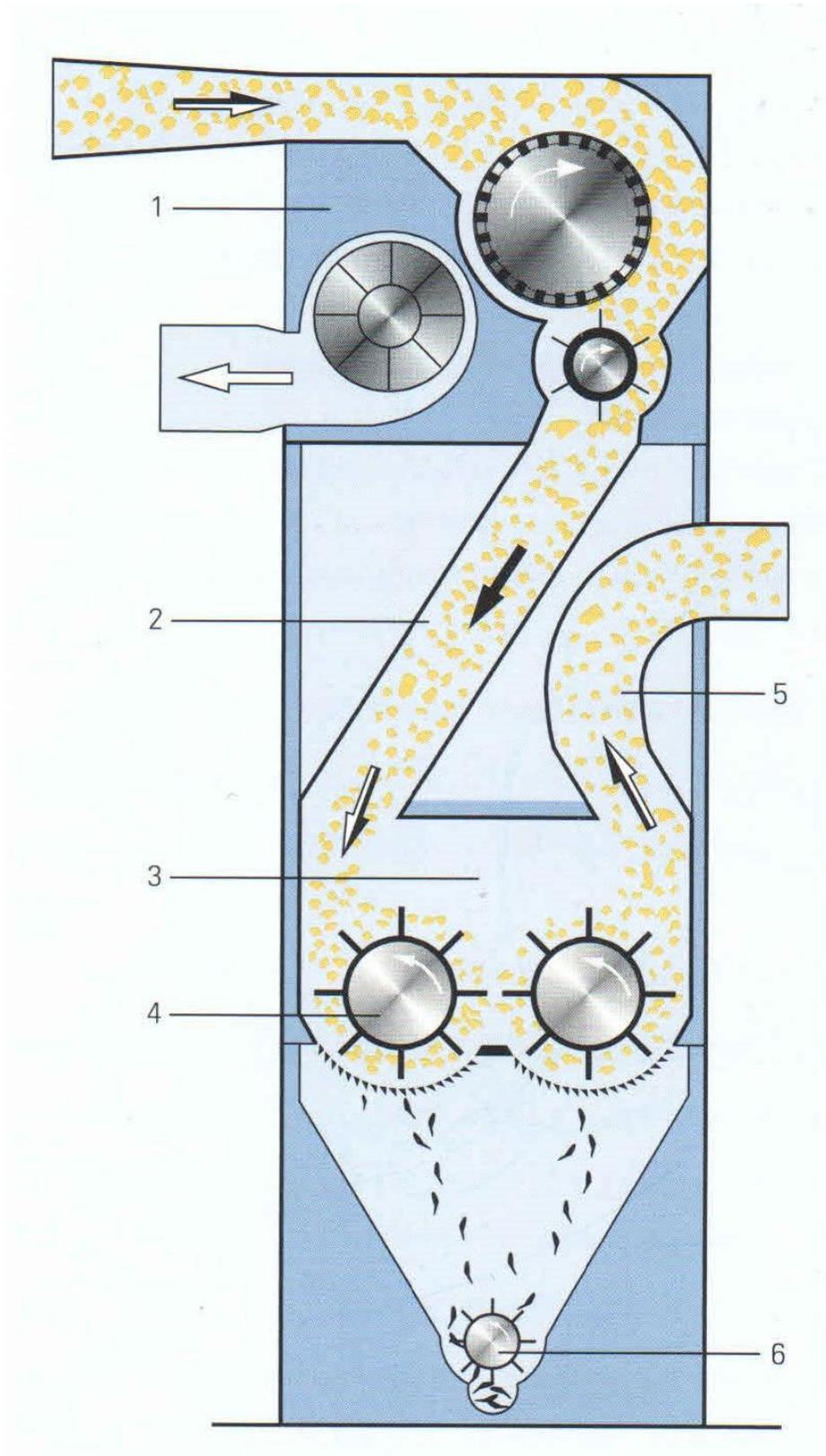


Рис. 3.1. Разрыхлитель-очиститель CL-P  
фирмы Truetzschler (Германия).

На рис. 3.3. представлены начальная и конечная стадии удара волокнистого комплекса о колок в инерциальной системе координат, жестко связанной с барабаном. Обозначим через  $\Delta s_{y\delta} = |M_{II} M_D|$  - расстояние, на которое центр масс волокнистого комплекса переместится относительно колка за промежуток времени  $\Delta t$ .

Волокнистый комплекс в момент времени  $t_1$  имеет скорость  $V_1$ , равную нулю. Принимаем, что в момент времени  $t_2 = t_1 + \Delta t$  волокнистый комплекс приобретает скорость  $V_2 = \omega(R_B + h_{ком})$ , равную окружной скорости точки на колке барабана, находящейся на расстоянии  $R_B + h_{ком}$  от оси барабана. За время  $\Delta t$  приращение скорости волокнистого комплекса составит

$$\Delta V_{ком} = V_2 - V_1 = \omega(R_B + h_{ком}). \quad (3.1)$$

Колок, на котором находится волокнистый комплекс, повернется за этот промежуток времени  $\Delta t$  относительно оси барабана на угол

$$\Delta\varphi \approx \Delta s_{y\delta} / (R_B + h_{ком}).$$

Время, которое затрачивается на приобретение волокнистым комплексом скорости  $V_2$ , определяется через угловую скорость барабана:

$$\Delta t = \Delta\varphi / \omega.$$

Величина модуля вектора силы удара  $\vec{F}_{уд}$ , с которой колок воздействует на волокнистый комплекс, определяется по закону Ньютона по следующей формуле:

$$F_{y\delta} = m \frac{\Delta V_{ком}}{\Delta t} = m \frac{[\omega(R_B + h_{ком})]^2}{\Delta s_{уд}}.$$

Удельная величина силы удара колка о волокнистый комплекс рассчитывается по формуле

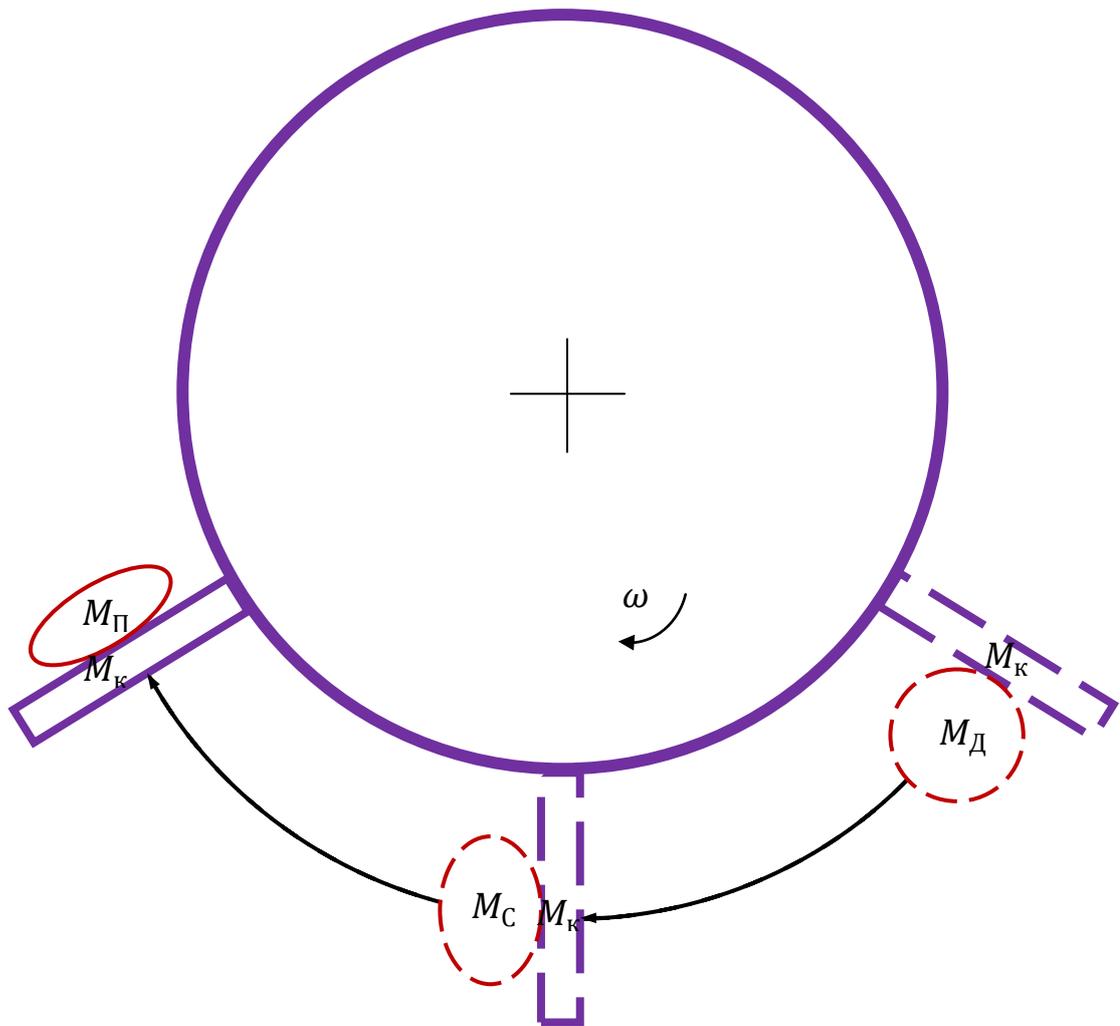


Рис. 3.2. Схема процесса сжатия волокнистого комплекса за время удара

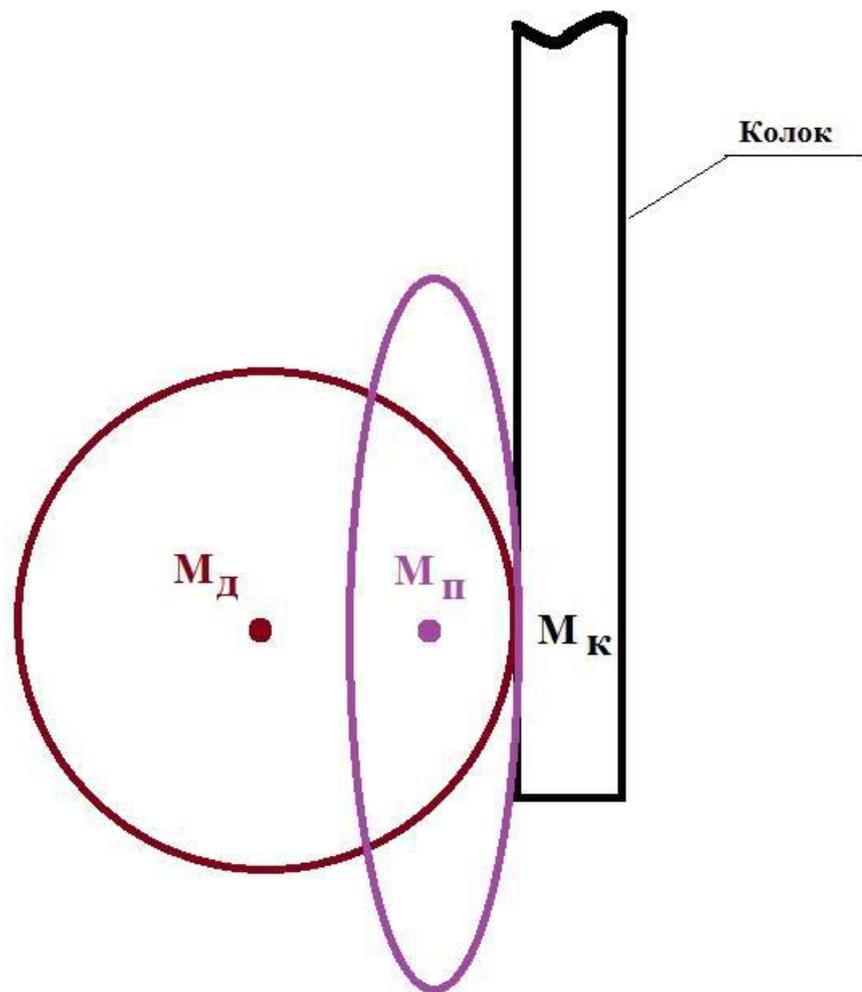


Рис. 3.3. Схема изменения механического состояния волокнистого комплекса во время удара

$$\bar{F}_{y\partial} = \frac{F_{y\partial}}{mg} = \frac{[\omega(R_B+h_{\text{КОМ}})]^2}{g\Delta s_{\text{уд}}}$$

Очевидно, что расстояние  $\Delta s$  численно может быть выражено в долях величины  $R_{\text{КОМ}}$ :

$$\Delta s_{y\partial} = k_{\text{уд}} R_{\text{КОМ}},$$

где  $k_{\text{уд}} < 1$  – коэффициент, учитывающий эффект сжатия волокнистого комплекса при ударе.

Следовательно,

$$F_{y\partial} = m \frac{[\omega(R_B+h_{\text{КОМ}})]^2}{k_{\text{уд}} R_{\text{КОМ}}}, \quad (3.2)$$

а

$$\bar{F}_{y\partial} = \frac{F_{y\partial}}{mg} = \frac{[\omega(R_B+h_{\text{КОМ}})]^2}{k_{\text{уд}} g R_{\text{КОМ}}}. \quad (3.3)$$

Как следует из приведенного исследования сила удара колка о волокнистый комплекс практически пропорциональна квадрату радиуса барабана. Следовательно, увеличение радиуса барабана интенсифицирует процесс обработки волокнистого материала в разрыхлителях-очистителях.

Например, для волокнистого комплекса массой 8 мг, при  $h_{\text{КОМ}} = 0,1$  м,  $n = 500$  мин<sup>-1</sup>,  $k_{\text{уд}} = 0,25$ , сила удара достигает значения = 0,55 Н.

### 3.2. Методика расчета сил, действующих на волокнистый комплекс, находящийся на штифте барабана разрыхлителя-очистителя

Теоретические исследования проводились для разрыхлителя-очистителя Uniclean B11 фирмы Rieter. Разрыхлитель-очиститель Uniclean B11 предназначен для эффективных разрыхления, очистки и обеспыливания волокнистого материала (рис. 3.4). Он является ключевой машиной разрыхлительно-очистительном агрегате. Волокнистый материал подается в раз-

рыхлитель-очиститель по вертикальному трубопроводу 4 и попадает под воздействие разрыхлительного барабана 1 (рис. 3.4), оснащенного специальными штифтами (рис. 3.5), прикрепленными к обечайке барабана 1. Взаимодействуя с колосниками 2, волокно очищается от сорных примесей. Сорные примеси и отходы удаляются через промежутки колосниковой решетки 2 с помощью вентилятора 3, установленного в сороотводящей камере, через трубопровод 7 и далее в фильтр-камеру. Запыленный технологический воздух удаляется через трубопровод 6. После многократного прохождения через колосниковую решетку очищенное волокно воздушным потоком направляется на следующую машину с помощью трубопровода 5.

Рабочая поверхность барабана с закрепленными на ней штифтами показана на рис. 3.6. Схема расположения системы координат  $OXYZ$  и  $Oxuz$  относительно штифта на барабане разрыхлителя-очистителя показана на рис. 3.7.

Ниже рассматриваются силы, действующие в процессе разрыхления на волокнистые комплексы, и результат совместного действия этих сил, заключающийся в приобретении этим комплексом ускорения [77,81,86].

Рассматривается движение волокнистого комплекса после ударного воздействия на него штифта. В этом случае имеет место неупругий удар штифта о волокнистый комплекс, который в течение малого промежутка времени ударного воздействия находится на поверхности штифта. Далее в силу различных начальных условий волокнистый комплекс может либо соскользнуть с поверхности штифта, либо вращаться вместе со штифтом, оставаясь на его поверхности. В этом последнем случае возможны два варианта:

- а) волокнистый комплекс неподвижен относительно штифта;
- б) волокнистый комплекс движется вдоль поверхности штифта.

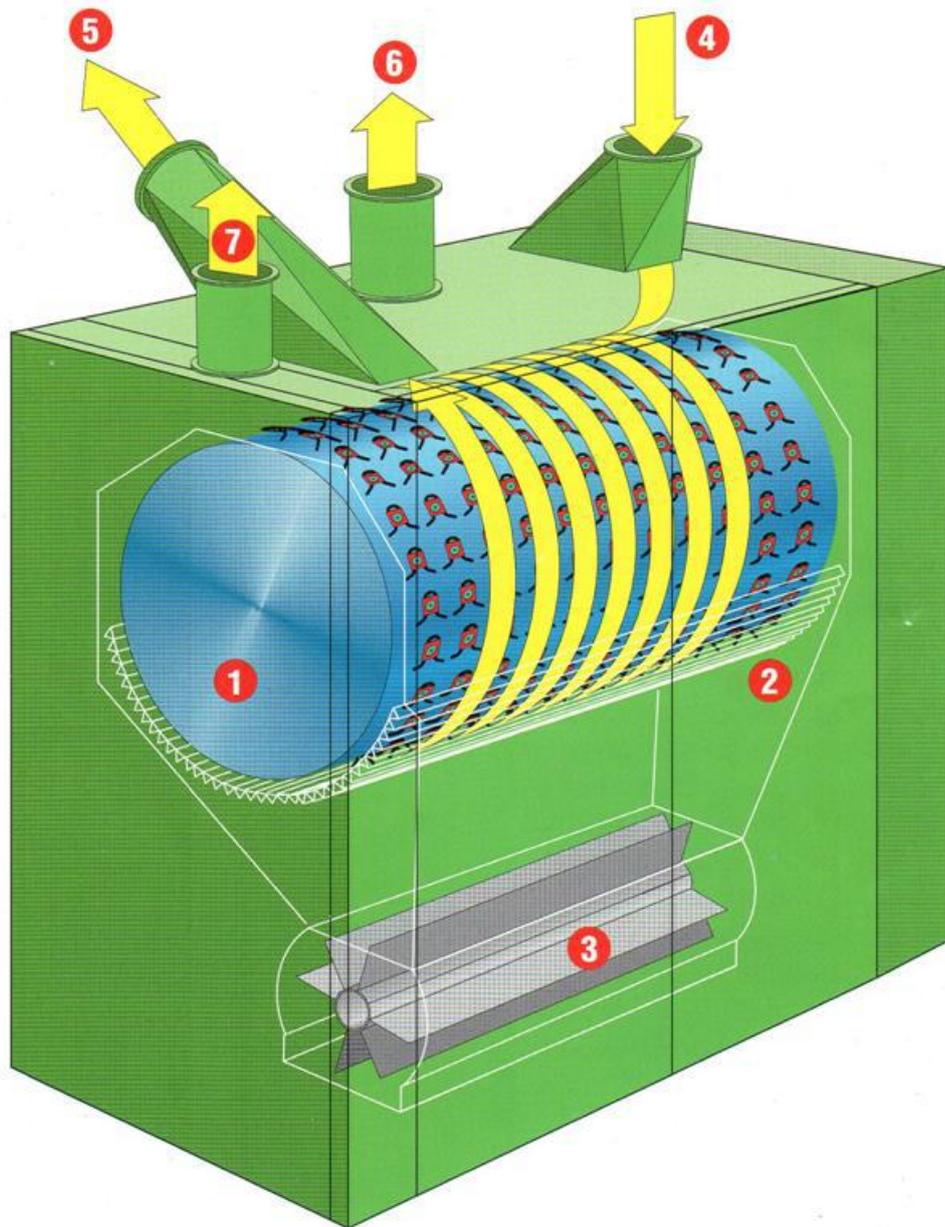


Рис. 3.4. Разрыхлитель-очиститель УНИКЛИН Б11 фирмы RIETER

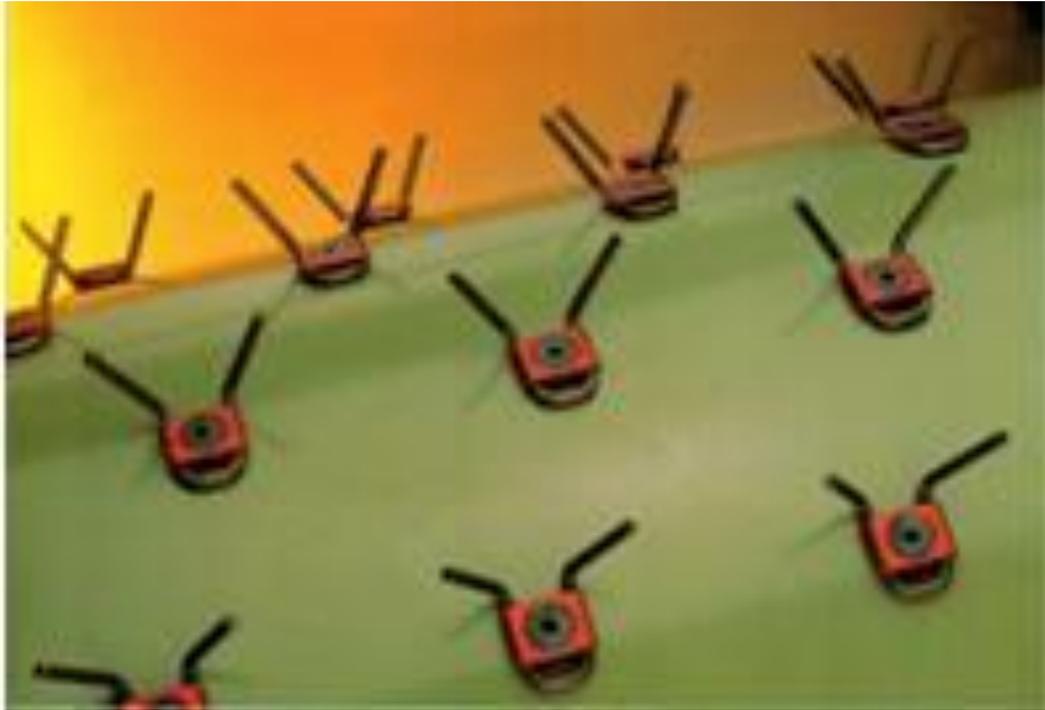


Рис. 3.5. Очистительный барабан разрыхлителя-очистителя Uniclean B11, оснащенный специальными штифтами



Рис. 3.6. Вид штифта на поверхности очистительного барабана  
разрыхлителя-очистителя Uniclean B11

На рис. 3.7 представлена схема относительного расположения двух прямоугольных систем координат  $OXYZ$  и  $Oxyz$ . Начало этих систем координат – точка  $O$ , которая расположена на основании штифта. Отрезок прямой  $OA$  моделирует штифт. Плоскость  $Oxz$  пересекает плоскость  $OXY$  по прямой  $OB$ . Угол  $XOB$  равен  $\varphi$ , а угол расположения оси  $Oz$  над плоскостью  $OXY$  составляет  $\psi$ .

Полагаем, что после ударного взаимодействия со штифтом центр масс волокнистого комплекса находится в точке  $M$  (рис. 3.8). Обозначим через  $m$  массу волокнистого комплекса, а через  $\vec{g}$  - ускорение свободного падения. На волокнистый комплекс массы  $m$  действуют следующие силы:

- центробежная сила  $\vec{F}_ц$ ;
- сила притяжения -  $m\vec{g}$ ;
- сила трения -  $\vec{F}_{тр}$ ;
- сила реакции опоры -  $\vec{N}$ ;
- аэродинамическая сила -  $\vec{F}_a$ .

В дальнейших расчетах пренебрежем кориолисовой силой, поскольку величина ее мала. Обозначим радиус барабана через  $R_B$ , а частоту его вращения -  $n_B$ . Модули векторов сил  $\vec{F}_{тр}$  и  $\vec{F}_ц$ , действующих на волокнистый комплекс, определяются по следующим формулам:

$$F_ц = m\omega^2 R_B;$$

$$F_{тр} = kN,$$

где  $\omega = \pi n_B / 30$  - угловая скорость барабана;

$n_B$  - частота вращения барабана, мин<sup>-1</sup>;

$k$  - коэффициент трения волокнистого клочка о поверхность штифта.

Вектор аэродинамической силы определяется согласно известной формуле [7]:

$$\vec{F}_a = mg |\vec{V}_a - \vec{V}_{ком}| (\vec{V}_a - \vec{V}_{ком}) / V_{вит}^2;$$

где  $\vec{V}_a, \vec{V}_{ком}$  - векторы скоростей воздуха и волокнистого комплекса в системе координат  $OXYZ$ , соответственно;

$V_{вит}$  - скорость витания волокнистого комплекса;

В формулу аэродинамической силы волокнистого комплекса входит в качестве параметра его скорость витания. Определение этой величины дается в [7, 39, 40, 77]. Скорость витания волокнистого комплекса вычисляется из зависимости

$$V_{вит} = \sqrt{\frac{2mg}{C_x S_{мид} \rho_a}}, \quad (3.3)$$

где  $C_x$  - коэффициент аэродинамического сопротивления;

$S_{мид}$  - площадь миделева сечения;

$\rho_a$  - плотность воздуха.

Обозначим через  $\vec{e}_x, \vec{e}_y, \vec{e}_z$  единичные орты системы координат  $OXYZ$ , а через  $\vec{e}_1, \vec{e}_2, \vec{e}_3$  - аналогичные орты системы координат  $Oxyz$ . Имеем

$$\vec{e}_x = \vec{e}_1 \cos \varphi \sin \psi - \vec{e}_2 \sin \varphi + \vec{e}_3 \cos \varphi \cos \psi;$$

$$\vec{e}_y = \vec{e}_1 \sin \varphi \sin \psi + \vec{e}_2 \cos \varphi + \vec{e}_3 \sin \varphi \cos \psi;$$

$$\vec{e}_z = -\vec{e}_1 \cos \psi + \vec{e}_3 \sin \psi.$$

Полагаем, что вектор скорости воздуха параллелен плоскости  $OXY$ :

$$\vec{V}_a = V_{a,x} \vec{e}_x + V_{a,y} \vec{e}_y.$$

При расчете аэродинамической силы считаем, что вектор скорости волокнистого комплекса  $\vec{V}_{ком}$ , то есть окружной скорости центра масс волокнистого комплекса, параллелен оси  $OY$ . Имеем

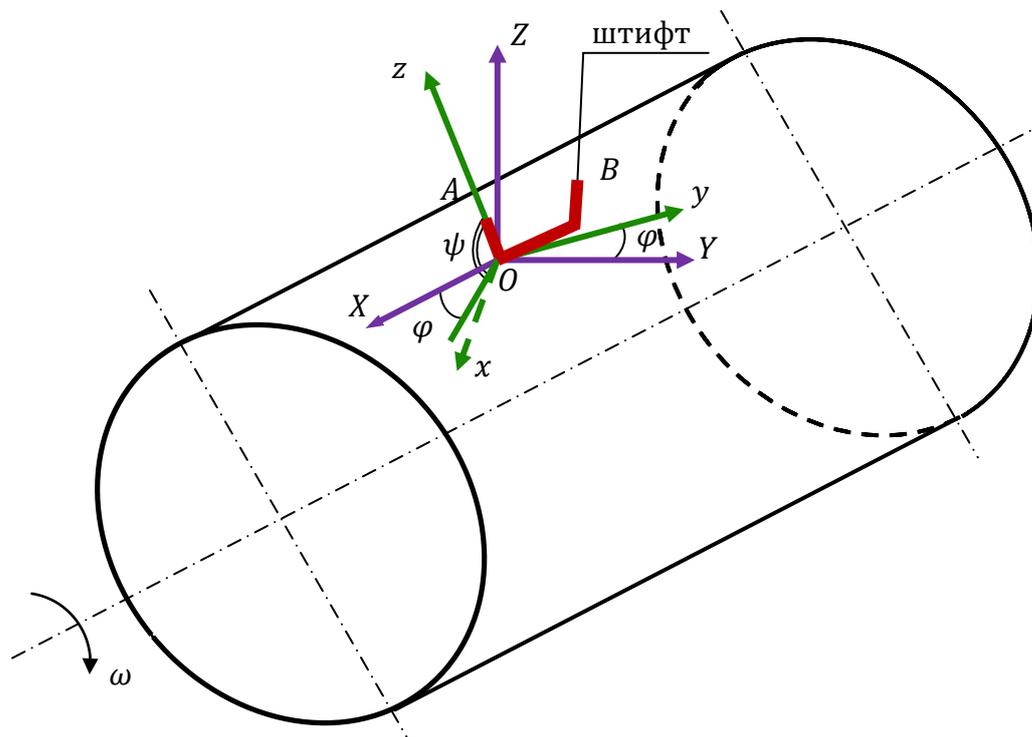


Рис. 3.7. Схема расположения систем координат относительно штифта на барабане разрыхлителя-очистителя



$$\vec{V}_{\text{КОМ}} = V_{\text{КОМ},Y} \vec{e}_Y.$$

Компоненты вектора скорости воздуха относительно волокнистого комплекса  $\vec{V}_{\text{отн}} = \vec{V}_a - \vec{V}_{\text{КОМ}}$  в системе координат  $OXYZ$  следующий вид:

$$V_{\text{отн},X} = V_{a,X}; \quad (3.4)$$

$$V_{\text{отн},Y} = V_{a,Y} - V_{\text{КОМ},Y}. \quad (3.5)$$

В системе координат  $Oxyz$  вектор  $\vec{V}_{\text{отн}}$  может быть записан следующим образом:

$$\begin{aligned} \vec{V}_{\text{отн}} = & V_{a,X} (\vec{e}_1 \cos \varphi \sin \psi - \vec{e}_2 \sin \varphi + \vec{e}_3 \cos \varphi \cos \psi) + \\ & + (V_{a,Y} - V_{\text{КОМ},Y}) (\vec{e}_1 \sin \varphi \sin \psi + \vec{e}_2 \cos \varphi + \vec{e}_3 \sin \varphi \cos \psi). \end{aligned} \quad (3.6)$$

Обозначим

$$K_{\text{вум}} = g V_{\text{отн}} / V_{\text{вум}}^2. \quad (3.7)$$

Тогда

$$\begin{aligned} \vec{F}_a = & m K_{\text{вум}} \{ [V_{a,X} \cos \varphi \sin \psi + (V_{a,X} - V_{\text{КОМ},Y}) \sin \varphi \sin \psi] \vec{e}_1 + \\ & + [-V_{a,X} \sin \varphi + (V_{a,Y} - V_{\text{КОМ},Y}) \cos \varphi] \vec{e}_2 + \\ & + [V_{a,X} \cos \varphi \cos \psi + (V_{a,Y} - V_{\text{КОМ},Y}) \sin \varphi \cos \psi] \vec{e}_3 \}. \end{aligned} \quad (3.8)$$

Вектор центробежной силы определяется по соотношению:

$$\vec{F}_\psi = m \omega^2 R_B \vec{e}_Z = m \omega^2 R_B (-\vec{e}_1 \cos \psi + \vec{e}_3 \sin \psi).$$

Находим векторы силы притяжения и силы трения:

$$m \vec{g} = -mg \vec{e}_Z = mg (\vec{e}_1 \cos \psi - \vec{e}_3 \sin \psi);$$

$$\vec{F}_{mp} = -|\vec{F}_{mp}|\vec{e}_3.$$

Так как сила реакции опоры и сила трения перпендикулярны, то вектор  $\vec{N}$  раскладывается на векторные составляющие, перпендикулярные оси  $Oxy$  следующим образом:

$$\vec{N} = N_1\vec{e}_1 + N_2\vec{e}_2, \quad (3.9)$$

где  $N_1, N_2$  - модули составляющих вектора  $\vec{N}$ .

### 3.3. Вывод уравнения динамики движения волокнистого комплекса вдоль поверхности штифта на барабане разрыхлителя-очистителя

Суммируя действие всех сил, действующих на волокнистый комплекс, получаем следующее векторное уравнение его движения вдоль штифта в системе координат  $Oxyz$ :

$$m\vec{a} = \vec{F}_a + m\vec{g} + \vec{F}_\psi + \vec{F}_{mp} + \vec{N}, \quad (3.10)$$

где  $\vec{a}$  - ускорение волокнистого комплекса в системе  $Oxyz$ .

Представим уравнение движения волокнистого комплекса в проекциях на оси системы координат  $Oxyz$ . В скалярном виде ускорения волокнистого комплекса по осям имеют вид:

$$m\ddot{x} = mK_{\text{sum}}[V_{a,X} \cos\varphi \sin\psi + (V_{a,Y} - V_{\text{ком},Y}) \sin\varphi \sin\psi] + mg \cos\psi - m\omega^2 R_B \cos\psi + N_1; \quad (3.11)$$

$$m\ddot{y} = mK_{\text{sum}}[-V_{a,X} \sin\varphi + (V_{a,Y} - V_{\text{ком},Y}) \cos\varphi] + N_2; \quad (3.12)$$

$$m\ddot{z} = mK_{\text{sum}}[V_{a,X} \cos\varphi \cos\psi + (V_{a,Y} - V_{\text{ком},Y}) \sin\varphi \cos\psi] + m\omega^2 R_B \sin\psi - F_{mp} - mg \sin\psi. \quad (3.13)$$

Волокнистый комплекс движется только вдоль оси  $Oz$ , следовательно:

$$\dot{x}(0) = \dot{y}(0) = \ddot{x}(0) = \ddot{y}(0) = 0.$$

Компоненты вектора реакции опоры вычисляются из (3.10 и 3.11) по формулам:

$$N_1 = \left\{ -K_{\text{вум}} [V_{a,X} \cos \varphi \sin \psi + (V_{a,Y} - V_{\text{ком},Y}) \sin \varphi \sin \psi] - g \cos \psi + \omega^2 R_B \cos \psi \right\} m; \quad (3.14)$$

$$N_2 = \left\{ -K_{\text{вум}} [-V_{a,X} \sin \varphi + (V_{a,Y} - V_{\text{ком},Y}) \cos \varphi] \right\} m. \quad (3.15)$$

Таким образом, уравнение движения волокнистого комплекса имеет следующий вид:

$$\ddot{z} = K_{\text{вум}} [V_{a,X} \cos \varphi \cos \psi + (V_{a,Y} - V_{\text{ком},Y}) \sin \varphi \cos \psi] + \omega^2 R_B \sin \psi - kN/m - g \sin \psi, \quad (3.16)$$

где  $N = \sqrt{N_1^2 + N_2^2}$ .

### 3.4. Расчет сил, действующих на волокнистый комплекс на колосниковой решетке до момента удара колка

Рассмотрим следующую модель динамики очистки и разрыхления волокнистого комплекса в зоне колосниковой решетки. Предположим, что волокнистый комплекс располагается на грани колосника (рис. 3.9) [87, 88]. Рассматривается модель волокнистого комплекса с центром масс в точке  $M$ . Примем, что волокнистый комплекс вписывается в шаровую поверхность радиусом  $R_{\text{ком}}$  (рис. 3.9). Поэтому далее будем считать волокнистый комплекс пористой сферой, имеющей скорость витания  $V_{\text{вит}}$ . Волокнистый комплекс касается верхней (рабочей) грани колосника в точке  $O$ . На волокнистый комплекс действуют следующие силы:

$m\vec{g}$  – сила притяжения;

$\vec{F}_{mp}$  – сила трения;

$\vec{N}$  – реакция опоры;

$\vec{F}_a$  – аэродинамическая сила.

Очевидно, что под действием этих сил происходит вращение волокнистого комплекса вокруг его центра масс с одновременным скатыванием по рабочей грани колосника до соприкосновения с соседним колосником в точке  $M_2$ . То есть происходит неупругий удар волокнистого комплекса с соседним колосником в точке  $M_2$  (рис. 3.10). Далее полагаем, что в этот момент времени  $t_1$  на волокнистый комплекс действует еще сила  $\vec{F}_k$  со стороны соседнего колосника. Вектор  $\vec{F}_k$  направлен под углом  $\beta$  к линии горизонта. Вектор  $\vec{F}_k$  может быть разложен на две составляющие:

$$\vec{F}_k = \vec{F}_{k1} + \vec{F}_{k2}, \quad (3.17)$$

где  $\vec{F}_{k1}$  – горизонтальная составляющая;

$\vec{F}_{k2}$  – вертикальная составляющая;

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

Считаем далее, что в следующий момент времени  $t_2$  волокнистый комплекс подхватывается колком. В этот момент времени на волокнистый комплекс со стороны колка действует сила  $\vec{F}_{y\partial}$ . Полагаем в этой модели, что имеет место неупругий удар колка о волокнистый комплекс.

Рассмотрим механическое состояние волокнистого комплекса до удара колка. Для определения сил, действующих на клочок волокон, обратимся к рис. 3.11. Обозначим через  $b = |M_2M_3|$  – расстояние между соответствующими верхними ребрами соседних колосников. Величину  $|M_2M_3|$  полагаем известной из конструктивных характеристик очистителя.

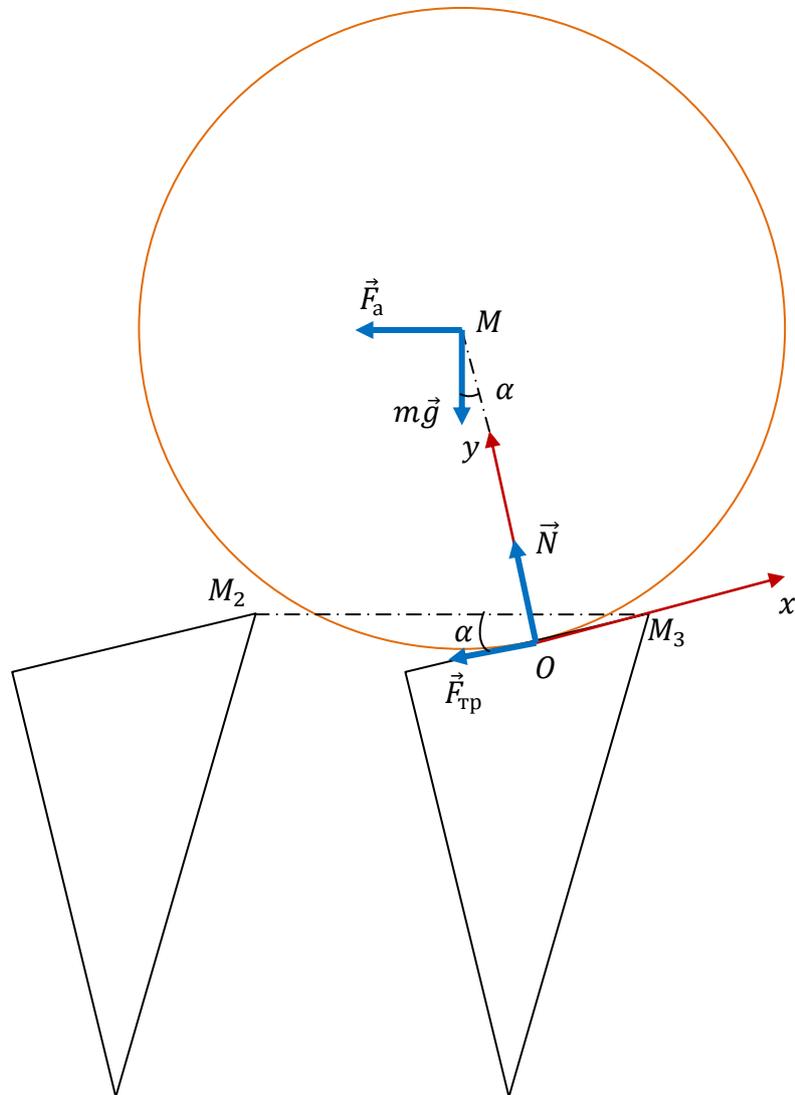


Рис. 3.9. Схема действия сил на волокнистый комплекс, соприкасающийся с одним колосником

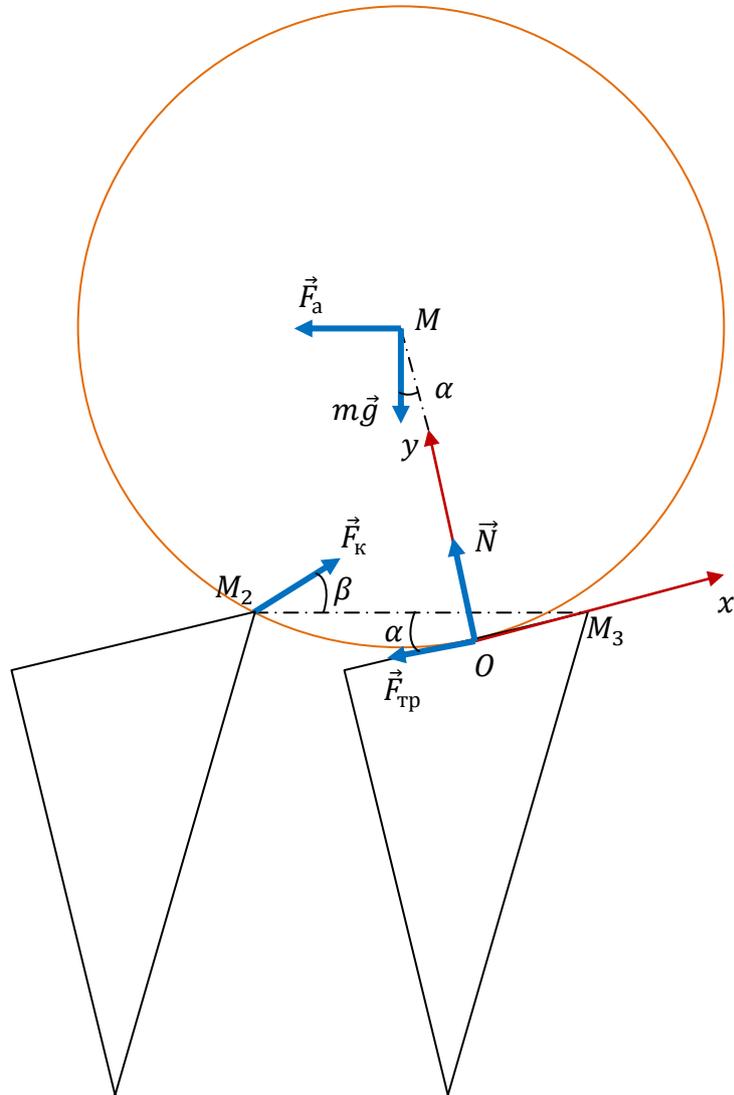


Рис. 3.10. Схема расположения волокнистого комплекса на рабочей грани колосника

Обозначим через  $M_9$  точку пересечения линией  $M_2M_3$  окружности. Продолжим луч  $M_3O$  и восстановим перпендикуляр из точки  $M_2$  к прямой  $M_2M_3$ , который пересечет луч  $M_3O$  в точке  $M_5$ .

Следовательно,

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

Опустим перпендикуляр из точки  $O$  на отрезок  $M_2M_9$ . Этот перпендикуляр пересечет прямую  $M_2M_9$  в точке  $M_8$ , а прямую  $M_3M_5$  в точке  $M_4$ . Так как прямая  $OM$  перпендикулярна  $M_3M_5$ , то из прямоугольного треугольника  $OMM_4$  определяем, что

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

Обозначим длину хорды  $M_2M_9$  через  $h$ :

$$h = |M_2M_9|.$$

Из геометрических соображений, а именно в соответствии со свойствами прямой  $M_2M_3$ , секущей окружность, и касательной  $M_3M_5$  к этой окружности, которые исходят из одной точки  $M_3$ , имеем, что

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

Отсюда

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

Величина  $|OM_4|$  определяется из прямоугольного треугольника  $MOM_4$  при учете того, что  $\angle OM_3M_9 = \angle OMM_9$ :

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

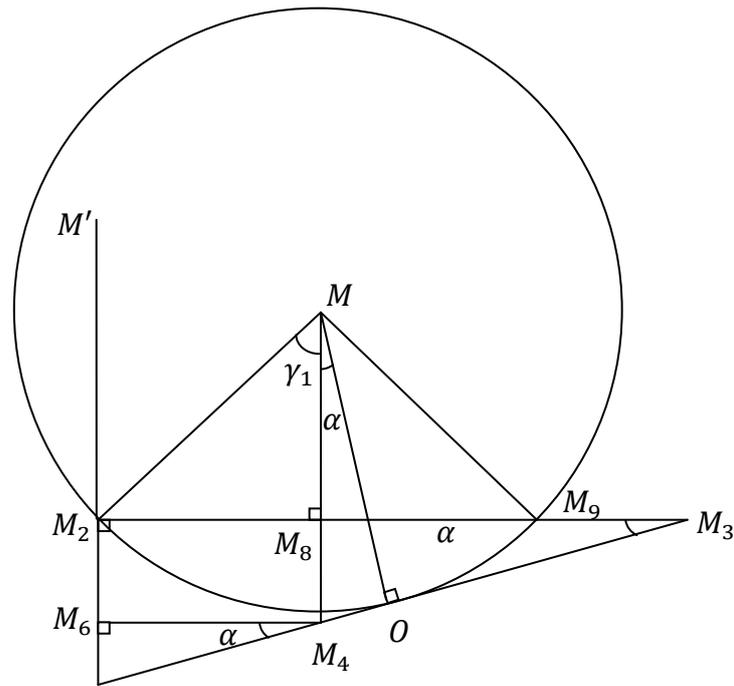


Рис. 3.11. К определению перемещения центра масс волокнистого комплекса под действием колка

Проведем через точку  $M_4$  прямую  $M_4M_6$  параллельно прямой  $M_2M_3$ .  
Очевидно, что  $|M_4M_6| = |M_2M_3| = 0,5h$ .

Следовательно,

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

Величина отрезка  $|M_3M_5|$  определяется из следующего соотношения:

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

Отсюда получаем следующее уравнение относительно  $h$ :

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

Или

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

Следовательно,

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

Далее находим, что

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

Или

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

Проведем преобразование левой и правой частей полученного соотношения:

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

Собирая подобные члены, получаем следующее уравнение относительно  $h$ :

$$h^2 + B_0 h + C_0 = 0,$$

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

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

Решение уравнения записывается в виде:

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

Обозначим  $\varepsilon = R_{\text{КОМ}}/b$ . Тогда

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

Преобразуем следующее выражение

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

То есть вычисление величины  $h$  по предложенной формуле имеет физический смысл, если

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

Очевидно, что

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

Спроектируем точку  $O$  на прямую  $MM_4$  и обозначим точку проекции через  $M_{10}$ . Очевидно из  $\triangle OM_{10}M$  имеем, что

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

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

Следовательно,

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

Обозначим величину угла  $M_8MM_2$  через  $\gamma_1$ . Из  $\triangle M_8MM_2$  следует, что

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

Принимаем, что ширина верхней (рабочей) грани колосника равна 10 мм, а расстояние между соседними колосниками – 8 мм. Конструкция осевого очистителя предполагает изменение угла  $\alpha$  от  $0^\circ$  до  $30^\circ$ .

Задаемся значением угла  $\alpha = 30^\circ$  и, следовательно,  $\sin \alpha = 0,5$ ,  $\cos \alpha = 0,5\sqrt{3}$ . Подставляя значения  $\sin \alpha$  и  $\cos \alpha$ , имеем

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

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

Тогда

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

Следовательно,

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

Графики функций

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

и

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

представлены на рис. 3.12. Так как величина  $f_2$  в области  $\varepsilon > 0,25$  отрицательна, то полагаем, что результат решения уравнения, имеющий физический смысл, представляется в следующем виде (для  $\alpha = 30^\circ$ ):

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

Волокнистый комплекс не вращается вокруг точки  $M$ . Следовательно, равнодействующая моментов всех сил, действующих на комплекс относительно этой точки, равна нулю:

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

Так как  $F_{\text{тр}} = kN$ , то получаем следующее соотношение:

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

Отсюда

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

Уравнение равновесия волокнистого комплекса имеет вид:

$$m\vec{g} + \vec{F}_{\text{тр}} + \vec{N} + \vec{F}_a + \vec{F}_k = 0. \quad (3.18)$$

Проектируем левую часть уравнения равновесия на оси  $Ox$  и  $Oy$ :

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

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

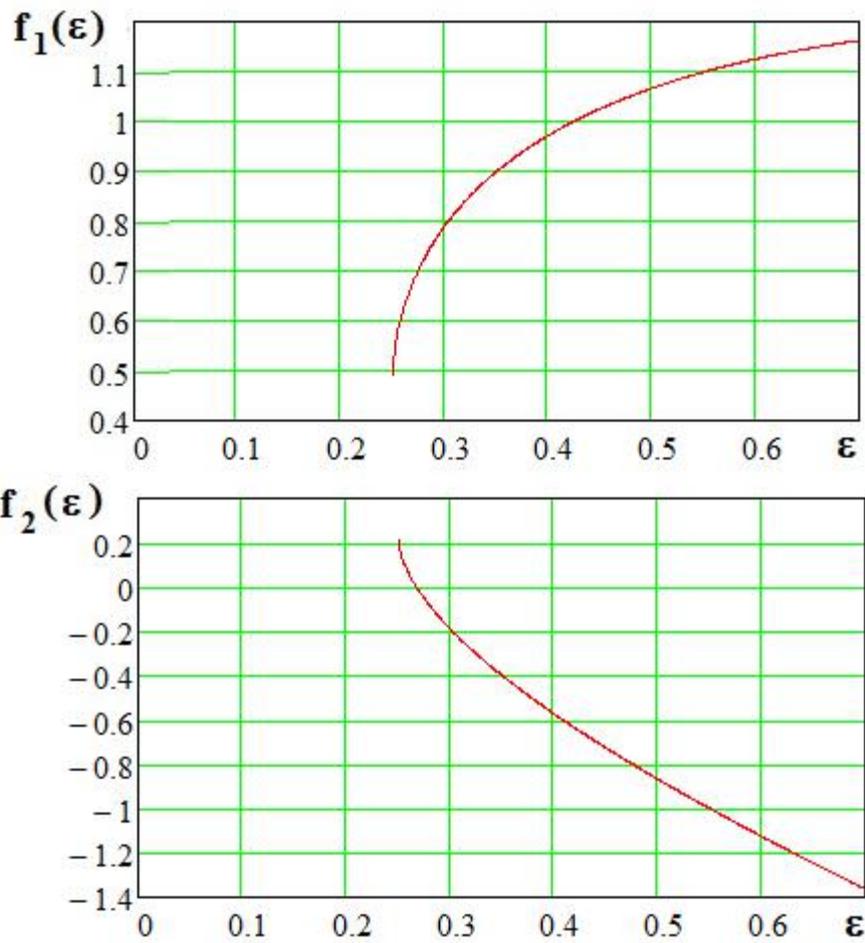


Рис. 3.12. Графики зависимостей  $f_1(\epsilon) = 0,5b[-(2\epsilon - 1) + \sqrt{12\epsilon - 3}]$   
и  $f_2(\epsilon) = 0,5b[-(2\epsilon - 1) - \sqrt{12\epsilon - 3}]$

Обозначим

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

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

Из системы уравнений имеем

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

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

Складывая правые и левые части этих уравнений, имеем

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

Делим правую часть уравнения на  $\cos\beta$ . Получаем, что

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

или

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

Получаем следующее уравнение относительно величины  $\beta$ :

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

Величина  $F_k$  определяется из следующего соотношения:

$$F_k = \frac{-mg\cos\alpha + N + F_a \sin\alpha}{\delta_2}. \quad (3.19)$$

Таким образом, определены силы, действующие на волокнистый комплекс на колоснике в момент времени  $t_1$ .

### 3.5. Растаскивающая сила и математическая модель для ее расчета

На рис. 3.13 представлена схема действия сил на волокнистый комплекс при его разрыхлении. Колосниковая решетка представляет собой периодическую структуру. Волокнистый комплекс за счет действия центробежных сил вдавливаются в колосниковую решетку и протаскиваются по ней, испытывая, во-первых, силу трения, и, во-вторых, силу ударного воздействия при столкновении с ребрами колосников. Причем и та и другая силы являются периодическими из-за устройства колосниковой решетки. Примем, что при моделировании процесса растаскивания можно рассматривать среднюю во времени силу трения волокнистого комплекса о колосники  $\vec{F}_{тр}$  и среднюю во времени силу ударного воздействия колосников на волокнистый комплекс при столкновении с их ребрами  $\vec{F}_{сопр}$ .

Полагаем, что на волокнистый комплекс при его разрыхлении на колосниковой решетке действуют следующие силы:

$m\vec{g}$  - сила притяжения;

$\vec{F}_a$  - аэродинамическая сила;

$\vec{F}_{рас}$  – растаскивающая сила;

$\vec{N}$  - реакция опоры;

$\vec{F}_ц$  – центробежная сила;

$\vec{F}_{тр}$  - сила трения волокнистого комплекса о поверхность рабочей грани колосника;

$\vec{F}_{кл}$  - сила, действующая на волокнистый комплекс со стороны колка;

$\vec{F}_{сопр}$  – сила сопротивления, обусловленная ударным воздействием колосников на волокнистый комплекс.

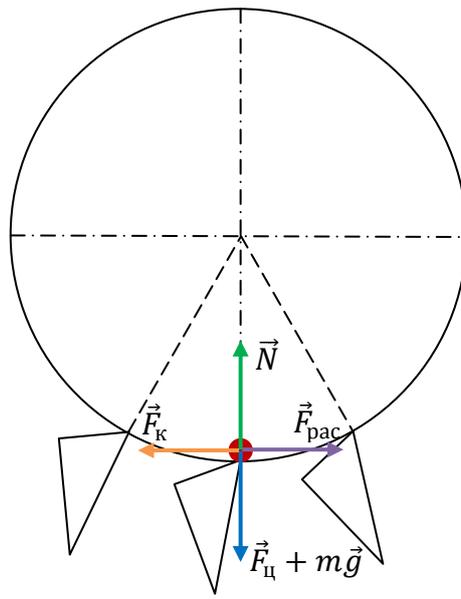


Рис. 3.13. Схема действия сил на волокнистый комплекс при его разрыхлении на колосниковой решетке

Силы  $\vec{F}_{mp}$ ,  $\vec{F}_a$ ,  $\vec{F}_{сопр}$  действуют на волокнистый комплекс в направлении, противоположном его движению, следовательно, суммарное действие этих сил производит растаскивающий эффект.

Определим растаскивающую силу как сумму выше перечисленных сил:

$$\vec{F}_{рас} = \vec{F}_{mp} + \vec{F}_a + \vec{F}_{сопр}. \quad (3.20)$$

Считая, что волокнистый комплекс неподвижен относительно колка, находим, что

$$\vec{N} = \vec{F}_ц + m\vec{g};$$

$$\vec{F}_{кл} = \vec{F}_{рас}.$$

Обозначим через  $V_{a,p}$  скорость воздуха на уровне центра масс волокнистого комплекса.

Поскольку в принятых условиях центр масс волокнистого комплекса движется с окружной скоростью  $\omega(R_B + h_k)$ , то

$$F_a = mg \frac{|\omega(R_B + h_k) - V_{a,p}|^2}{V_{вит}^2}.$$

Следовательно, величина растаскивающей силы равна

$$F_{рас} = km[\omega^2(R_B + h_k) + g] + mg \frac{|\omega(R_B + h_k) - V_{a,p}|^2}{V_{вит}^2} + F_{сопр}. \quad (3.21)$$

### 3.6. Выводы по главе

1. Разработана математическая модель процесса ударного воздействия колка (или штифта) рабочего барабана разрыхлителя-очистителя на волокнистый комплекс. Установлено, что сила удара колка о волокнистый комплекс

практически пропорциональна квадрату радиуса барабана разрыхлителя-очистителя. Следовательно, с увеличением радиуса барабана происходит интенсификация процесса очистки.

2. Разработана методика расчета сил, действующих на волокнистый комплекс на штифте барабана разрыхлителя-очистителя. Выведено уравнение движения волокнистого комплекса вдоль поверхности штифта барабана разрыхлителя-очистителя на основе законов механики и аэродинамики.

3. Выведена математическая модель для расчета растаскивающей силы, с учетом которой выведены уравнения механики волокнистого комплекса в зоне колосниковых решеток разрыхлителя-очистителя.

#### 4. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА РАЗРЫХЛЕНИЯ ВОЛОКНИСТОГО МАТЕРИАЛА В РАЗРЫХЛИТЕЛЯХ-ОЧИСТИТЕЛЯХ

##### 4.1. Скорость витания волокнистых комплексов после обработки рабочими органами разрыхлителей-очистителей

В [89] изложены экспериментальные данные о зависимости скоростей витания волокнистых комплексов от количества волокон в них -  $N_{ком}$ . На основании содержания [89] на рис. 4.1. представлен график зависимости скорости витания волокнистого комплекса от  $N_{ком}$ . Этот график построен на основе аппроксимации результатов, приведенных в [89] с помощью математического пакета Mathcad.

Однако для практических целей удобнее использовать зависимость скорости витания волокнистого комплекса от его массы [90].

Для расчетов и построения графиков в настоящей главе и далее применялся современный математический пакет Mathcad.

Полагаем, что единичное хлопковое волокно линейной плотностью 0,17 текс имеет длину 32 мм. Тогда масса единичного волокна равна

$$m_г = (0,17 \text{ текс}) \cdot (32 \cdot 10^{-6} \text{ км}) = 0,17 \cdot 32 \cdot 10^{-3} \cdot 10^{-3} = 5,44 \cdot 10^{-3} \text{ мг.}$$

Очевидно, масса волокнистого комплекса  $m$  определяется по количеству волокон в нем  $N_{ком}$  из соотношения

$$N_{ком} = m / m_г .$$

График зависимости скорости витания волокнистых комплексов от его массы представлен на рис. 4.2.

Известны и другие экспериментальные данные по определению скоростей витания волокнистых комплексов при разрыхлении последних на оборудовании подготовительного производства [7, 39, 40, 74, 91]. На основании экспериментов, выполненных авторами [89], определим диапазон скоростей

витания волокнистых комплексов на выходе из разрыхлителя-очистителя. Результаты обработки данных [89] приведены в таблице 4.1. и на рис. 4.3 в виде диаграмм.

Таблица 4.1. – Скорости витания волокнистых комплексов

Скорость витания, м/с	Наименование оборудования			
	П-1	ОН-6-3	ОН-6-4	ТМ, Т-16
а) минимальное значение	0,4	0,37	0,36	0,34
б) максимальное значение	1,19	1,19	1,16	1,24

Как показывают диаграммы из [89] на рис. 4.3 величины скоростей витания волокнистых комплексов на выходе из машин ОН-6-3, ОН-6-4 и Т-16 находятся практически в диапазоне от 0,34 м/с до 1,24 м/с. То есть диапазон скоростей витания волокнистых комплексов в работе не совпадает с соответствующим диапазоном в [91] и не может быть использован в нашем случае.

#### 4.2. Моделирование аэродинамического поля в камере разрыхлителя UNIClean B11

Технологическая зона UNIClean B11 представляет собой пространство между барабаном очистителя и ограждением. В технологическую зону поступает воздушно-волокнистая смесь. Расход нагнетаемого в технологическую зону воздуха обозначим через  $L_0$ . Радиус кривизны ограждения обозначим через  $R_{OG}$ .

Рассмотрим механику волокнистых комплексов на конечном участке их винтового движения вдоль рабочей поверхности барабана. На этом участке примем, что технологическую зону UNIClean B11 на начальном участке

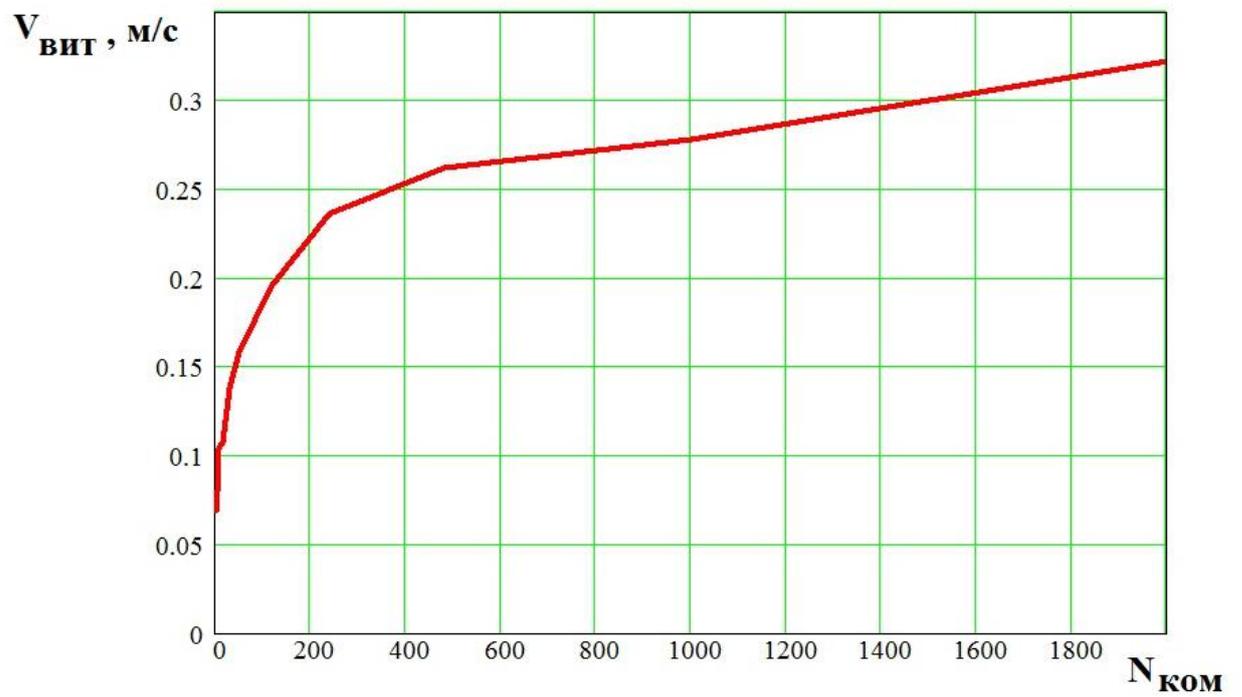


Рис. 4.1. Зависимость скорости витания волокнистого комплекса  
от количества волокон в нем

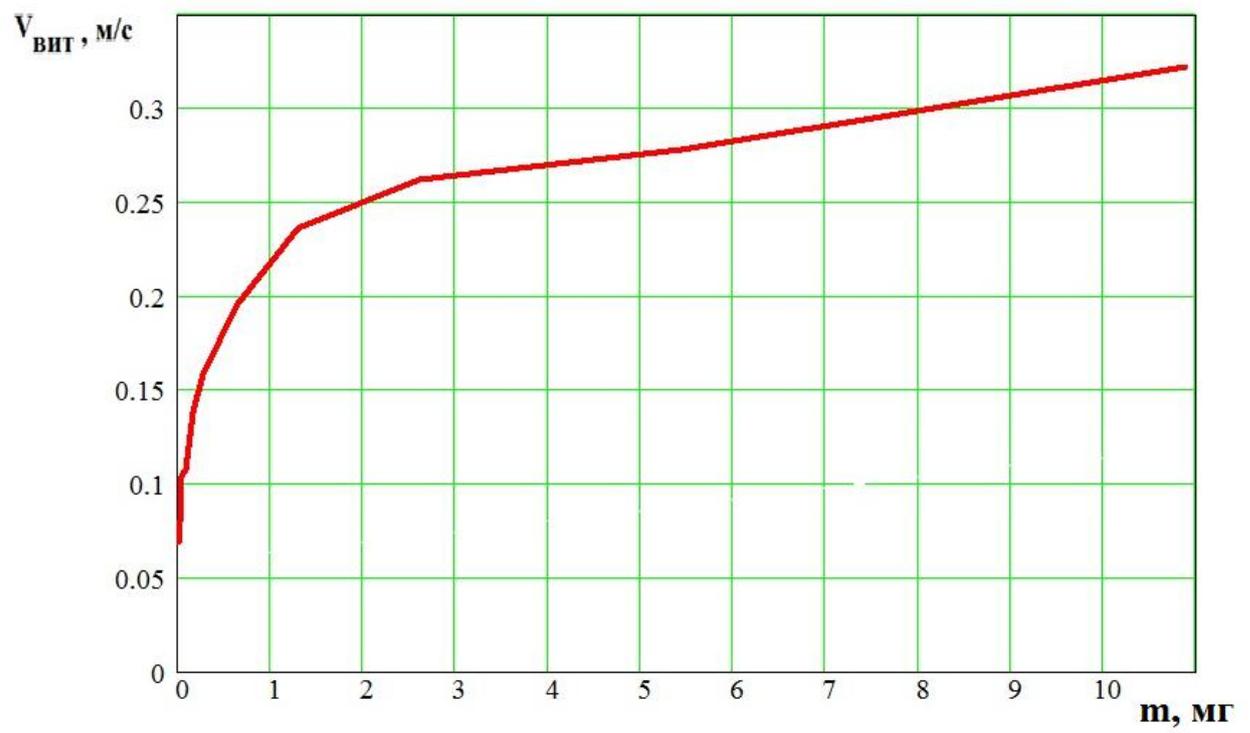


Рис. 4.2. Зависимость скорости витания волокнистых комплекса от его массы

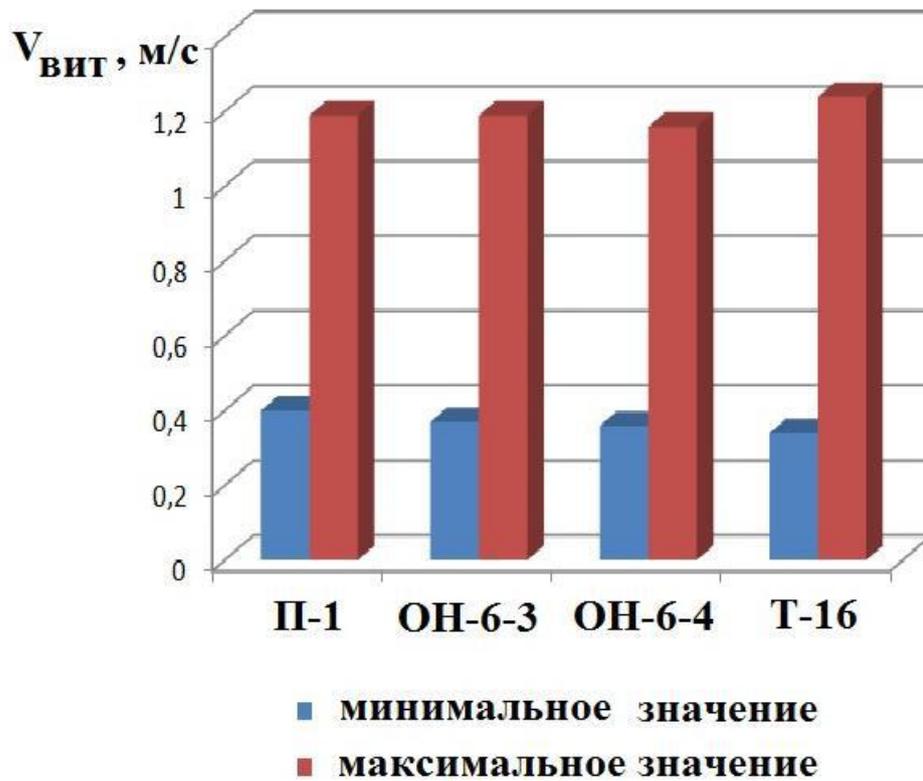


Рис. 4.3. Диаграмма минимальных и максимальных значений скоростей витания волокнистых комплексов при их разрыхлении на агрегатах подготовительного производства

можно аппроксимировать асимметричным каналом между двумя соосными цилиндрами: одним - вращающимся барабаном очистителя, и вторым - неподвижным ограждением. Площадь поперечного сечения канала обозначим через  $S$ . Тогда

$$S = \pi(R_{OG}^2 - R_B^2). \quad (3.1)$$

Средняя скорость воздуха в осевом направлении рабочего барабана находится делением величины расхода воздуха на величину площади поперечного сечения канала:

$$V_\zeta = \frac{L_0}{S} = \frac{L_0}{\pi(R_{OG}^2 - R_B^2)}. \quad (4.2)$$

Относительная осевая скорость воздуха равна

$$\bar{V}_{a,x} = \frac{V_\zeta}{\omega R_B}; \quad (4.3)$$

Учитывая соотношение между угловой скоростью барабана частотой его вращения, имеем

$$\bar{V}_{a,x} = \frac{L_0}{\pi\omega R_B(R_{OG}^2 - R_B^2)} = \frac{30L_0}{\pi^2 n_B R_B (R_{OG}^2 - R_B^2)}. \quad (4.4)$$

Обозначим через  $r$  – радиальное расстояние. Полагаем, что азимутальное аэродинамическое поле можно моделировать как воздушный поток между двумя соосными цилиндрами, когда внутренний цилиндр с радиусом  $R_B$  вращается, а внешний цилиндр с радиусом  $R_{OG}$  неподвижен. Отметим, что в силу вязкости воздуха его окружная скорость на уровне  $r = R_B$  равна окруж-

ной скорости барабана  $V_B = \omega R_B$ . На неподвижном ограждении, то есть на расстоянии  $r = R_{OG}$ , считаем, что скорость воздуха равна нулю.

Согласно [7, 39, 40, 74] окружную скорость воздуха в этом случае можно определять по следующей формуле

$$V_{a,Y} = A_Y r + \frac{B_Y}{r}, \quad (4.5)$$

где  $A_Y = A_Y(R_B, R_{OG}, \omega)$ ;  $B_Y = B_Y(R_B, R_{OG}, \omega)$

В [39] доказано, что

$$A_Y = -\frac{R_B^2 \omega}{R_{OG}^2 - R_B^2}; \quad (4.6)$$

$$B_Y = \frac{R_B^2 R_{OG}^2 \omega}{R_{OG}^2 - R_B^2}. \quad (4.7)$$

На рис. 4.4 показано распределение окружных скоростей воздуха в камере разрыхлителя-очистителя CL-P ( $n = 500 \text{ мин}^{-1}$ ,  $R_B = 0,25 \text{ м}$ ,  $h_k = 0,1 \text{ м}$ ).

Выводим следующую формулу для расчета окружной скорости воздуха в технологической зоне:

$$\bar{V}_{a,Y} = \frac{V_{a,Y}}{\omega R_B} = \bar{A}_Y r + \frac{\bar{B}_Y}{r}, \quad (4.8)$$

где  $\bar{A}_Y = \bar{A}_Y(R_B, R_{OG})$ ;  $\bar{B}_Y = \bar{B}_Y(R_B, R_{OG})$ .

Очевидно, что

$$\bar{A}_Y = -\frac{R_B}{R_{OG}^2 - R_B^2}; \quad (4.9)$$

$$\bar{B}_Y = \frac{R_B R_{OG}^2}{R_{OG}^2 - R_B^2}. \quad (4.10)$$

Обозначим

$$r_{rel} = r/R_B. \quad (4.11)$$



Рис. 4.4. Распределение окружных скоростей воздуха в камере разрыхлителя-очистителя CL-P ( $n = 500 \text{ мин}^{-1}$ ,  $R_B = 0,25 \text{ м}$ ,  $h_k = 0,1 \text{ м}$ )

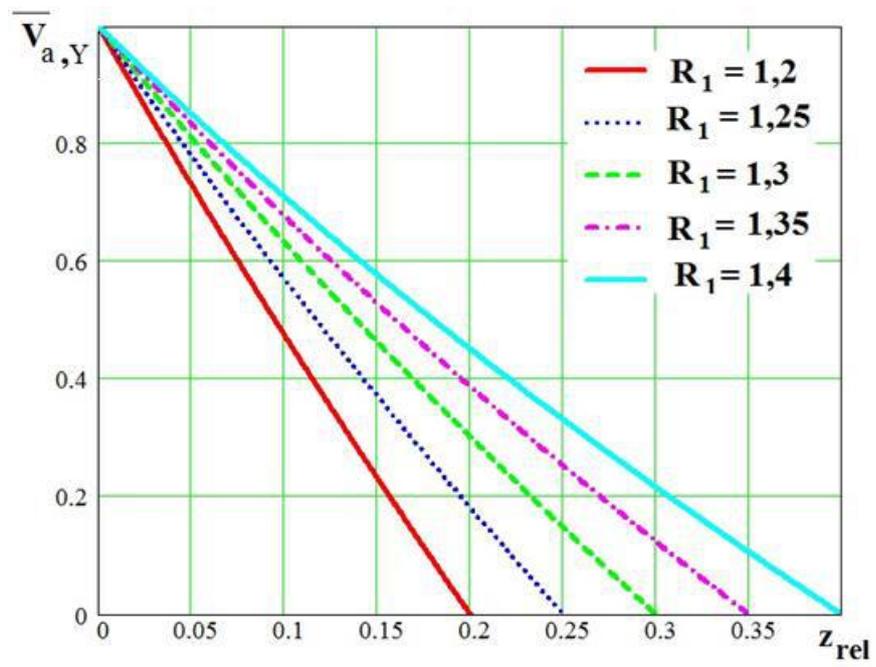


Рис. 4.5. График зависимости  $\bar{V}_{a,Y}$  от  $z_{rel}$  при различных  $R_1$

Тогда из (4.6) получим, что

$$\bar{V}_{a,Y} = A_{Y1} r_{rel} + \frac{B_{Y1}}{r_{rel}}, \quad (4.12)$$

$$\text{где } A_{Y1} = \bar{A}_Y R_B = -\frac{R_B^2}{R_{O\Gamma}^2 - R_B^2} = -\frac{1}{R_1^2 - 1};$$

$$B_{Y1} = \frac{\bar{B}_Y}{R_B} = \frac{R_1^2}{R_1^2 - 1};$$

$$R_1 = R_{O\Gamma} / R_B.$$

Так как  $r = R_B + z$ , то

$$\bar{V}_{a,Y} = A_{Y1}(1 + z_{rel}) + \frac{B_{Y1}}{1 + z_{rel}}, \quad (4.13)$$

где  $z_{rel} = z / R_B$ .

Отметим, что величина  $z_{rel}$  изменяется в диапазоне от нуля до значения  $R_1 - 1$ . График зависимости  $\bar{V}_{a,Y}$  от  $z_{rel}$  приведен на рис. 4.5. Полученные зависимости для расчета относительных скоростей  $\bar{V}_{a,X}$  и  $\bar{V}_{a,Y}$  далее будут необходимы для теоретического изучения движения волокнистых комплексов.

### 4.3. Математическая модель для расчета условия движения волокнистого комплекса вдоль поверхности штифта на барабане разрыхлителя-очистителя UNIClean B11

Удар штифта о волокнистый комплекс является неупругим. На протяжении удара полагали, что скорость волокнистого комплекса относительно штифта равна нулю. Далее при положительном ускорении  $\ddot{z} > 0$  волокни-

стый комплекс при преобладающем действии центробежных сил может двигаться вдоль поверхности штифта и далее сбрасываться в окружающую рабочий барабан воздушную среду. Рассмотрим технологические условия, при которых волокнистый комплекс после ударного воздействия на него со стороны штифта имеет положительное ускорение ( $\ddot{z} > 0$ ) вдоль штифта. Это условие можно записать в следующем виде:

$$K_{\text{вум}} [V_{a,X} \cos \varphi \cos \psi + (V_{a,Y} - V_{\text{ком}}) \sin \varphi \cos \psi] + \omega^2 R_B \sin \psi - kN/m - g \sin \psi > 0, \quad (4.14)$$

которое выступает как условие нахождения оптимальных параметров геометрических характеристик очистителя и его технологического режима.

Преобразуем (3.16):

$$\begin{aligned} \frac{\ddot{z}}{g} = \frac{K_{\text{ВИТ}}}{g} [V_{a,X} \cos \varphi \cos \psi + (V_{a,Y} - V_{\text{ком},Y}) \sin \varphi \cos \psi] + \\ + \frac{\omega^2 R_B}{g} \sin \psi - \frac{kN}{mg} - \sin \psi. \end{aligned}$$

Приближенно можно считать,  $V_{\text{ком},Y} \approx \omega R_B$ . Следовательно,

$$V_{a,Y} - V_{\text{ком},Y} \approx V_{a,Y} - \omega R_B$$

Введем обозначения для следующих относительных величин:

$$\bar{V}_{a,X} = \frac{V_{a,X}}{\omega R_B};$$

$$\bar{V}_{a,Y} = \frac{V_{a,Y}}{\omega R_B}.$$

Тогда

$$V_{a,X} = \omega R_B \bar{V}_{a,X};$$

$$V_{a,Y} - \omega R_B = \omega R_B (\bar{V}_{a,Y} - 1);$$

$$\begin{aligned} V_{\text{отн}} &= |\vec{V}_a - \vec{V}_{\text{ком}}| = \left[ V_{a,X}^2 + (V_{a,Y} - \omega R_B)^2 \right]^{0,5} = \\ &= \omega R_B \left[ \bar{V}_{a,X}^2 + (\bar{V}_{a,Y} - 1)^2 \right]^{0,5} = \omega R_B \Phi, \end{aligned}$$

где  $\Phi = \left[ \bar{V}_{a,X}^2 + (\bar{V}_{a,Y} - 1)^2 \right]^{0,5}$ .

Преобразуем выражения для  $K_{\text{вит}}$ :

$$K_{\text{вит}} = \frac{g\omega R_B}{V_{\text{вит}}^2} \left[ \bar{V}_{a,X}^2 + (\bar{V}_{a,Y} - 1)^2 \right]^{0,5} = \frac{g\omega R_B}{V_{\text{вит}}^2} \Phi. \quad (4.15)$$

Имеем

$$\begin{aligned} N_1 &= mg \left\{ -\frac{K_{\text{вит}}\omega R_B}{g} \left[ \bar{V}_{a,X} \cos \varphi \sin \psi + (\bar{V}_{a,Y} - 1) \sin \varphi \sin \psi \right] - \cos \psi + \right. \\ &\quad \left. + \frac{\omega^2 R_B}{g} \cos \psi \right\} = \\ &= mg \left\{ -\frac{g\omega R_B \Phi \omega R_B}{V_{\text{вит}}^2 g} \left[ \bar{V}_{a,X} \cos \varphi \sin \psi + (\bar{V}_{a,Y} - 1) \sin \varphi \sin \psi \right] - \right. \\ &\quad \left. - \cos \psi + \omega^2 R_B g \cos \psi \right\} = \\ &= mg \left\{ -K_1 \Phi \left[ \bar{V}_{a,X} \cos \varphi \sin \psi + (\bar{V}_{a,Y} - 1) \sin \varphi \sin \psi \right] - \cos \psi + K_2 \cos \psi \right\}, \end{aligned}$$

где  $K_1 = \frac{\omega^2 R_B^2}{V_{\text{вит}}^2}$ ;

$$K_2 = \frac{\omega^2 R_B}{g}.$$

Подставляя в формулы для  $K_1$  и  $K_2$  выражение для угловой скорости барабана имеем

$$K_1 = \frac{\omega^2 R_B^2}{V_{\text{ВИТ}}^2} = \frac{\pi^2 n_B^2 R_B^2}{900 V_{\text{ВИТ}}^2};$$

$$K_2 = \frac{\omega^2 R_B}{g} = \frac{\pi^2 n_B^2 R_B}{900 g}.$$

Преобразуем далее выражение для  $N_2$ :

$$\begin{aligned} N_2 &= mg \left\{ -\frac{K_{\text{ВИТ}} \omega R_B}{g} [-\bar{V}_{a,X} \sin \varphi + (\bar{V}_{a,Y} - 1) \cos \varphi] \right\} = \\ &= mg \left\{ -\frac{g \omega R_B \Phi \omega R_B}{V_{\text{ВИТ}}^2 g} [-\bar{V}_{a,X} \sin \varphi + (\bar{V}_{a,Y} - 1) \cos \varphi] \right\} = \\ &= mg \{ -K_1 \Phi [-\bar{V}_{a,X} \sin \varphi + (\bar{V}_{a,Y} - 1) \cos \varphi] \}. \end{aligned}$$

Обозначим

$$\bar{N} = \frac{N}{mg}; \quad \bar{N}_1 = \frac{N_1}{mg}; \quad \bar{N}_2 = \frac{N_2}{mg}.$$

Тогда

$$\bar{N}_1 = -K_1 \Phi [\bar{V}_{a,X} \cos \varphi \sin \psi + (\bar{V}_{a,Y} - 1) \sin \varphi \sin \psi] - \cos \psi + K_2 \cos \psi;$$

$$\bar{N}_2 = -K_1 \Phi [-\bar{V}_{a,X} \sin \varphi + (\bar{V}_{a,Y} - 1) \cos \varphi].$$

$$\bar{N} = \sqrt{\bar{N}_1^2 + \bar{N}_2^2}.$$

Преобразуем следующее выражение

$$\begin{aligned} &\frac{K_{\text{ВИТ}}}{g} [V_{a,X} \cos \varphi \cos \psi + (V_{a,Y} - V_{\text{КОМ}}) \sin \varphi \cos \psi] = \\ &= \frac{g \omega R_B \Phi \omega R_B}{g V_{\text{ВИТ}}^2} [\bar{V}_{a,X} \cos \varphi \cos \psi + (\bar{V}_{a,Y} - 1) \sin \varphi \cos \psi] = \\ &= K_1 \Phi [\bar{V}_{a,X} \cos \varphi \cos \psi + (\bar{V}_{a,Y} - 1) \sin \varphi \cos \psi]. \end{aligned}$$

Тогда

$$\begin{aligned} \frac{\ddot{z}}{g} = & K_1 \Phi [\bar{V}_{a,X} \cos \varphi \cos \psi + (\bar{V}_{a,Y} - 1) \sin \varphi \cos \psi] + \\ & + K_2 \sin \psi - k \sqrt{\bar{N}_1^2 + \bar{N}_2^2} - \sin \psi. \end{aligned} \quad (4.16)$$

Условие движения волокнистого комплекса вдоль поверхности штифта определяется из соотношения  $\ddot{z} > 0$ , т.е. имеет место неравенство

$$\begin{aligned} K_1 \Phi [\bar{V}_{a,X} \cos \varphi \cos \psi + (\bar{V}_{a,Y} - 1) \sin \varphi \cos \psi] + K_2 \sin \psi - \\ - k \sqrt{\bar{N}_1^2 + \bar{N}_2^2} - \sin \psi > 0. \end{aligned} \quad (4.17)$$

которое выступает как условие нахождения оптимальных параметров геометрических характеристик очистителя и его технологического режима.

Левая часть неравенства (4.17) содержит фактически только два параметра  $K_1$  и  $K_2$ , зависящих от  $\omega, R_B, V_{\text{вит}}$ , в то время как уравнение (4.14) содержит все эти три параметра в явном виде. Поэтому неравенство (4.17) представляет собой более удобную для расчетов форму записи неравенства (4.14).

В соответствии с зависимостями, полученными выше, величины  $K_1, K_2, \Phi, \bar{N}_1$  и  $\bar{N}_2$  зависят от  $n_B, R_B, \bar{V}_{a,X}, \bar{V}_{a,Y}$  и  $V_{\text{вит}}$ . Следовательно, при неизменных  $R_B$  и  $V_{\text{вит}}$  левая часть уравнения (4.17) зависит от  $n_B, \bar{V}_{a,X}, \bar{V}_{a,Y}$  и значений углов  $\varphi$  и  $\psi$ , что позволяет значительно сократить расчеты и наглядно представлять графическую информацию.

#### 4.4. Алгоритм для расчета условия движения волокнистого комплекса вдоль поверхности штифта разрыхлителя-очистителя UNiclean B11

Рассмотрим вначале процесс движения волокнистого комплекса вдоль штифта, расположенного таким образом, что величина угла  $\varphi = \pi$  (рис. 4.6). Угол между штифтом  $OA$  и осью  $OX$  составляет  $\psi_A$ , а угол между штифтом

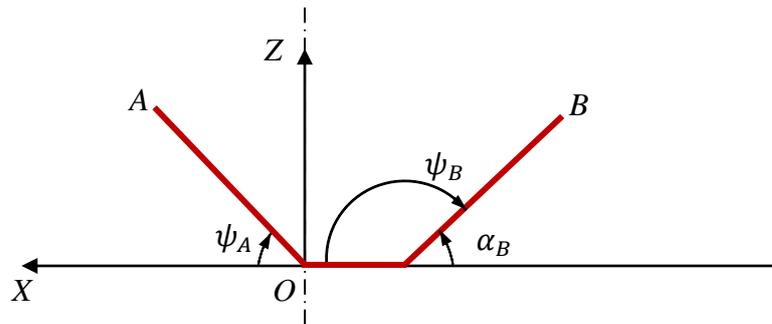


Рис. 4.6. Положение штифтов в системе координат  $OXY$

$OB$  и осью  $OX$  -  $\psi_B$ . Таким образом, угол наклона штифта  $OB$  к касательной поверхности барабана составляет  $180^0 - \psi_B$ , который обозначим через  $\alpha_B$ .

Для случая  $\varphi = \pi$  обозначим относительную силу реакции опоры  $\bar{N}$  через  $\bar{N}_0$ , а относительные силы  $\bar{N}_1$  и  $\bar{N}_2$  через  $\bar{N}_{1,0}$  и  $\bar{N}_{2,0}$ , соответственно. Следовательно,

$$\bar{N}_{1,0} = K_1 \Phi \bar{V}_{a,x} \sin \psi - \cos \psi + K_2 \cos \psi ;$$

$$\bar{N}_{2,0} = K_1 \Phi (\bar{V}_{a,y} - 1);$$

$$\bar{N}_0 = \sqrt{\bar{N}_{1,0}^2 + \bar{N}_{2,0}^2}.$$

Запишем зависимость для расчета относительного ускорения волокнистого комплекса:

$$\frac{\ddot{z}}{g} = -K_1 \Phi \bar{V}_{a,x} \cos \psi + K_2 \sin \psi - k \sqrt{\bar{N}_{1,0}^2 + \bar{N}_{2,0}^2} - \sin \psi.$$

Итак, вытекающее отсюда граничное условие, которое разделяет два механических состояния волокнистого комплекса на штифте, выражается уравнением

$$-K_1 \Phi \bar{V}_{a,x} \cos \psi + K_2 \sin \psi - k \sqrt{\bar{N}_{1,0}^2 + \bar{N}_{2,0}^2} - \sin \psi = 0.$$

Условие сбрасывания волокнистого комплекса со штифта приобретает следующий вид:

$$-K_1 \Phi \bar{V}_{a,X} \cos \psi + K_2 \sin \psi - k \sqrt{\bar{N}_{1,0}^2 + \bar{N}_{2,0}^2} - \sin \psi > 0. \quad (4.18)$$

Преобразуем левую часть неравенства (4.18). Имеем

$$\bar{N}_{1,0} = Q_1 K_1 + Q_2; \quad \bar{N}_{2,0} = Q_3 K_1,$$

где  $Q_1 = \Phi \bar{V}_{a,X} \sin \psi$ ;

$$Q_2 = -\cos \psi + K_2 \cos \psi;$$

$$Q_3 = \Phi(\bar{V}_{a,Y} - 1).$$

Следовательно,

$$\bar{N}_{1,0}^2 + \bar{N}_{2,0}^2 = (Q_1 K_1 + Q_2)^2 + (Q_3 K_1)^2.$$

Из (4.18) имеем, что

$$\sqrt{\bar{N}_{1,0}^2 + \bar{N}_{2,0}^2} < -K_1 \Phi \bar{V}_{a,X} k^{-1} \cos \psi + K_2 k^{-1} \sin \psi - k^{-1} \sin \psi$$

или

$$\sqrt{\bar{N}_{1,0}^2 + \bar{N}_{2,0}^2} < Q_4 K_1 + Q_5, \quad (4.19)$$

где  $Q_4 = -\Phi \bar{V}_{a,X} k^{-1} \cos \psi$ ;

$$Q_5 = K_2 k^{-1} \sin \psi - k^{-1} \sin \psi.$$

Преобразовывая далее (3.19), имеем

$$\bar{N}_{1,0}^2 + \bar{N}_{2,0}^2 < (Q_4 K_1 + Q_5)^2.$$

или

$$(Q_1 K_1 + Q_2)^2 + (Q_3 K_1)^2 - (Q_4 K_1 + Q_5)^2 < 0.$$

Преобразуем левую часть полученного неравенства

$$\begin{aligned}
& (Q_1 K_1 + Q_2)^2 + (Q_3 K_1)^2 - (Q_4 K_1 + Q_5)^2 = \\
& = (Q_1)^2 (K_1)^2 + 2Q_1 Q_2 K_1 + (Q_2)^2 + (Q_3)^2 (K_1)^2 - (Q_4)^2 (K_1)^2 - \\
& \quad - 2Q_4 Q_5 K_1 - (Q_5)^2 = \\
& = [(Q_1)^2 + (Q_3)^2 - (Q_4)^2] (K_1)^2 + 2(Q_1 Q_2 - Q_4 Q_5) K_1 + (Q_2)^2 - (Q_5)^2 = \\
& = Q_6 (K_1)^2 + Q_7 K_1 + Q_8,
\end{aligned}$$

где  $Q_6 = (Q_1)^2 + (Q_3)^2 - (Q_4)^2$ ;

$$Q_7 = 2(Q_1 Q_2 - Q_4 Q_5);$$

$$Q_8 = (Q_2)^2 - (Q_5)^2.$$

Следовательно, имеем, что

$$Q_6 (K_1)^2 + Q_7 K_1 + Q_8 < 0. \quad (4.20)$$

Обозначим

$$Q_9 = \frac{\pi^2 n_B^2 R_B^2}{900}, \quad (4.21)$$

тогда

$$K_1 = \frac{Q_9}{V_{\text{ВИТ}}^2}.$$

Подставим выражение для  $K_1$  в (4.20)

$$Q_6 \left( \frac{Q_9}{V_{\text{ВИТ}}^2} \right)^2 + Q_7 \frac{Q_9}{V_{\text{ВИТ}}^2} + Q_8 < 0. \quad (4.22)$$

В итоге получаем неравенство относительно  $V_{\text{ВИТ}}^2$ , которое определяет условие сброса волокнистого комплекса со штифта:

$$Q_8 V_{\text{ВИТ}}^4 + Q_7 Q_9 V_{\text{ВИТ}}^2 + Q_6 Q_9^2 < 0.$$

или

$$a_Q V_{\text{ВИТ}}^4 + b_Q V_{\text{ВИТ}}^2 + c_Q < 0, \quad (4.23)$$

где  $a_Q = Q_8$ ;

$$b_Q = Q_7 Q_9;$$

$$c_Q = Q_6 Q_9^2.$$

Теперь выведем условие сброса волокнистого комплекса в общем случае. Обозначим

$$U_4 = \Phi[\bar{V}_{a,X} \cos \varphi \cos \psi + (\bar{V}_{a,Y} - 1) \sin \varphi \cos \psi];$$

$$U_5 = \sin \psi.$$

Неравенство (4.17) записываем в следующем виде:

$$U_4 K_1 + U_5 K_2 - k \sqrt{\bar{N}_1^2 + \bar{N}_2^2} - U_5 > 0. \quad (4.24)$$

Из (4.24) последовательно получаем следующие неравенства:

$$\sqrt{\bar{N}_1^2 + \bar{N}_2^2} - k^{-1}(U_4 K_1 + U_5 K_2 - U_5) < 0; \quad (4.25)$$

$$\bar{N}_1^2 + \bar{N}_2^2 - k^{-2}(U_4 K_1 + U_5 K_2 - U_5)^2 < 0. \quad (4.26)$$

Для  $\bar{N}_1$  и  $\bar{N}_2$  мы имеем следующие выражения:

$$\bar{N}_1 = U_1 K_1 + U_2 K_2 - U_2; \quad (4.27)$$

$$\bar{N}_2 = U_3 K_1, \quad (4.28)$$

где  $U_1 = -\Phi[\bar{V}_{a,X} \cos \varphi \sin \psi + (\bar{V}_{a,Y} - 1) \sin \varphi \cos \psi] = -U_4$ ;

$$U_2 = \cos \psi;$$

$$U_3 = -\Phi[-\bar{V}_{a,X} \sin \varphi + (\bar{V}_{a,Y} - 1) \cos \varphi].$$

Из (4.27) имеем

$$\bar{N}_1^2 = (U_1 K_1 + U_2 K_2 - U_2)^2 = U_1^2 K_1^2 + 2U_1 U_2 K_1 + U_2^2,$$

где  $U_6 = U_2K_2 - U_2$ .

Следовательно,

$$\begin{aligned}\bar{N}_1^2 + \bar{N}_2^2 &= U_1^2K_1^2 + 2U_1U_6K_1 + U_6^2 + U_3^2K_1^2 = \\ &= (U_1^2 + U_3^2)K_1^2 + 2U_1U_6K_1 + U_6^2.\end{aligned}$$

Из (4.26) имеем

$$\begin{aligned}(U_4K_1 + U_5K_2 - U_5)^2 &= (U_4K_1 + U_7)^2 = \\ &= U_4^2K_1^2 + 2U_4U_7K_1 + U_7^2,\end{aligned}$$

где  $U_7 = U_5K_2 - U_5$ .

Следовательно,

$$(U_1^2 + U_3^2)K_1^2 + 2U_1U_6K_1 + U_6^2 - k^{-2}(U_4^2K_1^2 + 2U_4U_7K_1 + U_7^2) < 0. \quad (4.29)$$

Соберем однородные члены неравенства в левой части (3.29)

$$(U_1^2 + U_3^2 - k^{-2}U_4^2)K_1^2 + (2U_1U_6 - 2k^{-2}U_4U_7)K_1 - k^{-2}U_7^2 + U_6^2 < 0. \quad (4.30)$$

Обозначим

$$U_8 = U_1^2 + U_3^2 - k^{-2}U_4^2;$$

$$U_9 = 2U_1U_6 - 2k^{-2}U_4U_7;$$

$$U_{10} = U_6^2 - k^{-2}U_7^2.$$

Из (4.30) получаем уравнение сброса волокнистого комплекса в общем виде:

$$U_8K_1^2 + U_9K_1 + U_{10} < 0. \quad (4.31)$$

Выражаем левую часть неравенства (4.31) через скорость витания волокнистого комплекса:

$$U_8 \left( \frac{Q_9}{V_{\text{ВИТ}}^2} \right)^2 + U_9 \frac{Q_9}{V_{\text{ВИТ}}^2} + U_{10} < 0. \quad (4.32)$$

Умножаем левую и правую части (4.32) на  $V_{\text{ВИТ}}^4$ :

$$U_{10} V_{\text{ВИТ}}^4 + U_9 Q_9 V_{\text{ВИТ}}^2 + U_8 Q_9^2 < 0.$$

Или

$$a_U V_{\text{ВИТ}}^4 + b_U V_{\text{ВИТ}}^2 + c_U < 0, \quad (4.33)$$

где  $a_U = U_{10}$ ;

$$b_U = U_9 Q_9;$$

$$c_U = U_8 Q_9^2.$$

Блок-схемы алгоритмов для расчета условия движения волокнистого комплекса по поверхности штифта разрыхлителя-очистителя UNIClean B11 представлены на рис. 4.7. и 4.8.

#### 4.5. Результаты расчета процесса разрыхления в зоне вывода волокнистого материала из камеры разрыхлителя-очистителя UNIClean B11

Величина  $R_B$  принята равной 315 мм, длина штифта – 60 мм, а коэффициент трения волокон о поверхность штифта  $k = 0,36$ .

Граничные условия, определяющие величины скоростей витания волокнистых комплексов, которые могут двигаться вдоль поверхности штифта, находим из соотношения (4.23):

$$a_Q V_{\text{ВИТ}}^4 + b_Q V_{\text{ВИТ}}^2 + c_Q = 0. \quad (4.34)$$

Левую часть (4.34) рассматривать в виде полинома второй степени от  $V_{\text{ВИТ}}^2$ :

$$f(V_{\text{ВИТ}}^2) = a_Q(V_{\text{ВИТ}}^2)^2 + b_Q V_{\text{ВИТ}}^2 + c_Q. \quad (4.35)$$

Пусть  $n_B$  изменяется в диапазоне от 300 до 800 мин<sup>-1</sup>, а  $\alpha_B$  изменяется в диапазоне от 40° до 50°. Обозначим через  $D_V$  дискриминант уравнения (4.34):

$$D_V = b_Q^2 - 4a_Q c_Q = (Q_7)^2 - 4Q_6 Q_8. \quad (4.36)$$

Расчет показал, что величина  $D_V > 0$ .

Исследуем величину  $a_Q = Q_8$ . На рис. 4.9 представлен график зависимости величины  $a_Q$  от  $\alpha_B$  и  $n_B$ . Как следует из графика на рис. 4.9 величина  $a_Q$  в данном диапазоне изменения  $\alpha_B$  и  $n_B$  является строго отрицательной.

То есть, функция (4.35) в диапазоне изменения  $V_{\text{ВИТ}}^2$  приобретает максимальное значение, а уравнение (4.34) имеет два корня  $(V_{\text{ВИТ}}^2)_{1,2}$ , определяемые из следующего соотношения:

$$(V_{\text{ВИТ}}^2)_{1,2} = \frac{-b_Q \mp \sqrt{b_Q^2 - 4a_Q c_Q}}{2a_Q} = Q_9 \frac{-Q_7 \pm (Q_7^2 - 4Q_6 Q_8)^{0,5}}{2Q_8}. \quad (4.37)$$

Построим график функции  $C_h = -Q_7 - (Q_7^2 - 4Q_6 Q_8)^{0,5}$ . Как следует из графика на рис. 4.10 величина  $C_h$  в заданных диапазонах изменения  $\alpha_B$  и  $n_B$  является отрицательной.

Величина  $Q_9$  положительна по определению. Следовательно, в (4.37) для расчета выбираем знак «минус» перед  $\sqrt{D_V}$  и получаем следующую формулу для расчета корня квадратного уравнения (4.34)  $V_{\text{ВИТ},1}$ :

$$V_{\text{ВИТ},1} = \langle 0,5(Q_8)^{-1} Q_9 \{-Q_7 - [(Q_7)^2 - 4Q_6 Q_8]^{0,5}\} \rangle^{0,5}. \quad (4.38)$$

Второй корень квадратного уравнения (4.34) не имеет физического смысла, потому что подкоренное выражение отрицательно.

Итак, в соответствии с представленными выше рассуждениями условие сбрасывания волокнистого комплекса со штифта вдоль поверхности послед-

него выполняется, если его скорость витания клочка отвечает следующему условию:

$$V_{\text{вит}} > V_{\text{вит},1}$$

или

$$V_{\text{вит}} > \langle 0,5|Q_8|^{-1}Q_9\{Q_7 + [(Q_7)^2 - 4Q_6Q_8]^{0,5}\} \rangle^{0,5}. \quad (4.39)$$

На рис. 4.11 представлен график зависимости  $V_{\text{вит},1}$  от  $n_B$  при  $\alpha_B = 45^\circ$ . Исходя из условия (4.33), только те волокнистые комплексы будут

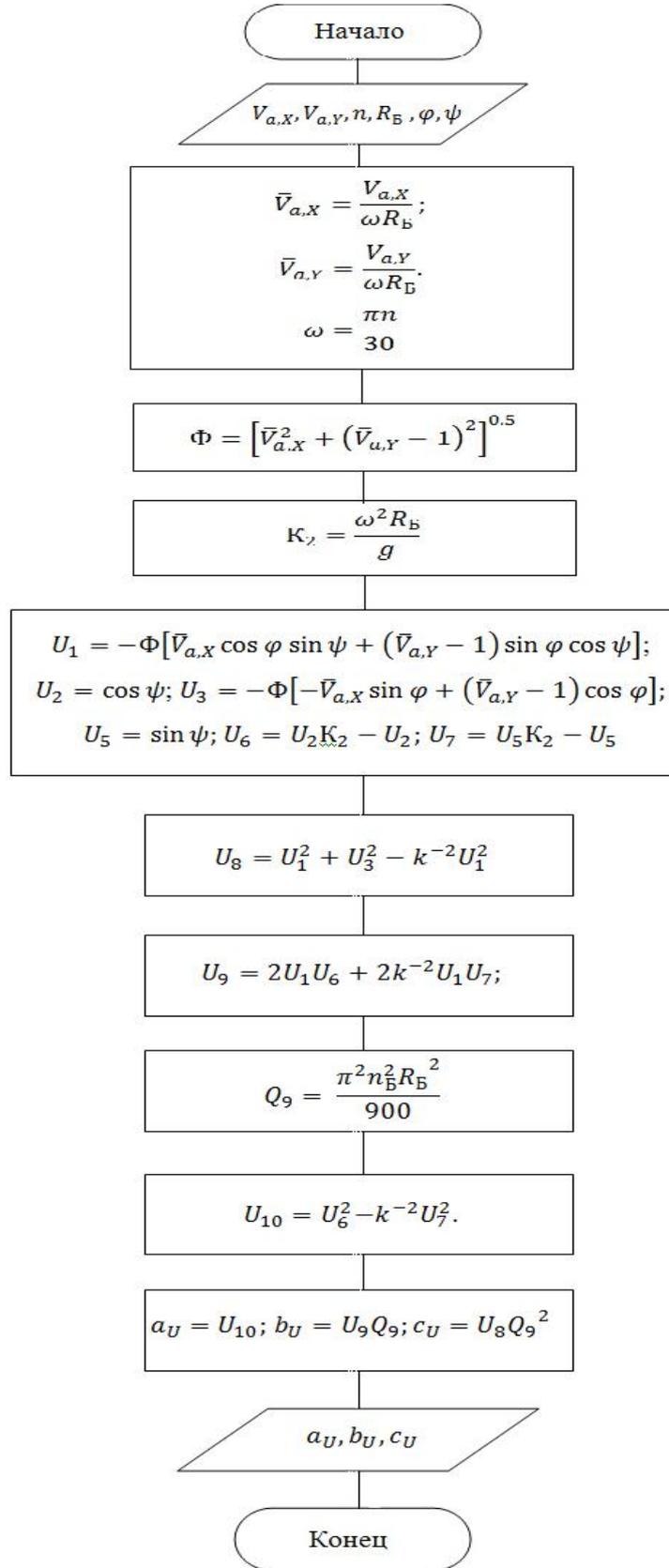


Рис. 4.7. Алгоритм для определения коэффициентов уравнения при расчете граничной скорости витания волокнистых комплексов в общем случае

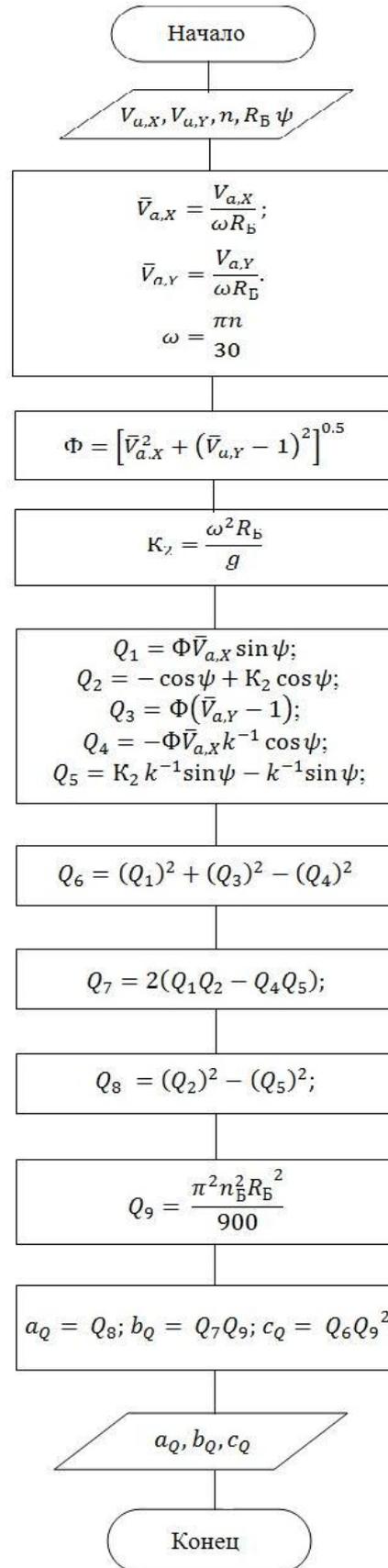
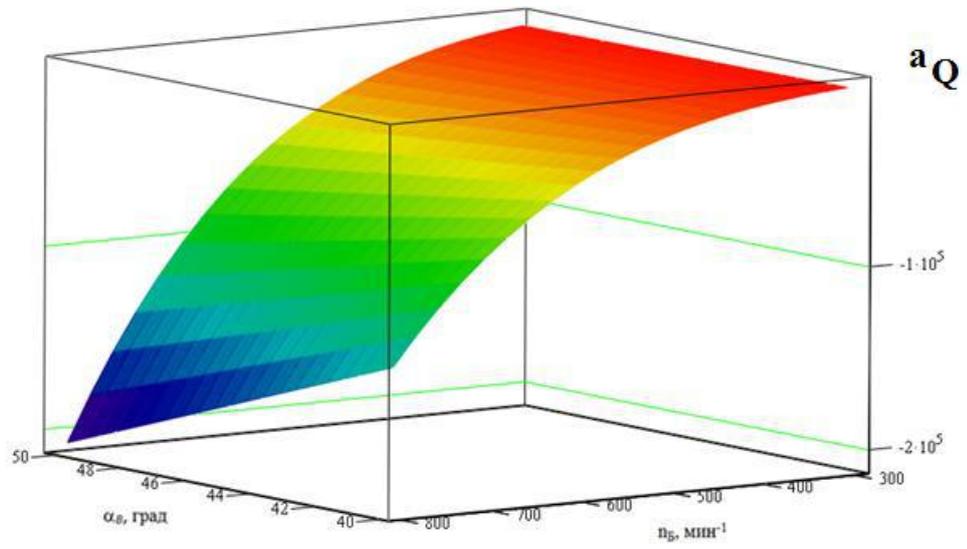


Рис. 4.8. Алгоритм для определения коэффициентов уравнения при расчете граничной скорости витания волокнистых комплексов при  $\varphi = 0$



4.9. График зависимости  $a_Q$  от  $\alpha_B$  и  $n_B$

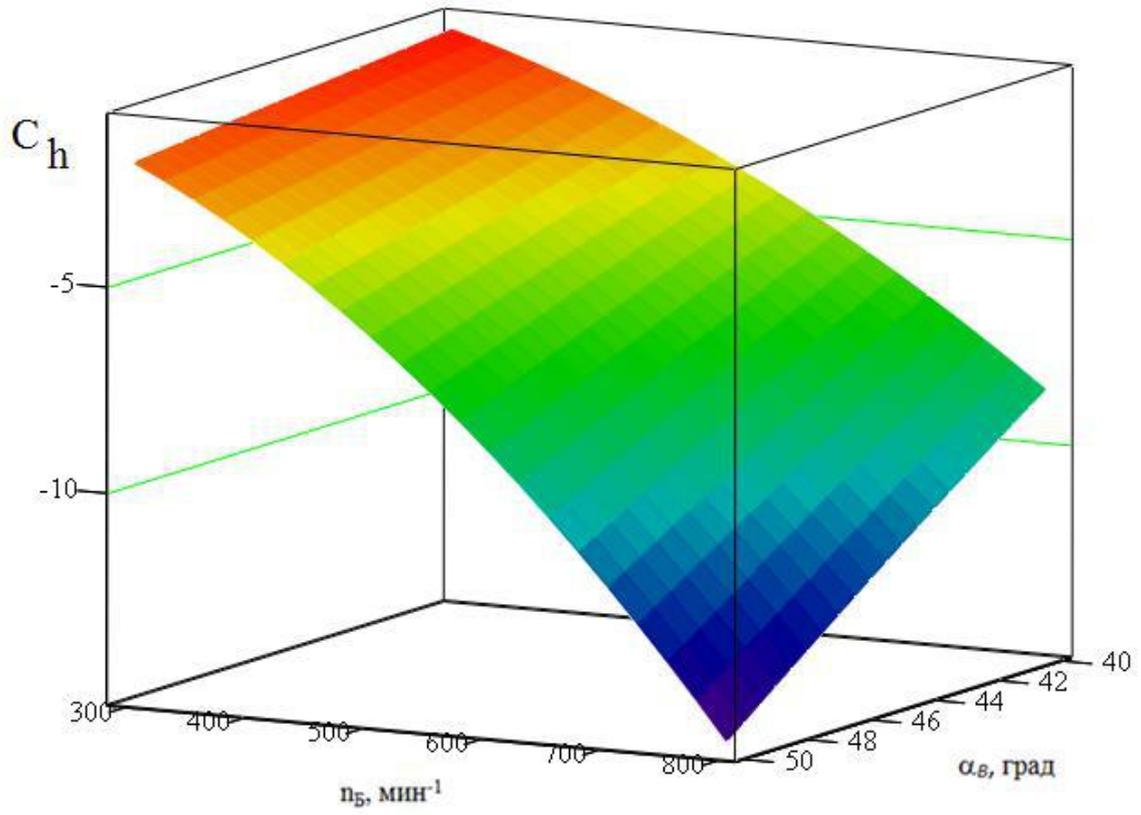


Рис. 4.10. График зависимости  $C_h$  от  $\alpha_B$  и  $n_B$

сбрасываться со штифта (вдоль его поверхности), скорости витания которых расположены над графиком зависимости  $V_{\text{вит},1}$  от  $n_{\text{Б}}$ . Как следует из графика на рис. 4.11 максимальное расчетное значение граничной скорости витания клочка составляет около 0,16 м/с.

Поскольку скорости витания волокнистых комплексов на выходе из разрыхлителя-очистителя UNClean B11 лежат в диапазоне от 0,34 м/с до 1,24 м/с, то на конечном участке винтового движения воздушно-волокнистого потока происходит сброс всех волокнистых комплексов с поверхности штифтов.

#### 4.6. Исследование динамики волокнистых комплексов в разрыхлителе-очистителе CL-P

##### 4.6.1. Вывод уравнения движения волокнистого комплекса вдоль поверхности колка разрыхлителя-очистителя CL-P

Отметим, что разработанная методика применима для анализа процесса разрыхления в разрыхлителе-очистителе. В качестве частного случая рассмотрим механическое состояние волокнистого комплекса на колке разрыхлителя-очистителя, когда последний расположен по радиусу, то есть в (4.16), когда  $\varphi = 0^\circ$  и  $\psi = 0,5\pi$ . Схема действия сил на волокнистый комплекс, находящийся на колке, представлена на рис. 4.12. Отметим, что  $V_{a,X} = 0$ . В этом случае сила реакции опоры определяется по формуле

$$N_0 = \left\{ (-K_{\text{вум}} V_{a,X})^2 + K_{\text{вум}}^2 [-V_{a,X} + V_{a,Y} - V_{\text{ком},Y}]^2 \right\}^{0,5} m.$$

Продолжая преобразования в формуле для  $N_0$ , имеем

$$N_0 = K_{\text{вум}} \left\{ V_{a,X}^2 + [-V_{a,X} + V_{a,Y} - V_{\text{ком},Y}]^2 \right\}^{0,5} m = K_{\text{вум}} |V_{a,Y} - V_{\text{ком},Y}| m.$$

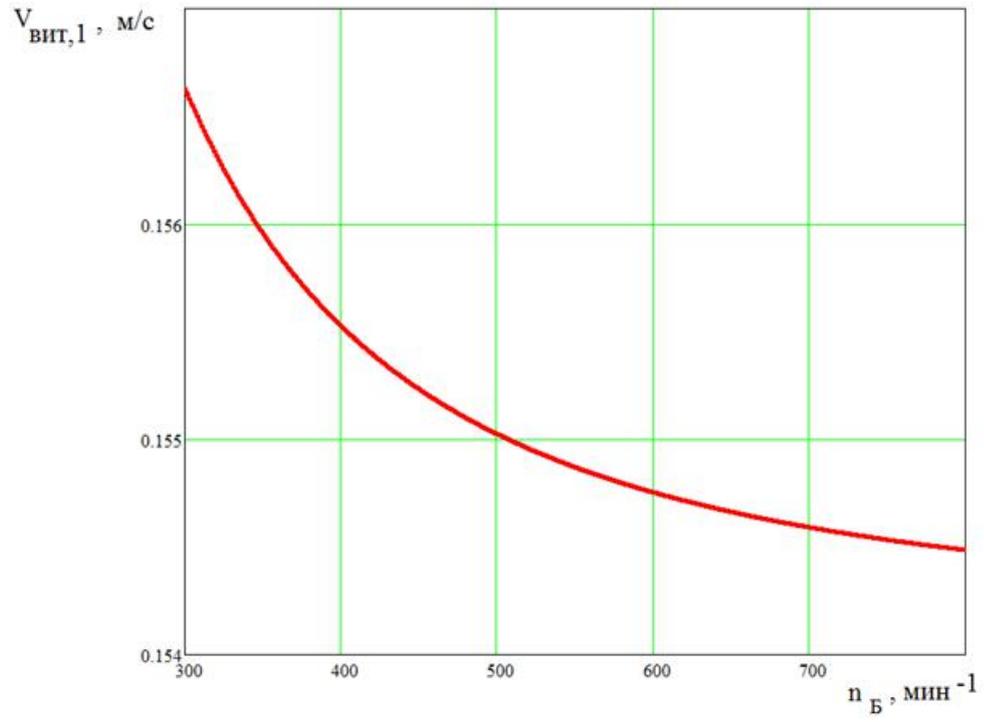


Рис. 4.11. График зависимости  $V_{\text{вит},1}$  от  $n_B$  при  $\alpha_B = 45^\circ$

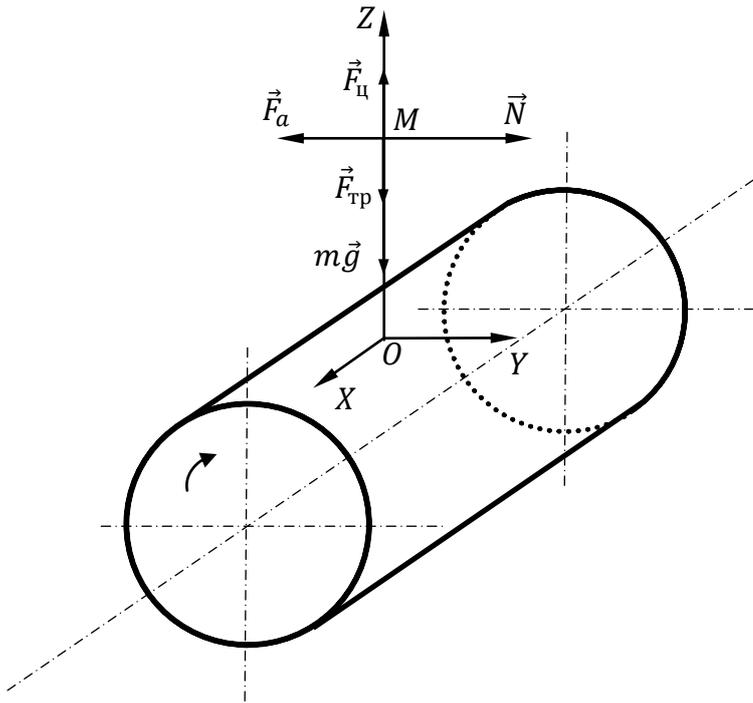


Рис. 4.12. Схема действия сил на волокнистый комплекс, находящийся на колке разрыхлителя-очистителя CL-P

Волокнистый комплекс движется по оси  $Oz$  со скоростью  $V_{ком,z} = \dot{z}$ . Поэтому на него в отрицательном направлении оси  $Oz$  действует аэродинамическая сила  $\vec{F}_{a,z}$ , абсолютное значение которой определяется по формуле

$$|\vec{F}_{a,z}| = mgV_{ком,z}^2 / V_{вум}^2 = mg(\dot{z})^2 / V_{вум}^2.$$

С учетом действия аэродинамической силы  $\vec{F}_{a,z}$  получаем из (3.16), что

$$\frac{\ddot{z}}{g} = K_2 - k\sqrt{\bar{N}_1^2 + \bar{N}_2^2} - 1 - (\dot{z})^2 / V_{вум}^2.$$

Так как

$$\frac{N_0}{m} = \sqrt{\bar{N}_1^2 + \bar{N}_2^2},$$

то

$$\frac{\ddot{z}}{g} = \frac{\omega^2(R_B + z)}{g} - kK_{вум}|V_{a,Y} - V_{ком,Y}| - 1 - (\dot{z})^2 / V_{вум}^2.$$

Отсюда уравнение движения волокнистого комплекса вдоль поверхности колка принимает следующий вид:

$$\ddot{z} = \omega^2(R_B + z) - kgK_{вум}|V_{a,Y} - V_{ком,Y}| - g - g(\dot{z})^2 / V_{вум}^2. \quad (4.40)$$

#### 4.6.2. Расчет условия движения волокнистого комплекса

##### вдоль поверхности колка разрыхлителя-очистителя СЛ-Р

Высоту колка обозначим через  $h_k$ . Полагаем, что для разрыхлителя-очистителя  $R_B = 250$  мм,  $h_k = 10$  мм. Считаем, что центр масс волокнистого комплекса расположен на колке на расстоянии  $h_{ком}$  от поверхности барабана. При этом в силу существования различных случайных факторов волокни-

стый комплекс после столкновения с колком может сброситься с колка в следующих двух вариантах его механического состояния:

- 1) сброс происходит после продвижения волокнистого комплекса вдоль части колка;
- 2) волокнистый комплекс преодолевает путь, равный длине колка.

Рассмотрим отношение величины центробежного ускорения к величине ускорения свободного падения:  $\bar{a}_ц = \omega^2 R_B / g$ . На рис. 4.13 показан график зависимости  $\bar{a}_ц$  от частоты вращения барабана  $n_B$ . Как следует из характера зависимости  $\bar{a}_ц$  от  $n_B$  величина центробежного ускорения  $\omega^2 (R_B + z)$  значительно превышает величину ускорения свободного падения  $g$ :

$$\omega^2 (R_B + z) \gg g.$$

Следовательно, членом « $g$ » в правой части уравнения (4.40) можно пренебречь и записать это уравнение в следующем упрощенном виде:

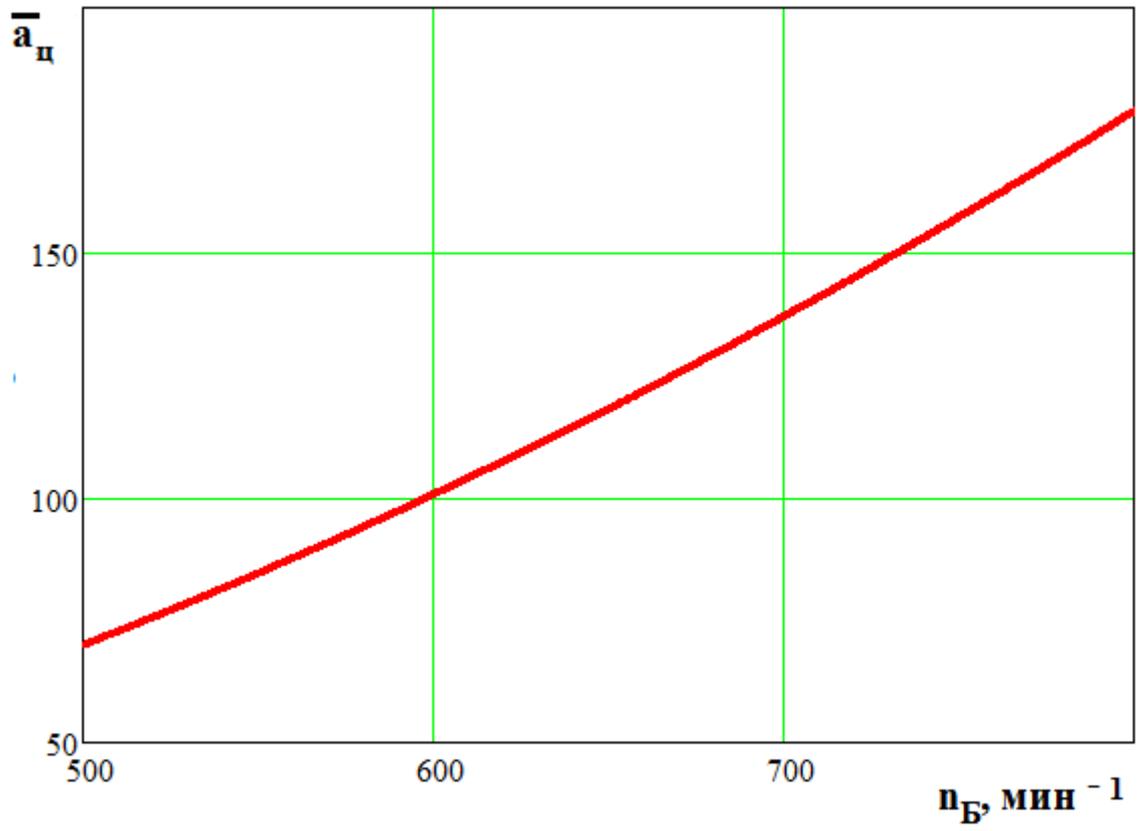
$$\ddot{z} = \omega^2 (R_B + z) - kg V_{отн} V_{вит}^{-2} |V_{a,Y} - V_{ком,Y}| - g (\dot{z})^2 / V_{вит}^2.$$

То есть

$$\ddot{z} = \omega^2 (R_B + z) - kg (V_{a,Y} - V_{ком,Y})^2 / V_{вит}^2 - g (\dot{z})^2 / V_{вит}^2. \quad (4.41)$$

Рассмотрим условие сброса волокнистого комплекса с поверхности колка. Положим, что в момент сброса скоростью волокнистого комплекса вдоль оси  $Ox$  можно пренебречь. Поэтому принимая во внимание, что центр масс волокнистого комплекса расположен на расстоянии  $z$  от поверхности барабана, полагаем, что составляющая по координате  $OY$  скорости волокнистого комплекса  $V_{ком,Y} = \omega(R_B + z)$ . Поэтому полученное уравнение приводится к виду

$$\ddot{z} = \omega^2 (R_B + z) - \frac{kg}{V_{вит}^2} [\omega(R_B + z) - V_{a,Y}]^2 - g (\dot{z})^2 / V_{вит}^2. \quad (4.42)$$



4.13. График зависимости  $\bar{a}_ц$  от частоты вращения барабана  $n_B$

Отсюда условие движение волокнистого комплекса вдоль поверхности колка ( $\ddot{z} > 0$ ):

$$\omega^2(R_B + z) - \frac{kg}{V_{\text{ВИТ}}^2} [\omega(R_B + z) - V_{a,Y}]^2 - g(\dot{z})^2 / V_{\text{вум}}^2 > 0$$

Или

$$V_{\text{вум}}^2 > \frac{g}{\omega^2(R_B + z)} \left\{ k[\omega(R_B + z) - V_{a,Y}]^2 + (\dot{z})^2 \right\}.$$

То есть

$$V_{\text{вум}} > \frac{1}{\omega} \sqrt{\frac{g}{\omega(R_B + z)} \left\{ k[\omega(R_B + z) - V_{a,Y}]^2 + (\dot{z})^2 \right\}^{0,5}}. \quad (4.43)$$

Отсюда граничные значения скоростей витания, определяемые для условия (4.15), вычисляются по следующей зависимости:

$$V_{\text{вум}2} = \frac{1}{\omega} \sqrt{\frac{kg}{\omega(R_B + z)} \left[ \omega(R_B + z) - A_Y(R_B + z) - \frac{B_Y}{R_B + z} \right]}. \quad (4.44)$$

Графики зависимости значений  $V_{\text{вум}}$  от  $z$ , которые вычислены согласно (4.44) для  $n = 500 \text{ мин}^{-1}$  и  $n = 800 \text{ мин}^{-1}$  представлены на рис. 4.14 и 4.15. Согласно расчетам максимальное значение граничной скорости витания не превосходит 0,15 м/с. Диапазон же скоростей витания волокнистых комплексов на выходе из разрыхлителя-очистителя начинается со значения 0,34 м/с. Отсюда следует, что волокнистые комплексы после столкновения с колком начинают движение вдоль поверхности колка. Далее в силу различных случайных воздействий может происходить сброс волокнистого комплекса. Причем точка сброса не может быть определена точно и является случайной величиной.

Поскольку условие (4.44) выполняется во всем диапазоне изменения скоростей витания волокнистых комплексов, обрабатываемых в разрыхлителе-очистителе (напомним, что этот диапазон находится в пределах от 0,34 м/с

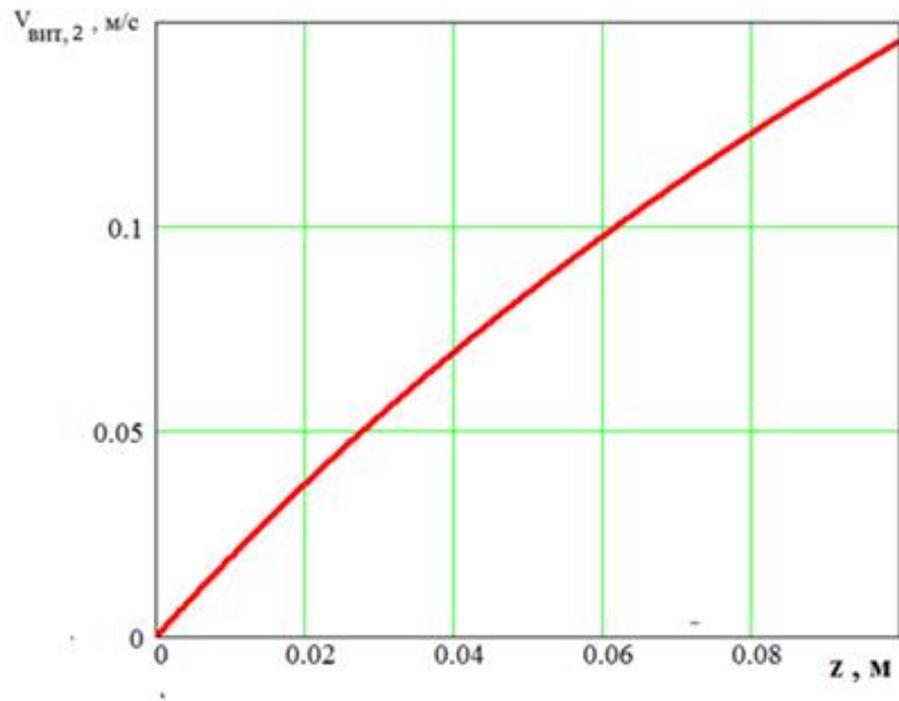


Рис. 4.14. График зависимости граничных значений скоростей витания волокнистых комплексов при их сбросе с колков разрыхлителя-очистителя ( $n = 500 \text{ мин}^{-1}$ ,  $R_B = 0,25 \text{ м}$ ,  $h_k = 0,1 \text{ м}$ )

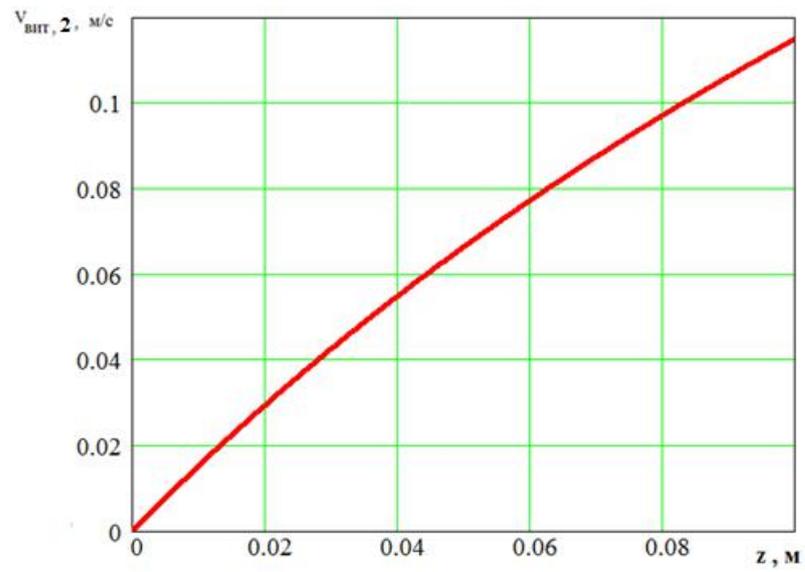


Рис. 4.15. График зависимости граничных значений скоростей витания волокнистых комплексов при их сбросе с колков разрыхлителя-очистителя ( $n = 800 \text{ мин}^{-1}$ ,  $R_B = 0,25 \text{ м}$ ,  $h_k = 0,1 \text{ м}$ )

до 1,24 м/с), то волокнистые комплексы после неупругого столкновения с колком барабана разрыхлителя-очистителя, приобретают на колке ускорение, направленное радиально. Далее волокнистые комплексы движутся с ускорением вдоль поверхности колка и в силу различных случайных причин теряют контакт с колком. В момент сброса волокнистый комплекс приобретает помимо окружной скорости еще и радиальную скорость. Таким образом, при расчете траекторий движения волокнистых комплексов в камере разрыхлителя-очистителя необходимо учитывать, что после сброса с колков их начальная скорость складывается из двух компонент - радиальной и окружной.

#### 4.6.3. Решение уравнения движения волокнистого комплекса вдоль поверхности колка разрыхлителя-очистителя CL-P

Подставим в уравнение (4.42) выражение для  $V_{a,y}$ . Далее рассмотрим движение волокнистого комплекса вдоль поверхности колка, которое описывается следующим уравнением:

$$\ddot{z} - \omega^2(R_B + z) + \frac{kg}{V_{\text{ВИТ}}^2} \left[ \omega(R_B + z) - A_Y(R_B + z) - \frac{B_Y}{R_B + z} \right]^2 + g(\dot{z})^2 / V_{\text{сум}}^2 = 0. \quad (4.45)$$

Из уравнения (4.45) определим скорости движения волокнистого комплекса вдоль поверхности колка в зависимости от положения точки удара волокнистого комплекса о колк.

Преобразуем левую часть (4.45). Для этого выполним промежуточные вычисления:

$$\left[ \omega(R_B + z) - A_Y(R_B + z) - \frac{B_Y}{R_B + z} \right]^2 = \left[ (\omega - A_Y)(R_B + z) - \frac{B_Y}{R_B + z} \right]^2.$$

Обозначим  $C_Y = \omega - A_Y$ . Тогда

$$\left[ C_Y(R_B + z) - \frac{B_Y}{R_B + z} \right]^2 = C_Y^2(R_B + z)^2 - 2B_Y C_Y + \frac{B_Y^2}{(R_B + z)^2}.$$

Пусть столкновение волокнистого комплекса с колком произошло в точке  $z_0$ . Обозначим  $\varepsilon = z - z_0$  и  $R_0 = R_B + z_0$ . Тогда

$$z = z_0 + \varepsilon; R_B + z = R_0 + \varepsilon.$$

Следовательно,

$$C_Y^2(R_B + z)^2 - 2B_Y C_Y + \frac{B_Y^2}{(R_B + z)^2} = C_Y^2(R_0 + \varepsilon)^2 - 2B_Y C_Y + \frac{B_Y^2}{(R_0 + \varepsilon)^2}.$$

Очевидно, что расстояние, которое преодолевает волокнистый комплекс при своем движении вдоль колка, в силу действия различных случайных факторов мало по сравнению с  $R_0$ , то есть имеет место соотношение  $R_0 \gg \varepsilon$ . Следовательно,

$$(R_0 + \varepsilon)^2 \approx R_0^2 \left( 1 + 2 \frac{\varepsilon}{R_0} \right);$$

$$\frac{1}{(R_0 + \varepsilon)^2} \approx R_0^{-2} \left( 1 - 2 \frac{\varepsilon}{R_0} \right).$$

Тогда

$$\begin{aligned} C_Y^2(R_0 + \varepsilon)^2 - 2B_Y C_Y + \frac{B_Y^2}{(R_0 + \varepsilon)^2} &\approx \\ &\approx C_Y^2 R_0^2 + 2C_Y^2 R_0 \varepsilon - 2B_Y C_Y + B_Y^2 R_0^{-2} - B_Y R_0^{-3} \varepsilon = \\ &= C_Y^2 R_0^2 - 2B_Y C_Y + B_Y^2 R_0^{-2} + (2C_Y^2 R_0 - B_Y R_0^{-3}) \varepsilon = D_Y + E_Y \varepsilon, \end{aligned}$$

где  $D_Y = C_Y^2 R_0^2 - 2B_Y C_Y + B_Y^2 R_0^{-2}$ ;

$$E_Y = 2C_Y^2 R_0 - B_Y R_0^{-3}.$$

Так как  $\dot{z} = \dot{\varepsilon}$ ;  $\ddot{z} = \ddot{\varepsilon}$ , то уравнение (4.45) приобретает следующий вид:

$$\ddot{\varepsilon} = \omega^2 R_0 + \omega^2 \varepsilon - \frac{kg}{V_{\text{ВИТ}}^2} (D_Y + E_Y \varepsilon) - \frac{g(\dot{\varepsilon})^2}{V_{\text{ВИТ}}^2}.$$

Или

$$\ddot{\varepsilon} = \left( \omega^2 - \frac{kg}{V_{\text{ВИТ}}^2} E_Y \right) \varepsilon + \omega^2 R_B - \frac{kg}{V_{\text{ВИТ}}^2} D_Y - \frac{g(\dot{\varepsilon})^2}{V_{\text{ВИТ}}^2}. \quad (4.46)$$

Из (4.46) находим, что

$$\ddot{\varepsilon} + 0,5[A_2(\dot{\varepsilon})^2 + A_1\varepsilon + A_0] = 0. \quad (4.47)$$

где  $A_0 = 2 \left( -\omega^2 R_B + \frac{kg}{V_{\text{ВИТ}}^2} D_Y \right);$

$$A_1 = 2 \left( -\omega^2 + \frac{kg}{V_{\text{ВИТ}}^2} E_Y \right);$$

$$A_2 = 2g/V_{\text{ВИТ}}^2.$$

Обозначим

$$p = \frac{d\varepsilon}{dt}.$$

Следовательно,

$$p \frac{dp}{d\varepsilon} = -0,5(A_2 p^2 + A_1 \varepsilon + A_0).$$

Так как

$$p \frac{dp}{d\varepsilon} = 0,5 \frac{dp^2}{d\varepsilon},$$

то

$$0,5 \frac{dp^2}{d\varepsilon} = -0,5(A_2 p^2 + A_1 \varepsilon + A_0).$$

Обозначим  $\Phi = p^2$ . Следовательно,

$$\frac{d\Phi}{d\varepsilon} = -(A_2 \Phi + A_1 \varepsilon + A_0).$$

Решение полученного линейного дифференциального уравнения в соответствии с методом, изложенным в [92, 93] имеет следующий вид:

$$\Phi(\varepsilon) = A_2^{-2}[(1 - \exp(-A_2\varepsilon))(A_0A_2 - A_1) + A_1A_2\varepsilon].$$

Следовательно,

$$\dot{z} = (A_2)^{-1}[(1 - \exp(-A_2(z - z_0)))(A_0A_2 - A_1) + A_1A_2(z - z_0)]^{-0.5}. \quad (4.48)$$

Ранее рассмотрели разрыхление как сумму двух процессов. Во-первых, процесс ударного воздействия колков на волокнистый комплекс и, во-вторых, процесс растаскивания волокнистого комплекса на колосниковой решетке. При этом не рассматривался процесс перемещения волокнистого комплекса к колосниковой решетке. То есть должен быть рассмотрен еще один процесс, а именно процесс перемещения волокнистого комплекса в направлении колосниковой решетки. В литературных источниках этот процесс также не рассматривался. В настоящей работе рассматриваются физические принципы, на основе которых происходит процесс перемещения волокнистого комплекса от рабочей поверхности барабана к колосниковой решетке. Выведенная зависимость (4.48) показывает, что после удара о колкок волокнистый комплекс движется вдоль поверхности колка с ускорением в радиальном направлении, то есть в направлении к колосниковой решетке. Следовательно, колкок является рабочим органом для выполнения операции по перемещению волокнистого комплекса к колосниковой решетке.

Определить  $z(t)$  из этого уравнения можно с помощью численных методов. Приближенную формулу для расчета  $z(t)$  найдем из с помощью разложения  $z(t)$  в ряд по степеням  $t$  [92, 93]:

$$z(t) \approx z_0 + \dot{z}(0)t + \frac{\ddot{z}(0)}{2}t^2.$$

Так как

$$\dot{z}(0) = 0; \ddot{z}(0) = \omega^2(R_B + z_0) - \frac{kg}{V_{\text{ВИТ}}^2} [\omega(R_B + z_0) - V_{a,Y}(R_B + z_0)]^2,$$

то

$$z(t) \approx z_0 + 0,5 \left\{ \omega^2(R_B + z_0) - \frac{kg}{V_{\text{ВИТ}}^2} [\omega(R_B + z_0) - V_{a,Y}(R_B + z_0)]^2 \right\} t^2. \quad (4.49)$$

Так как  $t = \varphi/\omega$ , где  $\varphi$  угол поворота колка, то

$$z(t) \approx z_0 + 0,5 \left\{ \omega^2(R_B + z_0) - \frac{kg}{(\omega V_{\text{ВИТ}})^2} [\omega(R_B + z_0) - V_{a,Y}(R_B + z_0)]^2 \right\} \varphi^2. \quad (4.50)$$

Полученная зависимость (4.50) позволяет рассчитать положение волокнистого комплекса на колке в зависимости от угла поворота колка.

Расчеты по формуле (4.48) показывают, что с увеличением радиуса барабана возрастает скорость волокнистого комплекса вдоль поверхности колка и его перемещение вдоль поверхности колка согласно (4.49) увеличивается. То есть увеличение радиуса барабана разрыхлителя-очистителя интенсифицирует процесс перемещения волокнистого комплекса к колосниковой решетке.

#### 4.6.4. Расчет траекторий движения волокнистых комплексов в воздушных потоках в камере разрыхлителя-очистителя СЛ-Р

Движение волокнистых комплексов в промежутке между столкновениями с колками рабочего барабана происходит во вращающемся воздушном потоке. Рассмотрим следующую модель движения волокнистого комплекса. Полагаем, что волокнистый комплекс представляет собой материальную точку, имеющую некоторую скорость витания  $V_{\text{вит}}$ . Считаем далее, что волокнистый комплекс сталкивается с основанием колка, в результате чего происходит неупругий удар волокнистого комплекса о колос с последующим

его движением вдоль поверхности колка. В силу случайных обстоятельств волокнистый комплекс соскальзывает с поверхности колка. Затем, приобретая начальную скорость, равную окружной скорости точки сброса с колка барабана, движется во вращающемся воздушном потоке. Такая идеализированная модель позволяет выяснить, как изменяются траектории движения волокнистых комплексов при изменении геометрических параметров рабочих органов разрыхлителя-очистителя.

Схема движения волокнистого комплекса в воздушном потоке в камере разрыхлителя-очистителя представлена на рис. 4.16.

В полярной системе координат  $Or\theta$  уравнения движения волокнистого комплекса принимают вид [23]:

$$\frac{d^2r}{dt^2} = r \left( \frac{d\theta}{dt} \right)^2 - g \sin \theta - gV_{omn,n} \left( \frac{dr}{dt} - V_{a,r} \right) / V_{sum}^2, \quad (4.51)$$

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} = \left[ -2 \frac{dr}{dt} \frac{d\theta}{dt} - g \cos \theta - gV_{omn,n} \left( r \frac{d\theta}{dt} - V_{a,\theta} \right) / V_{sum}^2 \right] / r, \quad (4.52)$$

$$\text{где } V_{omn,n} = \left[ \left( \frac{dr}{dt} - V_{a,r} \right)^2 + \left( r \frac{d\theta}{dt} - V_{a,\theta} \right)^2 \right]^{0,5}.$$

На рис. 4.17 представлена зависимость  $r(t)$ , полученная при интегрировании системы уравнений при условии ( $r(0) = 0,25$  м;  $\theta(0) = 0$ ;  $\left. \frac{dr}{dt} \right|_0 = 0$ ;

$$\left. \frac{d\theta}{dt} \right|_0 = -\pi n / 30; h_k = 0,1 \text{ м})$$

Результаты расчета для вышеперечисленного случая радиальной скорости  $v_r = \frac{dr}{dt}$ , окружной скорости  $v_\theta = r \frac{d\theta}{dt}$ , и полной скорости волокнистого комплекса

$$v \left[ \left( \frac{dr}{dt} \right)^2 + \left( r \frac{d\theta}{dt} \right)^2 \right]^{0,5}$$

представлены на рис. 4.18.

Отметим, что величина  $m \left[ r \left( \frac{d\theta}{dt} \right)^2 \right]$  в вышеприведенной системе дифференциальных уравнений с физической точки зрения моделирует центробежную силу и «отвечает» за продвижение волокнистого комплекса в направлении от барабана к колосниковой решетке.

Рассматривается движение волокнистых комплексов со скоростью вращения 0,4 м/с для двух вариантов значений радиуса барабана очистителя при одинаковой частоте вращения  $n = 500 \text{ мин}^{-1}$ :

$$1) R_B = 0,25 \text{ м};$$

$$2) R_B = 0,3 \text{ м}.$$

Интегрирование системы дифференциальных уравнений было проведено в среде пакета Mathcad при следующих начальных условиях:

$$1) r(0) = 0,25 \text{ м}; \theta(0) = 0; \left. \frac{dr}{dt} \right|_0 = 0; \left. \frac{d\theta}{dt} \right|_0 = -\pi n/30; (3.53)$$

$$2) r(0) = 0,3 \text{ м}; \theta(0) = 0; \left. \frac{dr}{dt} \right|_0 = 0; \left. \frac{d\theta}{dt} \right|_0 = -\pi n/30; (3.54)$$

Интегрирование прекращалось, когда волокнистый комплекс сталкивался с колосниковой решеткой, то есть при  $r = 0,36 \text{ м}$ . На рис. 4.19 и 4.20 показаны графики зависимости радиуса положения волокнистого комплекса  $r$  от угла  $\theta$  для этих двух вариантов. В первом случае достижение уровня колосниковой решетки осуществлялось за  $t_k \approx 0,18 \text{ с}$ , (угловой сектор в котором происходит движение волокнистого комплекса составил  $\Delta\theta = -87^\circ$ ). Во втором случае -  $t_k \approx 0,09 \text{ с}$ , а  $\Delta\theta = -57,5^\circ$ .

Из приведенного расчета, очевидно, что закрученный воздушный поток в камере осевого очистителя за счет центробежной силы так воздействует на волокнистый комплекс, что он перемещается в радиальном направлении к колосниковой решетке. То есть и после потери контакта с колком волокнистый комплекс продолжает движение к колосниковой решетке. Отсюда приходим к выводу, что не только колок, но и закрученный воздушный поток в

камере разрыхлителя-очистителя являются «органом» для исполнения операции перемещения волокнистого комплекса к колосниковой решетке.

Как показывает расчет, при увеличении радиуса барабана уменьшается как угловой сектор, в котором происходит движение волокнистого комплекса после сброса с колка, так и время, за которое волокнистый комплекс достигает зоны колосниковой решетки. То есть при увеличении радиуса барабана волокнистые комплексы быстрее достигают зоны колосниковой решетки и поэтому на них более длительное время действует растаскивающая сила.

Объяснение этого явления заключается в том, что при увеличении радиуса барабана увеличивается окружная скорость воздушного потока в камере и, следовательно, центробежная сила, действующая на волокнистый комплекс. Волокнистый комплекс в этом случае приобретает большую скорость в радиальном направлении, что подтверждается следующим расчетом.

Для перечисленных выше двух вариантов (4.53) и (4.54) на рис. 4.21 показаны графики величины относительной центробежной силы

$$F_{ц,от} = \frac{mr \left(\frac{d\theta}{dt}\right)^2}{mg} = \frac{r}{g} \left(\frac{d\theta}{dt}\right)^2.$$

По оси абсцисс отложены значения безразмерной координаты  $\theta/\Delta\theta$ . На рис. 4.22 показаны графики величин относительной центробежной силы в зависимости от радиуса барабана на участке движения волокнистого комплекса около колка. Как следует из графиков на рис. 4.21 и рис. 4.22 при увеличении радиуса барабана центробежная сила на участке изменения координаты:

$$-1 < \theta/\Delta\theta \leq 0,$$

имеет место увеличение центробежной силы.

Отметим, что характер изменения относительной центробежной силы от времени не зависит от радиуса барабана и определяется соотношением между радиусом положения центра масс волокнистого комплекса и окружной скоростью воздуха в точке положения центра масс клочка в камере. На

начальном этапе движения относительная центробежная сила увеличивается за счет нарастания радиального положения центра масс волокнистого комплекса. Затем, пройдя через точку максимума, центробежная сила падает, несмотря на увеличение радиального расстояния между осью барабана и центром масс волокнистого комплекса. Причина этого явления заключается в том, что с отдалением от поверхности

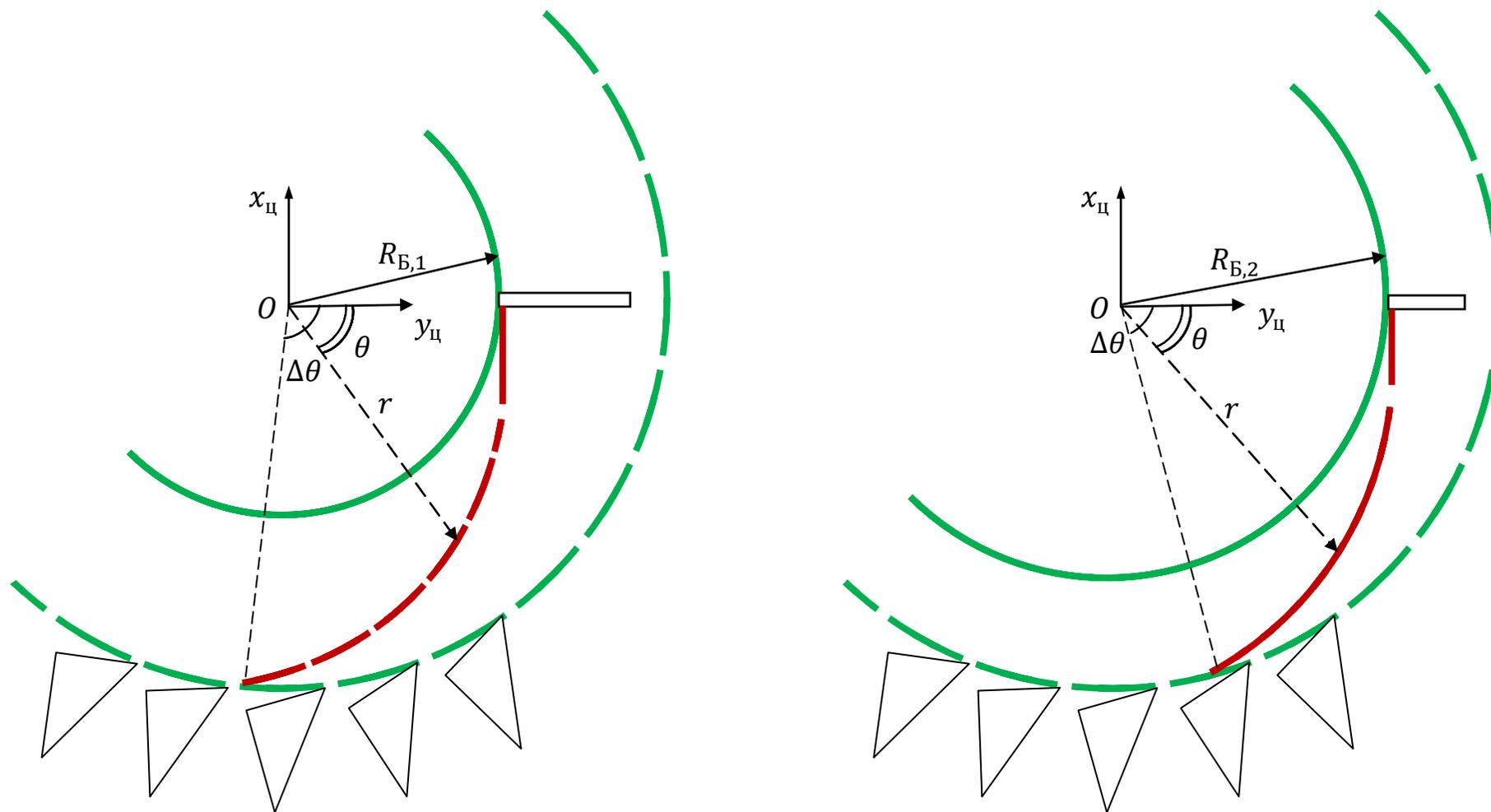


Рис. 4.16. Схема движения волокнистого комплекса  
в камере осевого очистителя при различных радиусах барабана ( $R_{Б,1} < R_{Б,2}$ )

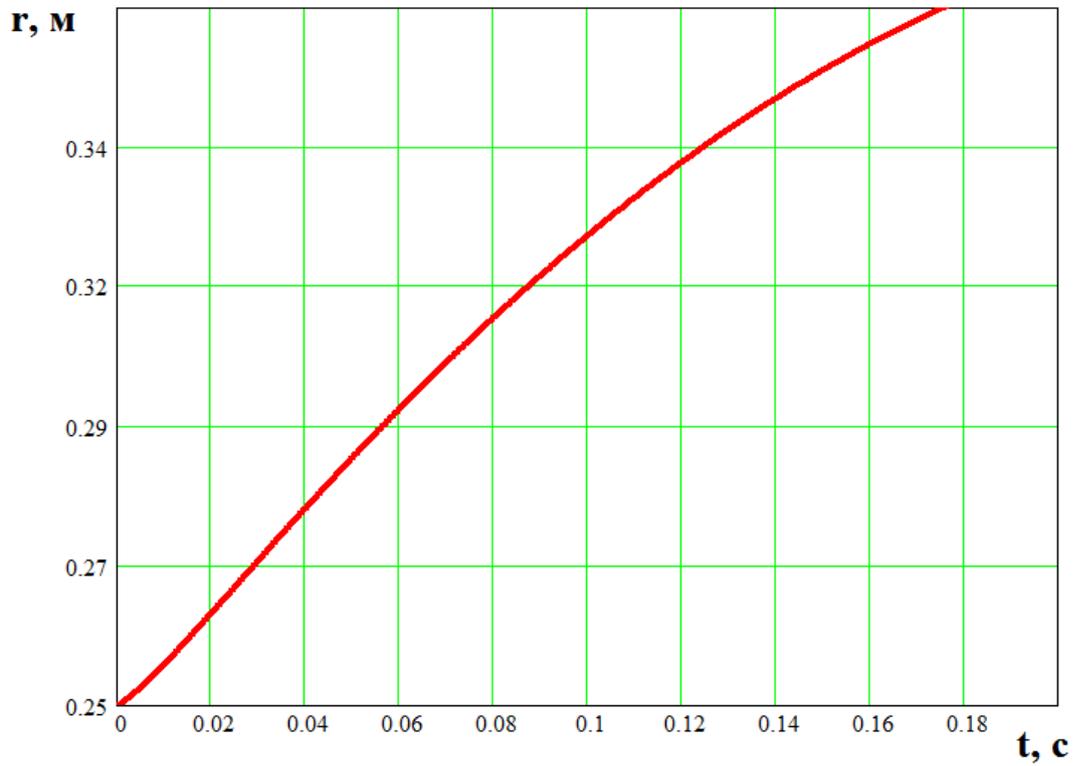


Рис. 4.17. График зависимости  $r(t)$

$$r(0) = 0,25 \text{ м}; \theta(0) = 0;$$

$$\left. \frac{dr}{dt} \right|_0 = 0; \left. \frac{d\theta}{dt} \right|_0 = -\pi n/30;$$

$$n = 500 \text{ мин}^{-1}$$

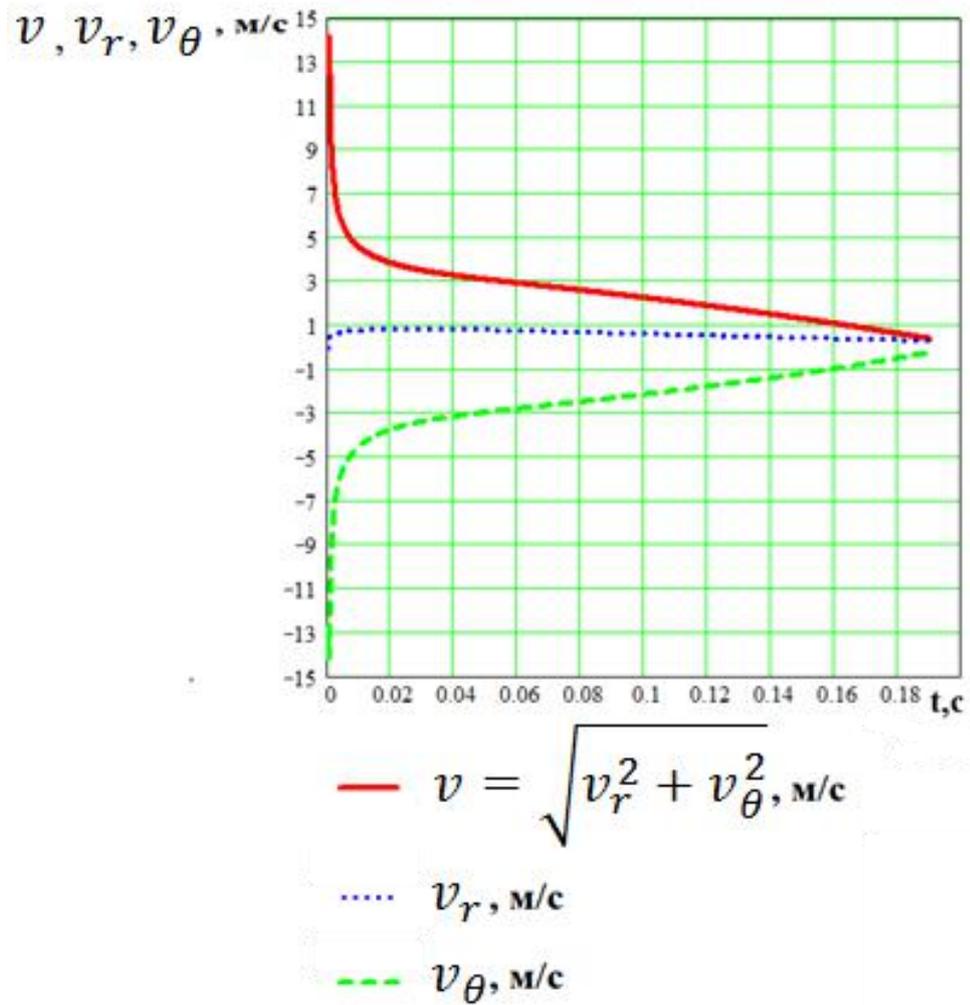


Рис. 4.18. График зависимостей  $v = \sqrt{v_r^2 + v_\theta^2}$ ,  $v_r$ ,  $v_\theta$  от  $t$

$$r(0) = 0,25 \text{ м}; \theta(0) = 0;$$

$$\left. \frac{dr}{dt} \right|_0 = 0; \left. \frac{d\theta}{dt} \right|_0 = -\pi n/30;$$

$$n = 500 \text{ мин}^{-1};$$

$$v_r = \frac{dr}{dt}; v_\theta = r \frac{d\theta}{dt}$$

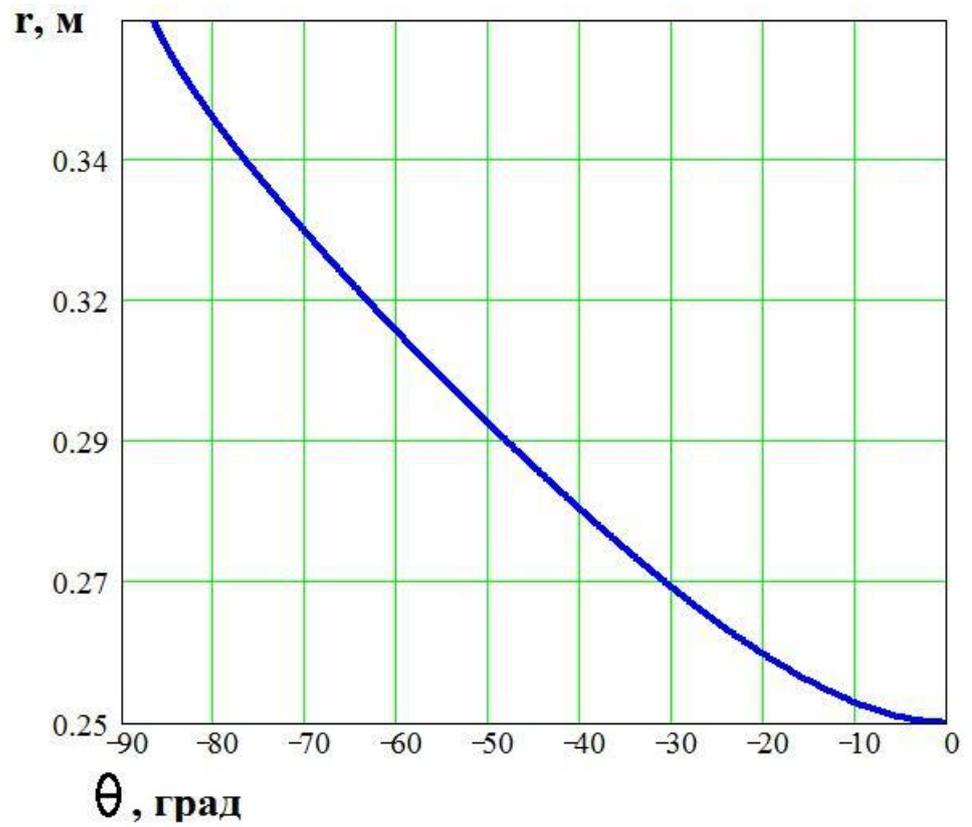


Рис. 4.19. Зависимость радиуса положения волокнистого комплекса  $r$  от угла  $\theta$  ( $r(0) = 0,25$  м;  $\theta(0) = 0$ ;  $\frac{dr}{dt}\bigg|_0 = 0$ ;  $\frac{d\theta}{dt}\bigg|_0 = -\pi n/30$ );  $n = 500$  мин<sup>-1</sup>

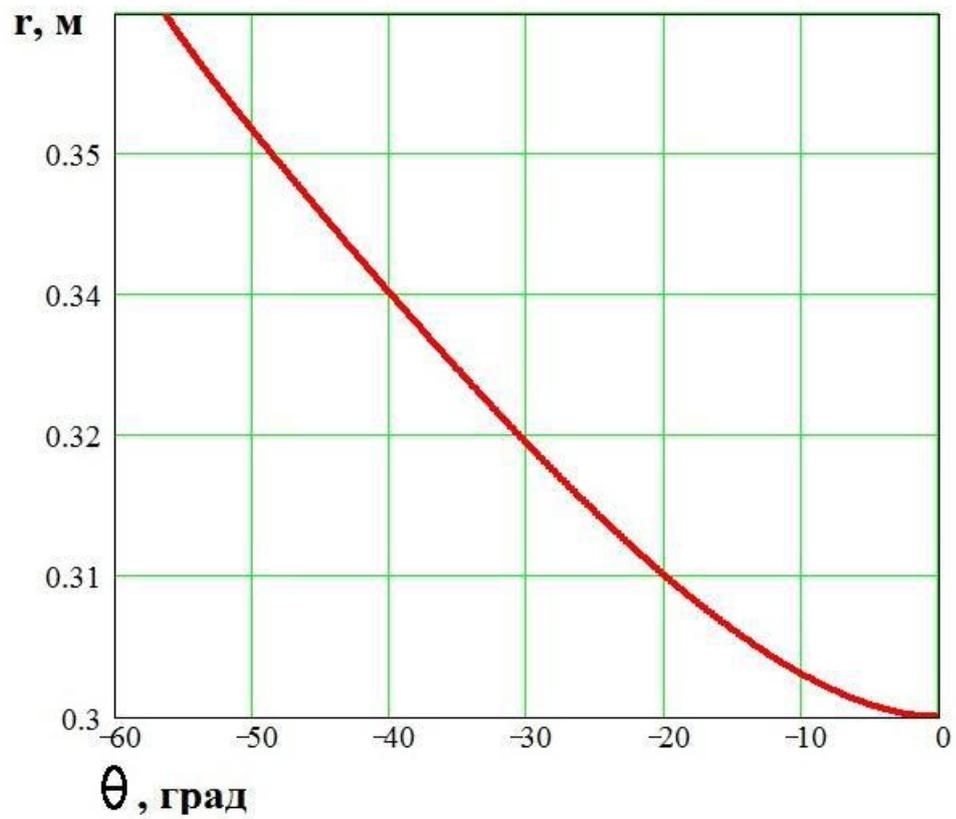


Рис. 4.20. Зависимость радиуса положения волокнистого комплекса  $r$  от угла  $\theta$  ( $r(0) = 0,3$  м;  $\theta(0) = 0$ ;  $\left. \frac{dr}{dt} \right|_0 = 0$ ;  $\left. \frac{d\theta}{dt} \right|_0 = -\pi n/30$ ;  $n = 500$  мин<sup>-1</sup>)

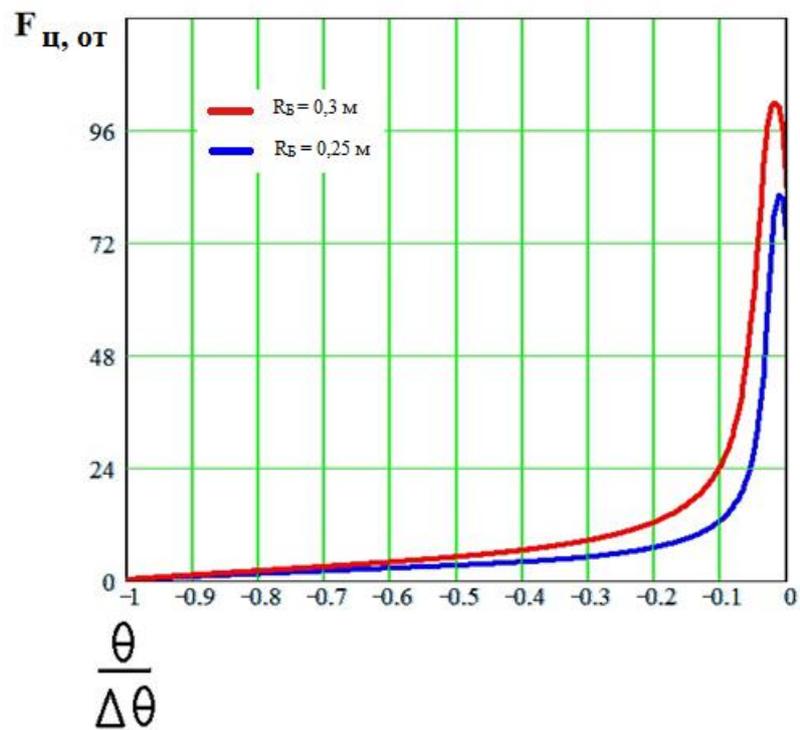


Рис. 4.21. Графики величин относительной центробежной силы в зависимости от радиуса барабана

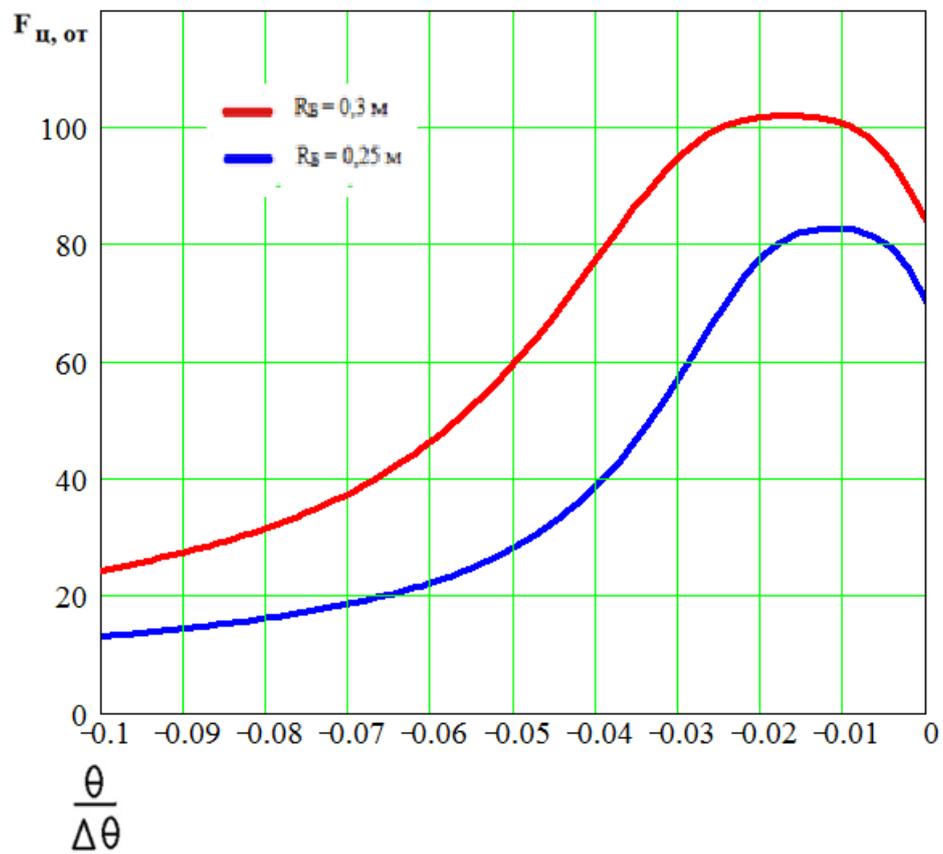


Рис. 4.22. Графики величин относительной центробежной силы  
в зависимости от радиуса барабана на участке движения  
волокнутого комплекса около колка

барабана окружная скорость воздуха падает и, следовательно, угловая скорость волокнистого комплекса уменьшается.

Таким образом, доказано, что с увеличением радиуса барабана разрыхлителя-очистителя происходит интенсификация процесса разрыхления, заключающаяся как в увеличении силы удара колка о волокнистый комплекс, так и в общем сокращении времени продвижения волокнистого комплекса к колосниковой решетке.

#### 4.7. Выводы по главе

1. На основе анализа литературных источников определен диапазон скоростей витания волокнистых комплексов, поступающих в зону питания разрыхлителя-очистителя UNIClean B11.

2. Разработана математическая модель для расчета распределения скоростей воздуха в камере разрыхлителя-очистителя UNIClean B11.

3. Выведена математическая модель для расчета условия движения волокнистого комплекса вдоль поверхности штифта на барабане разрыхлителя-очистителя UNIClean B11. Разработан алгоритм и программа для расчета условия движения волокнистого комплекса вдоль поверхности штифта барабана разрыхлителя-очистителя UNIClean B11.

4. Проведен расчет процесса разрыхления в разрыхлителе-очистителе UNIClean B11 и определены технологические условия вывода волокнистого материала из камеры разрыхлителя-очистителя UNIClean B11.

5. Выведено уравнение движения волокнистого комплекса вдоль поверхности колка разрыхлителя-очистителя CL-P. Получены аналитические зависимости для расчета величин перемещения и скорости волокнистого комплекса вдоль поверхности колка.

6. Показано, что колок разрыхлителя-очистителя CL-P выполняет операцию, заключающуюся в перемещении волокнистых комплексов вдоль поверхности колка в направлении к колосниковой решетке.

7. Показано, что волокнистый комплекс при сбросе с колка барабана разрыхлителя-очистителя CL-P приобретает не только окружную, но и радиальную скорость. Разработана методика и программа расчета траекторий движения волокнистых комплексов в воздушных потоках в камере разрыхлителя-очистителя CL-P.

8. Показано, что закрученный воздушный поток в камере разрыхлителя-очистителя CL-P, воздействуя за счет центробежной силы на волокнистый комплекс, перемещает его в радиальном направлении, то есть, как и колок выполняет операцию перемещения волокнистого комплекса к колосниковой решетке.

9. Доказано, что при увеличении радиуса барабана уменьшается как угловой сектор, в котором происходит движение волокнистого комплекса после сброса с колка, так и время, за которое волокнистый комплекс достигает колосниковой решетки.

## **5. РЕАЛИЗАЦИЯ В ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ УСЛОВИЯХ РАЗРАБОТАННОГО СПОСОБА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПНЕВМОМЕХАНИЧЕСКОЙ ПРЯЖИ, ОДНОСЛОЙНЫХ И МНОГОСЛОЙНЫХ НЕТКАНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

В производственных условиях были выполнены исследования с целью определения возможности использования нового способа и разработанного для его осуществления оборудования (Патент № 2471897 Российская Федерация) [57] для получения различного ассортимента текстильной продукции, в частности, пневмомеханической пряжи, нетканых однослойных и многослойных материалов, в том числе, армированных.

В производственных исследованиях разработанное оборудование использовалось как в технологических цепочках, так и отдельно. Для получения текстильной продукции сформированные слои использовались как вместе, так и раздельно [70...73].

### **5.1. Технологический процесс получения пряжи и межвенцового утеплителя**

Основная цель первого этапа выполненных исследований заключалась в осуществлении процессов подготовки волокнистой массы и последующего формирования отдельных слоев, один из которых (верхний слой) предназначен для получения хлопкольняной пряжи, а другой (нижний слой) – для получения межвенцового утеплителя (рис. 5.1).

Задачей разработанного оборудования являлось перераспределение волокон после разрыхления, очистки и смешивания по зонам формирования отдельных слоев с учетом скорости витания волокон. Перераспределение волокон в рабочей камере разработанного оборудования, а именно, разделения их на фракции и направление к верхней и нижней зонам формирования слоев происходит за счет перераспределения волокон по воздушным потокам. Во-

локна, имеющие малую скорость витания, будут увлекаться воздушными потоками к зоне формирования верхнего слоя, а волокна, имеющие большую скорость витания, – к зоне формирования нижнего слоя. Так как скорость витания волокна прямо пропорциональна квадратному корню от его массы и обратно пропорциональна квадратному корню от его длины, то верхний слой будет образован более длинными и тонкими волокнами, а нижний слой – более короткими и толстыми.

Полученный верхний слой направляется на технологическую цепочку получения хлопкольнай пряжи, а нижний слой – на технологическую линию получения межвенцового утеплителя (рис 5.1).

Производственные исследования получения двух слоев проводились в производственных условиях ОАО «Прядильно-ткацкая фабрика № 1» (г. Фурманов, Ивановская обл.).

На рисунке 5.2 представлены результаты распределения волокон по верхней и нижней парам сетчатых барабанов, которое происходит в результате перераспределения волокон по воздушным потокам, исходя из скорости витания волокон.

В сетчатых барабанах установлены неподвижные сегменты с подвижными заслонками, позволяющими изменять угол раскрытия всасывающего факела. Заслонки работают в паре – изменение на больший угла раскрытия верхнего неподвижного сегмента, расположенного в верхнем сетчатом барабане, влечет изменение на меньший угла раскрытия нижнего неподвижного сегмента, расположенного в нижнем сетчатом барабане, и наоборот, что обеспечивает увеличение зоны сбора волокон на поверхности верхнего сетчатого барабана и уменьшение зоны сбора волокон на поверхности нижнего сетчатого барабана и наоборот соответственно. Увеличение и уменьшение зоны сбора волокон на поверхности сетчатых барабанов обеспечивает соответственно увеличение и уменьшение количества волокон, осаждаемых на поверхностях сетчатых барабанов, а, следовательно, увеличение и

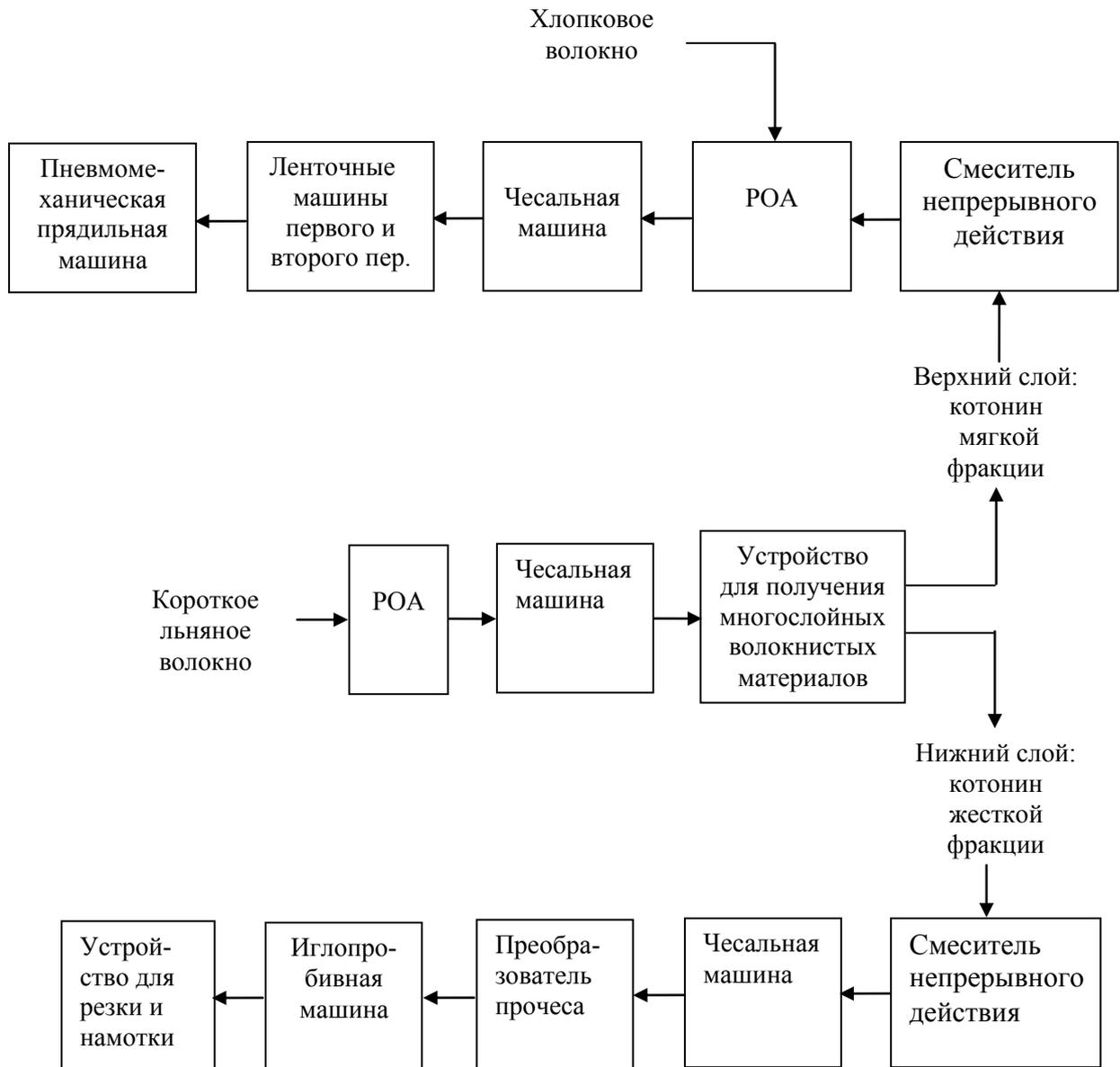


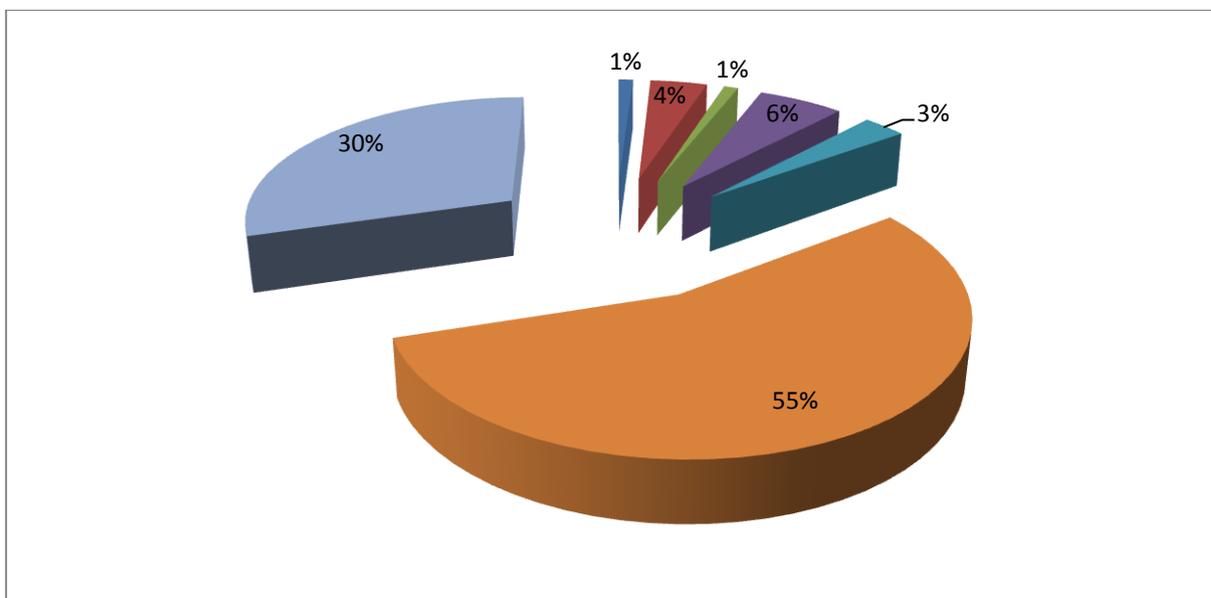
Рис. 5.1. Схема технологической линии подготовки и получения хлопкольнайной пряжи и межвенцового утеплителя

уменьшение толщины слоев волокнистого материала, формируемых на транспортерах. Как следует из диаграммы на рисунке 5.4 волокна мягкой фракции, образующие верхний слой, составляют – 55,25 % , волокна жесткой фракции, образующие нижний слой, – 29,75 %, частицы пыли и сорных примесей, удаляемые из зоны сетчатых барабанов – 3%.

Верхняя контролирующая зона обеспыливания имеет возможность регулировки расхода воздуха в данном узле, за счет чего увеличивается или уменьшается дополнительный воздушный поток, создаваемый этим узлом. Увеличение или уменьшение данного воздушного потока соответственно в большей или меньшей степени отклоняет направление течения основных воздушных потоков, транспортирующих волокна от рабочего барабана к сетчатым барабанам, в сторону верхней пары сетчатых барабанов, а, следовательно, увеличивается и уменьшается толщина слоев волокнистого материала, формируемых на верхнем и нижнем транспортерах соответственно. Одновременно верхняя контролирующая зона обеспыливания удаляет из распределительной камеры запыленный воздух и, как следует, из диаграммы (рис. 5.2) частицы пыли и сорных примесей, удаляемые из верхней контролирующей зоны перфорации, составляют 1%.

Узел пневмоочистки камеры создает дополнительный воздушный поток, направленный вдоль нижней стенки распределяющей камеры. Крупные сорные частицы, выделяющиеся в распределяющей камере, под действием воздушного потока и сил притяжения двигаются вдоль стенки (гипотенузы треугольника) распределяющей камеры и попадают в зону действия всасывающего факела в узле сороудаления. Из диаграммы (рис. 5.2) следует, что сорные примеси, костра и частично грубые волокна, удаляемые узлом сороудаления, составляют 6%.

Частицы пыли и сорных примесей, удаляемые из зоны перфорации на стенках бункера, составляют 1%, сорные примеси, костра и грубые волокна, удаляемые из зоны сороотбойного ножа, составляют 4% (рисунок 5.2).



- 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;
- 55,25% - волокна мягкой фракции, составляющие верхний слой;
- 29,75% - волокна жесткой фракции, составляющий нижний слой.

Рис. 5.2. Диаграмма распределения волокон, костры и пыли по зонам формирования настилов и удаления отходов в оборудовании для получения многослойных волокнистых материалов

Расход воздуха в пневмоканалах бункера составлял  $200 \text{ м}^3/\text{ч}$ . Окружная скорость рабочего барабана составила  $23 \text{ м/с}$ . В распределительной камере создавали внутренние воздушные потоки, направленные в зоны формирования волокнистых слоев, затем разделяли их на составляющие. Расход воздуха внутри сетчатых барабанов при этом составил  $6000 \text{ м}^3/\text{ч}$ . Также внутренний воздушный поток направляли в зону обеспыливания, при этом пневмоотсос верхней контролирующей зоны работал с производительностью  $300 \text{ м}^3/\text{ч}$ . Следующий воздушный поток направляли в зону сороудаления, расход воздуха в узле сороудаления составил  $500 \text{ м}^3/\text{ч}$ . Углы раскрытия заслонок неподвижных сегментов составили  $\alpha = 60^\circ$ ,  $\beta = 30^\circ$ .

Линейная плотность верхнего настила составила  $170 \text{ ктекс}$ , нижнего –  $130 \text{ ктекс}$ . Верхний настил направлялся на смеситель непрерывного действия СН-3У, затем на пресс для получения кип. Полученные кипы устанавливались в ставку вместе с кипами хлопкового волокна в шахматном порядке на автоматическом питателе АП-18. Нижний настил направлялся на другой смеситель непрерывного действия СН-3У для обеспечения непрерывного ввода в технологическую цепочку для получения межвенцового утеплителя.

Необходимое число опытов для определения среднего значения веса верхнего и нижнего настилов, а также отходов рассчитывались по формуле [93]

$$n = \frac{\sigma^2 t_{\alpha, m-1}^2 \left( 1 + 1/(2m) + 2/(\sqrt{2m}) \right)}{\Delta h_p^2}, \quad (5.1)$$

где  $\sigma$  – среднеквадратическое отклонение;

$t_{\alpha, m-1}$  - критерий Стьюдента для вероятности  $\alpha$  и числа степеней свободы  $m-1$ ;

$\Delta h_p = \bar{h}_{cm} / 10$  - задаваемое максимально допустимое отклонение среднего значения  $\bar{h}_{cm}$  от истинного.

Предварительные экспериментальные данные показали, что для определения средних значений веса верхнего и нижнего настиллов, а также отходов необходимо провести  $N=30$  опытов.

Взятые пробы из верхнего и нижнего настила разбирались на волокна, костру и сорные примеси. Затем волокна, костра и сорные примеси взвешивались. Далее рассчитывали процентное отношение массы волокон, костры и сорных примесей в пробах.

Качественный состав волокон, по длине и толщине, содержащихся в верхнем и нижнем настилах отличается друг от друга. Для определения распределения линейных плотностей волокон в верхнем и нижнем настилах были взяты пробы из этих настиллов. Далее измерили длину из каждого из волокон, распределили их по группам длин и затем взвесили каждую группу. Линейную плотность волокон каждой группе рассчитали путем деления суммарной массы волокон в группе на их длину. Экспериментальные исследования показали, что в верхнем настиле находятся в основном волокна длиной от 35...50 мм, в нижнем настиле - в основном волокно длиной от 25...35 мм. Линейная плотность волокон в верхнем настиле составляет 1,8...2,0 текс, а линейная плотность волокон в нижнем настиле – 2,0...3,2 текс. Таким образом, верхний настил образуют более тонкие, мягкие волокна, которые могут быть использованы для получения хлопкольнай пряжи, а нижний настил – более толстые, грубые волокна, которые могут быть использованы для получения межвенцового утеплителя.

Технологический процесс подготовки полуфабриката к прядению на поточных линиях, установленных в ООО «Фурмановская прядильно-ткацкая фабрика №1», объединяет следующие технологические операции: разрыхление, смешивание, трепание, чесание и выравнивание продукта по линейной плотности с выпуском ленты.

Процесс получения хлопкольнай пряжи начинался с того, что кипы льняного волокна устанавливались в ставку вместе с кипами хлопкового волокна в шахматном порядке на автоматическом питателе АП-18. Сме-

шивание компонентов осуществлялось на смешивающей машине СН-3У. Затем волокнистая смесь поступала на разрыхлитель-очиститель UNIClean B11, потом на холстовые трепальные машины Т-16 и далее на чесальные машины ЧМД-4. Полученная на чесальных машинах лента поступала на ленточные машины первого перехода Л2-50-1М и второго перехода RSB 951. Изготовление пряжи осуществлялось на прядильных машинах BD – 200 RCE в модернизированных нами камерах дискретизирующих барабанчиков на базе нашего патента (Патент на полезную модель №119344 Российская Федерация) [94].

Разработанный на основе [94] узел дискретизации предназначен для улучшения структуры волокнистого материала, повышения эффективности сороочистки, устранения остаточного слоя на дискретизирующем барабанчике, снижения выпадения прядомых волокон в отходы, оптимизации процесса выпадения коротких волокон и сорных примесей в сороотводящий канал (рис. 5.3).

Дискретизирующий барабанчик разработанного узла выполнен из обтянутой гарнитурой обечайки, внутри которой размещен неподвижный цилиндр. Вдоль образующей цилиндра выполнена обращенная к питающему цилиндру полость в виде полусферы, которая размещена в секторе с углом при вершине от 60 до 90°. В середине этой полусферы имеется отверстие, соединенное вертикальным конфузуром с пневмоотсосом. При этом в неподвижном цилиндре на участке между транспортирующим и отводящим каналами выполнен дугообразный коридор, изогнутый к центру дискретизирующего барабанчика, сужающийся в направлении к транспортирующему каналу и разделенный на выходе на два участка, один из которых связан с пневмоотсосом, а другой соединен с транспортирующим каналом и расположен по радиусу дискретизирующего барабанчика, при этом коридор вписан в сектор, величина угла при вершине находится в пределах 60-120°.

Дополнительно в неподвижном цилиндре выполнен дугообразный коридор на участке между транспортирующим и сороотводящим каналами.

Данный коридор сужается в направлении транспортирующего канала и изогнут к центру дискретизирующего барабанчика. Он имеет внутреннюю и внешнюю стенки. Данный коридор на выходе разделен на два участка, один служит для транспортировки технологического воздуха и связан с пневмоотсосом, а другой участок служит для интенсификации процесса съема волокна с гарнитуры дискретизирующего барабанчика и направления волокон в транспортирующий канал для транспортировки в прядильную камеру.

В нижней и верхней стенках дискретизирующего устройства пневмомеханической прядильной машины напротив сороотводящего канала выполнены прямоугольные отверстия. Изменяя размеры отверстия  $2 \times 4 \dots 2 \times 6$  мм и направление подачи воздушного потока, можно изменить расход воздуха в сороотводящем канале. Тем самым оптимизировать процесс выпадения коротких волокон и сорных примесей в сороотводящий канал.

Разработанный узел дискретизации пневмомеханической прядильной машины работает следующим образом (рис. 5.3).

Ленту, полученную на ленточных машинах, передают на пневмомеханическую прядильную машину. Лента 1 из таза с помощью питающего цилиндра 2 подается к разработанному дискретизирующему барабанчику 3. С помощью гарнитуры 4 дискретизирующего барабанчика 3 происходит разрыхление ленты и разделение на отдельные волокна, а также выделение сорных примесей и пыли. Воздушный поток, созданный пневмоотсосом, пронизывает волокнистый материал, захватывает и уносит пыль и сорные примеси через щели 5 в обечайке в пневмосистему 6. Этому также способствует конструкция дискретизирующего устройства.

Оставшиеся крупные сорные примеси движутся в сторону сороотводящего канала 7.

Удаление сорных примесей из зоны дискретизации улучшает качество выпускаемой пряжи и работу пневмомеханических прядильных машин.

После дискретизации волокна и оставшиеся сорные примеси движутся в зону сороотводящего канала. При этом они попадают в зону действия от-

фильтрованного воздушного потока, поступающего из атмосферы цеха, способствующего транспортировке волокон в зону формирования пряжи. Дальнейшее движение сорных частиц происходит в зависимости от аэродинамических сил, воздействующих на сорную частицу. Для попадания сорных частиц в сороотводящий канал 7 им необходимо преодолеть воздушный поток, поступающий из атмосферы цеха. Преимуществом разработанного узла дискретизации пневмомеханической прядильной машины является снижение выпадения прядомых волокон в сороотводящий канал, т.е. обеспечение необходимого аэродинамического воздействия для удержания волокон на гарнитуре дискретизирующего барабанчика 3 и устранение проникновения сорных частиц и пыли в прядильный ротор. При разработке узла дискретизации принято во внимание то, что для обеспечения процесса обеспыливания и отвода сорных частиц в сороотводящий канал необходимо подавать прежний или больший расход воздуха. Воздушный поток, поступающий через прямоугольные отверстия 8, выполненные в нижней и верхней стенках дискретизирующего устройства пневмомеханической прядильной машины и расположенные напротив сороотводящего канала 7, способствует разделению волокон и сорных примесей по направлениям: волокна движутся в транспортирующий канал 9, а сорные примеси в сороотводящий канал 7. Таким образом, удастся оптимизировать процесс выпадения коротких волокон и сорных примесей в сороотводящий канал 7.

При транспортировке волокон в прядильную камеру в транспортирующем канале 9 происходит дополнительное удаление оставшихся сорных примесей и пыли из волокнисто-воздушной смеси, движущейся по транспортирующему каналу, благодаря наличию дугообразного коридора 10 в неподвижном цилиндре 11. Воздушный поток, проходя через перфорированную обечайку, попадает в дугообразный коридор 10, где за счет формы коридора приобретает ускорение, что способствует улучшению сепарации: частицы пыли и сор под действием центробежных сил попадают на внешнюю (боль-

шую) стенку 12, а очищенный воздух проходит вблизи внутренней стенки 13 (т.е. по малой дуге).

Запыленный воздух и сор из дугообразного коридора 10 поступают на участок 14, а затем с помощью пневмоотсоса 15 в зону соровыделения.

Очищенный воздух на выходе из дугообразного коридора 10 на участок 16, соединенный с транспортирующим каналом 9 и расположенный по радиусу дискретизирующего барабанчика, усиливает съем волокон с гарнитуры дискретизирующего барабанчика 3 и направляет их в транспортирующий канал 9 к прядильной камере 17.

Как показывают исследования, переработка хлопкольняных смесей сопровождается повышенной обрывностью пряжи на пневмомеханических прядильных машинах. Существенное влияние на повышение обрывности оказывает наличие включенных в пряжу костринок. Также наличие костринок в пряже влияет на процесс крутки, на равномерность распространения крутки на участке баллонирования и на структуру пряжи. Наличие жестких волокнистых комплексов, частиц костры и пыли, оказавшиеся после дискретизации на участке транспортировки вызывает их скопление в роторе, что нарушает процесс формирования пряжи.

Для исследования процесса формирования крутки, определения ее величины нами разработано устройство для определения крутки пряжи в роторе пневмомеханической прядильной машины (Патент на полезную модель №111141 Российская Федерация) [95].

Результаты наших исследований показали, а именно, использование разработанного нами устройства [95] подтверждает, что наличие костринки на участке баллонирования пряжи приводит к снижению крутки и является одной из причин повышения обрывности пряжи.

В процессе выработки полуфабрикатов осуществлялся контроль их качества по стандартной методике, результаты которого представлены в табл. 5.1.

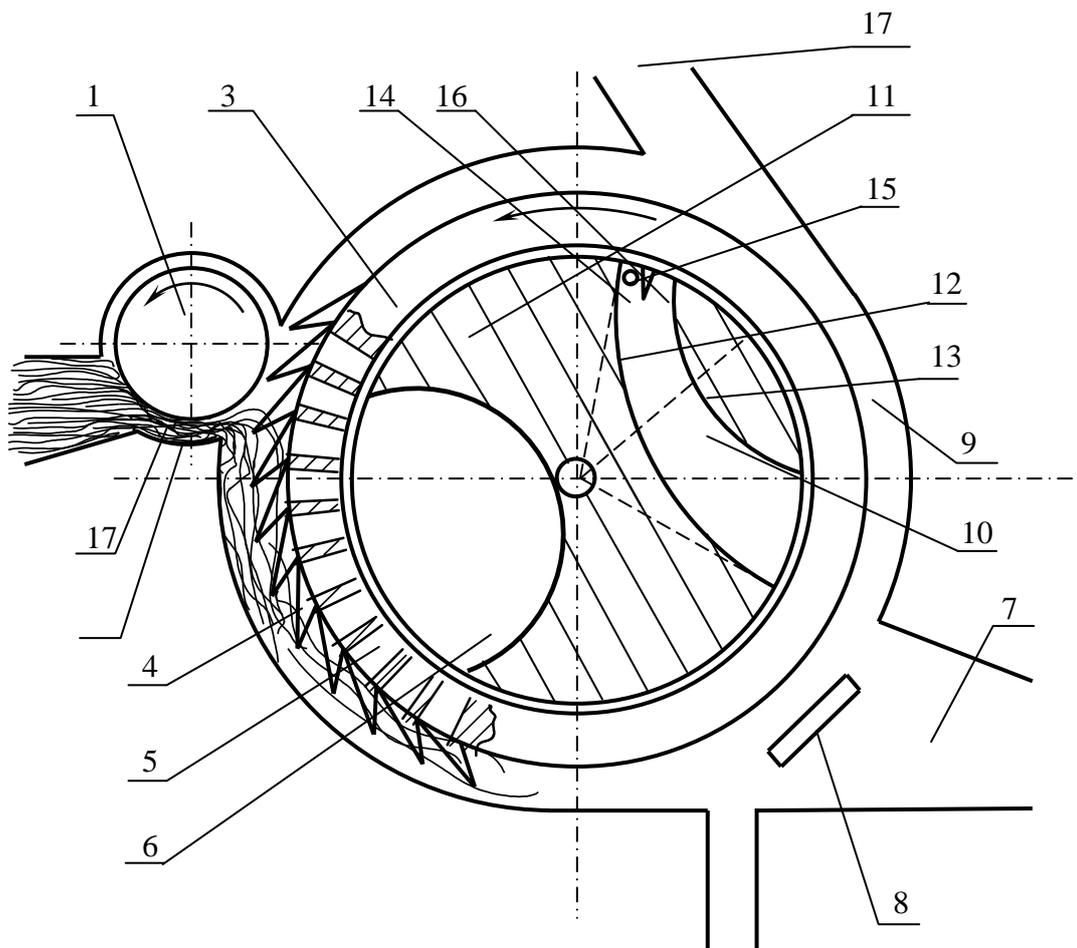


Рис. 5.3. Разработанный узел дискретизации пневмомеханической  
пряделительной машины

Таблица 5.1 - Качественные показатели полуфабрикатов

Наименование показателя	Результаты исследований
Чесальная лента	
Коэффициент вариации по массе 1м отрезков, %	5,0
Коэффициент вариации по массе 30мм отрезков, %	5,7
Распрямлённость волокон в ленте, %	60
Качество прочёса	Хорошее
Лента второго перехода ленточных машин	
Коэффициент вариации по массе 1м отрезков, %	1,8
Коэффициент вариации по массе 30мм отрезков, %	6,1
Распрямлённость волокон в ленте, %	78

В соответствии с техническим контролем в хлопкопрядении в [96] определено качество прочёса. Коэффициент распрямлённости определялся по методике по данным, приведённым в [21]. Данный метод определения распрямлённости волокон в ленте позволил повысить точность измерений, исключить влияние ширины съёмных пластин и функции распределения волокон по длине на результаты испытаний.

В результате испытаний установлено, что введение котонизированного льняного волокна в смеску не ухудшает распрямлённость волокон в полуфабрикатах. Распрямлённость волокон в чесальной ленте (60%) и в ленте второго перехода ленточных машин (78%) значимо не отличаются от аналогичных показателей при переработке хлопчатобумажной смеси.

Коэффициент вариации чесальной и выпускной лент по массе метровых отрезков соответствует нормам технического контроля. Коротковолновая неровнота превышает нормы технического контроля для чесальной ленты на 26 %, а для ленты со второго перехода ленточных

машин на 22 %. Это происходит вследствие большого укорочения льяного компонента в процессе чесания.

Определение характеристик длины волокон в чесальной, выпускной лентах и мычке с VD – 200 RCE проводилось по стандартной методике на приборах МШУ-1 и МПРШ-1. Применение её в этом случае возможно, так как основу составляет хлопок (75% и более). Результаты представлены в табл. 5.2.

Таблица 5.2 - Штапельный анализ полуфабрикатов и мычки

Наименование показателя	Чесальная лента	Лента второго перехода	Мычка
Содержание коротких волокон (0-15мм) по массе, %	18,4	18,5	22,1
Штапельная массодлина, мм	29,9	29,8	27,9

Исследования показали, что в сравнении с чесальной лентой содержание коротких волокон в ленте второго перехода не изменилось, а в мычке увеличилось на 19,5 %. Укорочения волокон на ленточной машине не произошло, но в мычке штапельная массодлина снизилась на 6,3% .

Производственные исследования проводились двум вариантам. В контрольном варианте хлопкольная пряжа вырабатывалась на машине VD – 200 RCE с камерами обычной настройки для хлопка. Влажность питающей ленты составляла 6,1%. В опытном варианте для получения хлопкольной пряжи камеры были настроены по оптимальным значениям параметров: модернизированные дискретизирующие барабанчики были обтянуты гарнитурой фирмы «Граф»; частота вращения дискретизирующего барабанчика  $7000 \text{ мин}^{-1}$ ; разводка между питающим столиком и дискретизирующим барабанчиком 68,8 мм; нагрузка на питающий столик 25,5 Н. Питающая лента имела влажность 10%, что было достигнуто выдерживанием

её в определённых климатических условиях. Конструкция и работа разработанного узла дискретизации соответствовали выше изложенному. Отсос пыли и сорных примесей проводился централизованно через имеющийся на машине сороотводящий канал. Результаты испытаний двух вариантов хлопкольнай пряжи представлены в табл.5.3. Содержание льна в пряже определялось по методике согласно [97].

Анализируя данные табл. 3.5 можно сказать, что пряжа опытного варианта по всем исследованным показателям лучше пряжи контрольного варианта.

Таблица 5.3 - Показатели качества пряжи пневмомеханического способа прядения ( $T = 36$  текс)

Наименование показателя	Контрольный вариант	Опытный вариант	Процент улучшения
Кондиционная линейная плотность ,текс	35,8	35,6	-
Удельная разрывная нагрузка, сН/текс	8,3	9,6	15,7
Коэффициент вариации по разрывной нагрузке,%	14,8	12,6	14,9
Коэффициент вариации по линейной плотности, %	3,8	3,3	12,4
Показатель качества	0,56	0,75	33,9
Сорт пряжи	н/с	2	
Пороки на 100 м:			
утонения	542	453	16,4
утолщения	1390	1200	13,7
непсы	702	615	12,4
Обрывность, обр./час на 1000 кам.	312	174	44,2
Содержание льна, %	20	20	-
Удлинение при разрыве, %	6,6	6,8	3,0

Производственные исследования для определения физико-механических показателей полуфабрикатов и пряжи, полученных по опытному и контрольному способу проводились по стандартной методике. Испытания проводились с соблюдением условия, что перерабатываемая сортировка оставалась постоянной по составу. Эффективность проведенной модернизации оценивалась при сравнении физико-механических показателей (неровнота полуфабриката, разрывная нагрузка и неровнота пряжи), полученных по контрольному и опытному способам.

Для оценки случайности полученного отклонения второго значения от первого или подтверждения следствия отклонения в результате проведенной модернизации использовали значения критерия согласия  $T_x$  и  $T_c$ . Для значений критерия согласия  $T_x$  и  $T_c$  в [98...106] использовались следующие формулы:

$$t_x = \frac{|\bar{x}_1 - \bar{x}_2|}{\sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}}},$$

$$t_c = \frac{|c_1 - c_2|}{\sqrt{\frac{c_1^2}{n_1} + \frac{c_2^2}{n_2}}},$$

где  $\bar{x}_1, \bar{x}_2$  – средние значения характеристик;

$n_1, n_2$  – число испытаний двух опытов;

$c_1, c_2$  – неровнота продукта до и после модернизации;

$s_1, s_2$  – стандартные отклонения до и после модернизации.

По полученным экспериментально данным до и после изменения фактора вычислили значение  $t_g$  критерия  $T_g$  по формуле

$$t_g = \frac{|\vartheta_1 - \vartheta_2|}{\sqrt{c^2(\vartheta_1) - c^2(\vartheta_2)}}.$$

Если значения  $t_g < 2$ , то с вероятностью 0,955 можно утверждать, что отклонение  $\mathcal{G}_1$  от  $\mathcal{G}_2$  находится в границах случайности, т.е. проведенная модернизация не дает существенных результатов, а именно, она не достигла своей цели. Если значения  $t_g > 2$ , то с вероятностью 0,955 можно утверждать, что отклонение  $\mathcal{G}_1$  от  $\mathcal{G}_2$  не может быть объяснено только случайными причинами, оно значимо (существенно), т.е. вызвано проведенной модернизацией.

В нашем случае  $t_g > 3$ , поэтому  $P_d = 0,997$ ,  $Q = 0,3\%$ .

Производственные исследования выполнены на ООО «Фурмановская прядильно-ткацкая фабрика №1». Результаты представлены в таблице 5.3. В таблицу также включены результаты расчета критерия согласия  $T_x$  и  $T_c$ . Данные таблицы 5.3. с доверительной вероятностью 0,955 подтверждают, что проведенная модернизация существенна.

Удельная разрывная нагрузка увеличилась на 15,7%, коэффициент вариации по линейной плотности снизился на 12,4%, коэффициент вариации по разрывной нагрузке снизился на 14,9 %, на 42,5% уменьшилось количество пороков. Одновременно с улучшением физико-механических показателей пряжи снизилась обрывность. Процесс прядения протекал стабильнее. Забивания сороотводящих каналов грубыми жёсткими комплексами не наблюдалось.

Анализ результатов показывает, что применение оптимальных параметров настройки узла дискретизации, оптимальной влажности питающей ленты и предлагаемой конструкции позволяет повысить качество пряжи на 33,9%.

Для получения межвенцового утеплителя из льна толщиной 5 мм, поверхностной плотностью 400 г/м<sup>2</sup> использован нижний слой, полученный на технологической цепочке (рис 5.1). Нижний настил направлялся на смеситель непрерывного действия СН-3У для обеспечения непрерывного ввода в технологическую цепочку для получения межвенцового утеплителя. Затем с

помощью вентилятора льноволокно подавалось в щипально-замасливающую машину ЦЗ-140-Щ2. Далее волокна поступали в лабаз, из которого они направлялись в бункер чесальной машины Ч-11-200ШМ01. Волокнистый слой, образованный на съемном барабане чесальной машины, снимался съемным гребнем и с помощью отводящего конвейера направлялся к преобразователю прочеса ПП-2000. Преобразователь прочеса ПП-2000 осуществлял холстоформирование посредством многократного сложения элементарного снимаемого со съемного барабана прочеса, которое является последним технологическим процессом перед непосредственной выработкой нетканого полотна [108...114].

Холст, имеющий необходимую поверхностную плотность, направлялся на иглопробивную машину ИМ-1800, на выходе из которой нетканый материал поступал в устройство для резки и наматывания УРН-1800.

## 5.2. Технологический процесс получения четырехслойного материала для наполнения одеял

В настоящее время для получения наполнителя для одеял прочес после чесальной машины с помощью конвейера передается к преобразователю прочеса. После формирования на преобразователя прочеса холста необходимой поверхностной плотности, последний разрезается поперек, конвейером подается к работникам, которые помогают наполнителю заполнить чехол. Затем полуфабрикат подается на застрачивание поперечного шва, а после на стегальную машину.

Предлагаемый нами технологический процесс получения четырехслойного материала для наполнения одеял отличается от вышеизложенного использованием разработанного способа получения многослойных волокнистых материалов [ ]. Технологическая линия состоит так же из разрыхлительно очистительного агрегата, который заканчивается чесальной машиной. А после чесальной машины стоит разработанное нами оборудование для полу-

чения многослойных волокнистых материалов. В отличие от преобразователя прочеса, где в волокна в холсте связаны между собой силами сцепления и трения, и холст формируется послойно, последний получается более плотным. А в нашем случае, на основе использования в разработанном оборудовании аэродинамического способа формирования волокнистых слоев, образуются слои бесслойной структуры и более объемные и упругие, после деформации легко восстанавливают свою форму. Полученный четырехслойный наполнитель состоит из четырех таких объемных упругих слоев, что положительно влияет на потребительские свойства одеяла.

Производительность технологической линии составила 90 кг/час. На разработанном оборудовании формируются два слоя (верхний и нижний). Поверхностная плотность верхнего (качественного) настила составила 130 г/м<sup>2</sup>, нижнего (грубого) – 170 г/м<sup>2</sup>. Далее слои складывались на конвейере и наматывались в рулон. Затем эти рулоны подавались на участок производства одеял.

Для изготовления одеял использовали два рулона. Рулоны устанавливались на раме таким образом, чтобы при разматывании верхние (качественные) слои настилов оказались на внешних сторонах, а грубые слои внутри, т.е. мы получили четырехслойный наполнитель одеял 600 г/м<sup>2</sup>. Сложение осуществлялось на конвейере. При разматывании рулона длиной 2,05 метра происходило разрезание настила поперек. Отрезанный по размерам одеяла 2,05 × 1,45 м<sup>2</sup> наполнитель подавался к устройству для надевания чехла. Вес одеяла с чехлом составил 3,27 кг. Полученный полуфабрикат подавался на машину для застрачивания поперечного среза чехла, а за тем на стегальную машину.

Полученное одеяло, содержащее четырехслойный наполнитель, имеет лучшие потребительские свойства за счет четырех объемных упругих слоев наполнителя.

### 5.3. Технологический процесс получения нетканых многослойных армированных материалов

В связи с закрытием многих предприятий по производству шерстяной и полушерстяной пряжи и тканей возникла потребность в разработке новых текстильных материалов, которые не только бы эффективно заменили широкий ассортимент тканей, но и их производство привело бы к значительному сокращению трудозатрат, снижению себестоимости, высвобождению натурального сырья и максимальному использованию отходов.

Проектируемые сегодня многослойные волокнистые материалы, особенно нетканые многослойные армированные материалы, уникальны и разнообразны по своей структуре и свойствам, которые обуславливают все более широкое применение их в различных отраслях современного народного хозяйства и, как следствие, небывалый рост производства по сравнению с традиционной текстильной продукцией.

Одним из самых перспективных среди производств нетканых многослойных материалов является производство нетканых многослойных армированных материалов.

Поэтому следующим этапом работы была разработка нового нетканого многослойного армированного материала, состоящего из двух слоев шерстяных волокон и ткани для армирования из хлопковых и химических волокон [115...118].

Нами разработан нетканый многослойный армированный материал «под сукно», состоящий из двух слоев шерстяного холста и слоя ткани для армирования.

Нетканый многослойный армированный материал «под сукно» с содержанием шерсти от 30 до 100 % с поверхностной плотностью от 500 до 1000 г/м<sup>2</sup> использовался для пошива спецодежды (рабочая одежда, рукавицы, вачеги) и спецобуви (чуни) [П].

В качестве сырья использовались шерстяные отходы. Процесс получения нетканого многослойного материала «под сукно» объединял следующие технологические процессы: эмульсирование и отлеживание шерстяных волокон, разрыхление, а также смешивание и очистка от твердых примесей волокнистого сырья, чесание, выравнивание прочеса по линейной плотности, получение холста, иглопробивание, наматывание в рулон и резка рулона определенной ширины.

Поточная линия по производству нетканого материала «под сукно» включает щипально-замасливающую машину ЩЗ-140-Щ2, обезрепеивающую машину О-120-ШМ2, смешивающую машину СН-3У, чесальную машину Ч-11-200ШМ01, устройство для получения нетканых многослойных армированных материалов, иглопробивную машину ИМ-1800 и устройство для резки и наматывания УРН-1800.

Технологические характеристики чесальной машины Ч-11-200ШМ01:

- скорость съемного барабана чесальной машины - 50,6 м/мин;
- линейная плотность прочеса, выходящего из чесальной машины - 24 г/м<sup>2</sup>.

Действительная производительность чесальной машины:

$$P_{д} = \frac{V_{с.б.} \cdot T_{пр} \cdot 60 \cdot КИМ}{10^3}$$

где  $V_{с.б.}$  - скорость съемного барабана чесальной машины, м/мин;

$T_{пр}$  - линейная плотность прочеса, ктекс;

КИМ – коэффициент использования машины.

$$P_{д} = \frac{60 \cdot 50,6 \cdot 24 \cdot 0,91}{10^3} = 66,3 \text{ кг/час.}$$

После чесальной машины полуфабрикат поступает на разработанное нами оборудование для получения многослойных волокнистых материалов. Характеристика работы оборудования описана выше.

При подготовке и получении слоев необходимой линейной плотности учитывали условия эксплуатации готового нетканого армированного материала.

Поверхностная плотность верхнего слоя - 220 г/м<sup>2</sup>, нижнего - 230 г/м<sup>2</sup>, поверхностная плотность ткани - 250 г/м<sup>2</sup>. Поверхностная плотность нетканого многослойного армированного материала - 700 г/м<sup>2</sup>.

Выходя из разработанного нами устройства, многослойный волокнистый материал поступает на транспортер, который подает его на иглопробивную машину.

Производительность линии может быть определена по движению транспортера с учетом линейной плотности нетканого многослойного материала по формуле

$$P_m = \frac{V_{\text{реш.}} \cdot T_x \cdot Ш \cdot КИМ \cdot 60}{10^3},$$

где  $V_{\text{реш.}}$  – скорость движения транспортера, м/мин;

$T_x$  – линейная плотность волокнистого холста;

Ш – ширина многослойного волокнистого материала.

$$P_o = \frac{1,38 \cdot 700 \cdot 60 \cdot 1,7 \cdot 0,90}{10^3} = 88,7 \text{ кг/ч.}$$

Производительность иглопробивной машины зависит от частоты прокалывания и величины подачи холста и определяет производительность всей линии. Типы игл, применяемых на иглопробивной машине - 15×25×32×3, №112 R222

Производительность, м/ч иглопробивной машин ИМ – 1800 определяют по формуле

$$P_d = (n \times s \times 60 \times T_x \times КИМ) / 1000 = (V \times T_x \times 60 \times КИМ) / 1000.$$

где  $n$  – частота прокалывания, Гц;

$s$  – подача на прокол, мм;

$V$  – скорость выпуска нетканого материала, м/мин;

$$P_d = (n \times s \times 60 \times T_x \times \text{КИМ})/1000 = (V \times T_x \times 60 \times \text{КИМ})/1000.$$

$$P_{уд} = (2,35 \times 700 \times 60 \times 0,9)/1000 = 88,7 \text{ кг/час}.$$

Учитывая, что ширина готового нетканого многослойного армированного материала составляет 1,6 метров (без кромки), то производительность линии составляет 88,7 кг/час или

$$88,7 / (0,7 \times 1,6) = 79,2 \text{ пог. м.}$$

В таблицах 5.4...5.7 представлены результаты испытаний образцов полученного нами нетканого многослойного армированного материала в испытательном центре «Полматекс» ФГУП «Ивановский научно-исследовательский институт пленочных материалов и искусственной кожи технического назначения Федеральной службы безопасности Российской Федерации» [П].

Таблица 5.4 - Результаты испытаний

Условный номер образца, вид образца	Наименование показателя, единица измерения	Фактическое значение показателя	Нормативное значение показателя
Полотно нетканое полушерстяное «под сукно»	Состав сырья, %	ПЭ-50,4 Шерсть-49,6	Не менее 20
	Поверхностная плотность, г/м <sup>2</sup>	566	760-20
	Разрывная нагрузка, Н		
	Размер полоски 50×100мм	265	519
	-основа	248	470
	-уток		
	Разрывное удлинение, %		
	-основа	15	30
	-уток	22	36

Таблица 5.5 - Перечень испытательного оборудования  
и средств измерений

Наименование СИ Тип (марка), заводской номер, год выпуска	Диапазон измерения	Класс точности, погрешность измерений	Свидетельство о поверке СИ, протокол аттестации ИО (номер, дата, срок действия)
Разрывная машина РМИ-250 №214	0-250 кг	КТ1У	Св-во №266/31 от 21.01.2015 до 21.01.2016
Весы аналитические ВЛА-200 №866	0-200 г	КТ2	Св-во №266/36 от 21.01.2015 до 21.01.2016
Весы лабораторные технические Квадратные ВЛТК-500 №225	0-500 г	КТ4	Св-во №266/25 от 21.01.2015 до 21.01.2016

Таблица 5.6 - Результаты испытаний

Условный номер образца, вид образца	Наименование показателя, единица измерения	Фактическое значение показателя	Нормативное значение показателя
Полотно «Под сукно»	Состав сырья, %	ПЭ-47 Шерсть-35,3 Хлопок-17,7	Не менее 20
	Поверхностная плотность, г/м <sup>2</sup>	570	760-20
	Разрывная нагрузка, Н Размер полоски 50×100мм	273	519
	-основа	227	470
Разрывное удлинение, %		7	30
	-основа	12	36
	-уток		

Таблица 5.7 - Перечень испытательного оборудования  
и средств измерений

Наименование СИ Тип (марка), заводской номер, год выпуска	Диапазон измерения	Класс точно- сти, погреш- ность измерений	Свидетельство о поверке СИ, протокол аттестации ИО (номер, дата, срок действия)
Разрывная машина РМИ-250 №214	0-250 кг	КТ1У	Св-во №266/31 от 21.01.2015 до 21.01.2016
Весы аналитические ВЛА-200 №866	0-200 г	КТ2	Св-во №266/36 от 21.01.2015 до 21.01.2016
Весы лабораторные технические Квадратные ВЛТК- 500 №225	0-500 г	КТ4	Св-во №266/25 от 21.01.2015 до 21.01.2016

На рисунке 5.2 представлен образец полученного нетканого многослойного армированного материала: а – вид с боку; б – вид спереди.

На рисунке 5.3. представлен костюм сварщика и вачеги, изготовленные из нетканого многослойного армированного материала «под сукно».



а

б

Рис. 5.2. Образец нетканого многослойного армированного материала

«под сукно»:

а – вид с боку; б – вид спереди.

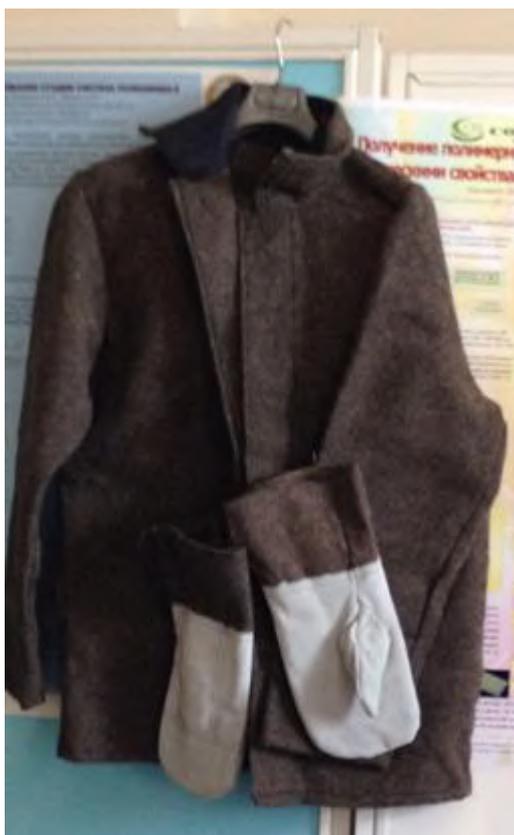


Рис. 5.3. Костюм сварщика и вачеги, изготовленные из нетканого многослойного армированного материала «под сукно».

#### 5.4. Выводы по главе

1. Реализован новый способ получения многослойных волокнистых слоев (Патент № 2471897 Российская Федерация), позволяющий выполнять распределение на фракции волокнистого потока, исходя из скорости витания волокон с целью формирования волокнистых слоев с определенными физико-механическими характеристиками для получения мягкой фракции, образующей верхний слой, составляющий – 55,25 %, и жесткой фракции, образующей нижний слой, – 29,75 %.

2. Получена хлопкольняная пряжа пневмомеханическим способом из верхнего слоя (мягкой фракции). На пневмомеханической прядильной машине использован, разработанный на основе (Патент на полезную модель №119344 Российская Федерация) узел дискретизации, благодаря которому удельная разрывная нагрузка увеличилась на 15,7%, коэффициент вариации по линейной плотности снизился на 12,4%, коэффициент вариации по разрывной нагрузке снизился на 14,9 %, на 42,5% уменьшилось количество пороков. Одновременно с улучшением физико-механических показателей пряжи снизилась обрывность. Процесс прядения протекал стабильнее. Забивания сороотводящих каналов грубыми жесткими комплексами не наблюдалось.

3. Производственные исследования использования разработанного нами устройства для определения крутки пряжи в роторе пневмомеханической прядильной машины (Патент на полезную модель №111141 Российская Федерация) подтвердили, что при получении хлопкольняной пряжи из верхнего слоя (мягкой фракции) наличие костринки на участке баллонирования пряжи приводит к снижению крутки, а также является одной из причин роста обрывности пряжи.

4. Обеспечена реализация нижнего слоя (волокна жесткой фракции), полученного на разработанном оборудовании, заключающаяся в использовании его для получения межвенцового утеплителя (лен, толщина 5

мм, плотность  $400 \text{ г/м}^2$ ), тем самым обеспечивая более рациональное использование сырья.

5. Предложена последовательность технологических процессов подготовки и получения четырехслойного волокнистого материала для наполнения одеял (поверхностная плотность  $600 \text{ г/м}^2$ ), причем внешними слоями наполнителя (первый и четвертый) является верхний слой, полученный на разработанном оборудовании (Патент № 2471897 Российская Федерация), а внутренними слоями (второй и третий) – нижний слой, так же полученный на разработанном оборудовании.

6. Получен нетканый многослойный армированный материал «под сукно», состоящий из шерстяных и полиэфирных волокон, имеющий поверхностную плотность  $566 \text{ г/м}^2$ , разрывную нагрузку по основе 265 Н, по утку - 248 Н, функцию армирования выполняет ткань из полиэфирных волокон. Полученный нетканый многослойный армированный материал «под сукно» был использован для производства костюмов сварщика, вачег и т.д.

## **6. ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ ТЕКСТИЛЬНЫХ МНОГОСЛОЙНЫХ МАТЕРИАЛОВ РАЗРАБОТАННЫМ СПОСОБОМ**

Ранее была подтверждена актуальность организации производства нетканых многослойных материалов разработанным способом. В эпоху экономической напряженности в Российской Федерации очень остро стоит вопрос экономической целесообразности реализации проектов с внедрениями технических разработок в производство. Рассмотрим технический и экономический эффекты от организации технологической линии для получения текстильных многослойных армированных материалов разработанным способом.

### **6.1. Технологический процесс получения нетканых многослойных армированных материалов (контрольный вариант)**

Для изготовления заданного нетканого многослойного армированного материала контрольным способом требуется организовать две технологические цепочки получения двух волокнистых холстов с различными физико-механическими свойствами (верхний и нижний слой) и соединение их с одновременным армированием на иглопробивной машине.

Для заправки щипально-замасливающих машин ЩЗ-140-Щ2 (две технологические цепочки) в контрольном варианте производства заданного многослойного армированного материала подготавливаются 2 различные смеси – для заправки ЩЗ-140-Щ2 технологической цепочки выпуска верхнего слоя многослойного материала и для заправки ЩЗ-140-Щ2 технологической цепочки выпуска нижнего слоя многослойного материала. Далее полуфабрикат в обеих цепочках проходит обработку на обезрепеивающей машине О-120-ШМ2, выравнивание физико-механических показателей смеси на смешивающей машине СН-3У, после чего полуфабрикат поступает на ва-

личную чесальную машину Ч-11-200-ШМ-01, где проходит интенсивное чесание и подготовка для формирования слоя-холста (верхнего и нижнего на соответствующих технологических цепочках) на преобразователе прочеса ПП-2000, а затем холсты нарезаются с одновременным наматыванием в рулоны на устройстве для резания и намотки УРН-1800. Таким образом, подготавливаются рулоны холстов на обеих технологических цепочках, которые будут являться верхним и нижним слоем заданного нетканого многослойного армированного материала соответственно. Тем самым, получаемые холсты на обеих технологических цепочках нарезаются в рулоны, затем снимаются вручную операторами на тележку, с которой холсты с обеих технологических цепочек совместно с рулоном ткани (для армирования многослойного материала) устанавливаются операторами на раму для питания иглопробивной машины ИМ-1800.

Последней машиной в автоматизированной цепочке процесса подготовки полуфабриката (получения волокнистого холста) является резательная машина. Операторами данной резательной машины осуществляется процесс снятия наработанного в рулон холста с машины на тележку (производится вручную). Далее в работе настоящего производства организуется процесс заправки иглопробивной машины ИМ-1800, который включает в себя доставку операторами на тележке рулонов с волокнистыми холстами верхнего и нижнего слоя, а также рулона ткани, с последующей установкой данных рулонов на питающую раму перед иглопробивной машиной ИМ-1800. Также процесс выполняется вручную. После иглопробивной машины ИМ-1800 армированный волокнистый материал поступает на двухстороннюю иглопробивную машину ИМД-1800, на выходе из которой нетканый армированный материал проходит окончательную обработку на каландре, а затем производится резание и наматывание в рулоны на устройстве для резания и намотки УРН-1800.

Схема технологических линий производства нетканых многослойных армированных материалов (контрольный вариант) представлена на рис. 6.1.

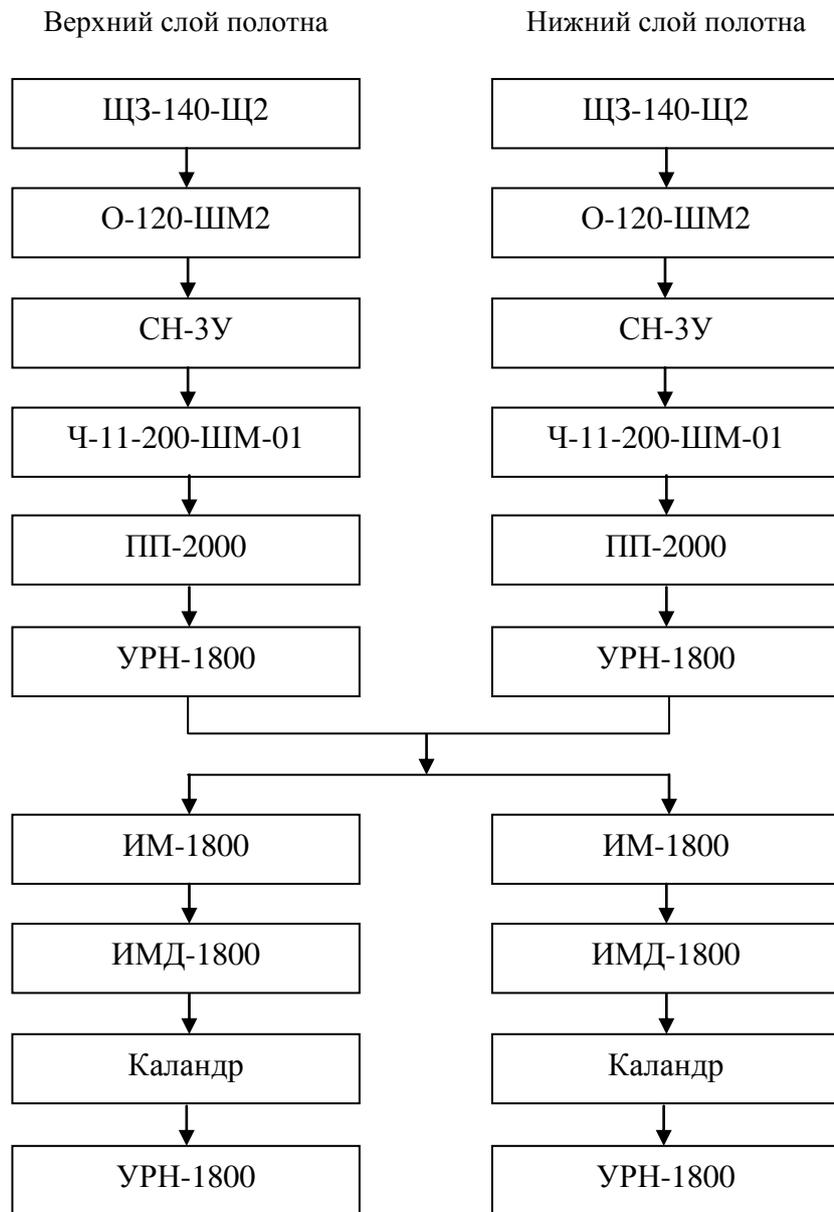


Рис. 6.1. Схема технологических линий производства нетканых многослойных армированных материалов (контрольный вариант)

Для обеспечения максимальной производительности оборудования после двух технологических цепочек по выпуску верхнего и нижнего слоев заданного нетканого многослойного армированного материала было установлено по две иглопробивные ИМ-1800, две двухсторонние иглопробивные машины ИМД-1800 и два устройства для резания и намотки УРН-1800 соответственно.

Для обеспечения работы оборудования в одну рабочую смену требуется 16 операторов, обслуживающих обе технологические цепочки подготовки полуфабриката и машин для окончательного формирования заданного многослойного материала.

## 6.2. Технологический процесс получения нетканых многослойных армированных материалов (опытный вариант)

Для изготовления заданного нетканого многослойного материала опытным (разработанным) способом требуется организовать лишь одну технологическую цепочку, включающую в себя автоматизированный процесс получения двух волокнистых слоев (верхнего и нижнего) с разными физико-механическими свойствами на разработанной машине для получения многослойного армированного материала и автоматизированного питания выпускаемыми волокнистыми слоями иглопробивной машины с одновременным армированием многослойного материала тканью (из рулона на раме перед иглопробивной машиной).

С целью организации производства, равного по мощности с производством по контрольному способу получения заданного нетканого многослойного армированного материала, технологическая цепочка по выпуску заданного нетканого многослойного армированного материала опытным способом будет состоять из двух одинаковых линий оборудования.

Для заправки щипально-замасливающих машин ЩЗ-140-Щ2 в опытном варианте производства заданного нетканого многослойного армированного

материала подготавливаются одна смесь – единая для выпуска верхнего слоя и нижнего слоя заданного нетканого многослойного армированного материала. Далее полуфабрикат проходит обработку на обезрепеивающей машине О-120-ШМ2, выравнивание физико-механических показателей смеси на смешивающей машине СН-3У, после чего полуфабрикат поступает на валичную чесальную машину Ч-11-200-ШМ-01, где проходит интенсивное чесание с целью разделения волокон на машине для получения нетканого многослойного армированного материала ММММ-1 на два волокнистых слоя с разными заданными изначально физико-механическими свойствами, которые также автоматизировано подаются в питающую зону иглопробивной машины ИМ-1800.

Таким образом, питание разработанной машины для получения нетканого многослойного армированного материала ММММ-1 осуществляется автоматизировано с валичной чесальной машины Ч-11-200-ШМ-01 с помощью конвейера. Данная машина также автоматизировано питает иглопробивную машину ИМ-1800 двумя выпускаемыми волокнистыми холстами с заданными физико-механическими свойствами с помощью двух конвейеров. Кроме холстов, иглопробивная машина ИМ-1800 заправляется тканью (из рулона на раме перед машиной) для армирования многослойного материала. На раме устанавливаются два рулона ткани для попеременной заправки иглопробивной машины ИМ-1800 с последующей заменой их по мере выработки. Заправка иглопробивной машины ИМ-1800 новым рулоном ткани осуществляется оператором вручную без останова иглопробивной машины.

После иглопробивной машины ИМ-1800 полуфабрикат поступает как и в контрольном варианте производства на двухстороннюю иглопробивную машину ИМД-1800, на выходе из которой полуфабрикат проходит финишную обработку на каландре, а затем нарезание с одновременным наматыванием в рулоны на устройстве для резания и намотки УРН-1800.

Схема технологических линий производства нетканого многослойных армированных материалов (опытный вариант) представлена на рис. 6.2.

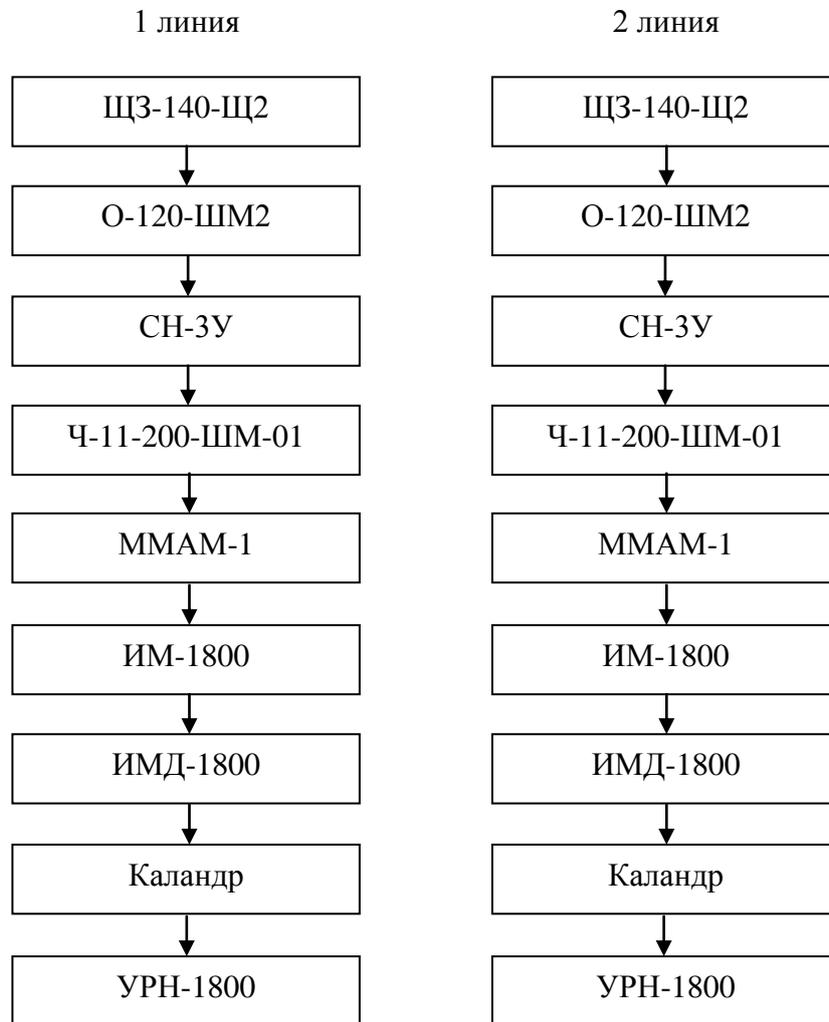


Рис. 6.2. Схема технологических линий производства нетканых многослойных армированных материалов (опытный вариант)

Для обеспечения работы оборудования в одну рабочую смену требуется 10 операторов, обслуживающих обе технологические цепочки подготовки полуфабриката и машин, для окончательного формирования заданного многослойного материала.

### 6.3. Технический эффект от организации технологической линии для получения нетканых многослойных армированных материалов разработанным способом

Технический эффект от внедрения опытного способа получения заданного нетканого многослойного армированного материала согласно предыдущим пунктам настоящей диссертации заключается в снижении трудоемкости по организации питания щипально-замасливающих машин ЩЗ-140-Щ2 – в опытном варианте подготавливается только одна смесь, подходящая для выпуска обоих слоев (верхнего и нижнего) заданного нетканого многослойного армированного материала, в отличие от контрольного варианта, где подготавливаются две смеси – для выпуска верхнего и нижнего слоев заданного нетканого многослойного армированного материала соответственно.

Кроме того, процесс питания первой в технологической цепочке иглопробивной машины ИМ-1800 в опытном варианте осуществляется автоматизировано с помощью конвейеров разработанной машины для получения многослойного армированного материала МММ-1 и требует ручной заправки иглопробивной машины ИМ-1800 только тканью. В контрольном варианте производства заданного нетканого многослойного армированного материала процесс питания первой иглопробивной машины ИМ-1800 осуществляется полностью вручную. Операторами на тележке обеспечивается доставка изготовленных на обеих технологических цепочках рулонов с волокнистыми холстами верхнего и нижнего слоя, а также установка рулона ткани на питающую раму перед иглопробивной машиной ИМ-1800. Тем самым, в опыт-

ном варианте снижается трудоемкость обслуживания и питания первой иглопробивной машины ИМ-1800, что позволяет сократить количество операторов заявленного оборудования до 10 человек в рабочую смену.

#### 6.4. Расчет экономических показателей контрольного варианта производства

Ранее было определена технологическая линия оборудования для выпуска заданного нетканого многослойного армированного материала контрольным (традиционным) способом. Стоимость каждой модели оборудования представлена в таблице 6.1.

Таблица 6.1 - Стоимость оборудования технологической линии

№	Наименование оборудования	Стоимость, тыс.руб.
1.	Щипально-замасливающая машина ЩЗ-140-2	500
2.	Обезрепеивающая машина О-120-ШМ2	500
3.	Смешивающая машина СН-3У	500
4.	Валичная чесальная машина Ч-11-200-ШМ-01	2000
5.	Преобразователь прочеса ПП-2000	1000
6.	Устройство для резания и намотки УРН-1800	300
7.	Иглопробивная машина ИМ-1800	1000
8.	Двухсторонняя иглопробивная машина ИМД-1800	2500
9.	Каландр	1000

Таким образом, контрольный вариант получения заданного нетканого многослойного армированного материала подразумевает 2 технологические цепочки оборудования общей стоимостью 19 200 000 руб. (Девятнадцать миллионов двести тысяч).

Для обеспечения работы производства требуется следующий персонал (предполагается трехсменный режим работы оборудования с получасовой пересменкой персонала). Фонд оплаты труда работников представлен в таблице 6.2.

Таблица 6.2 - Фонд оплаты труда работников

№	Должность	Количество	Оклад (руб.)	Итого (руб.)
1.	Генеральный директор	1	60 000	60 000
2.	Главный бухгалтер	1	40 000	40 000
3.	Технический директор	1	40 000	40 000
4.	Офис-менеджер	1	16 000	16 000
5.	Менеджер по закупкам	1	20 000	20 000
6.	Менеджер по сбыту	1	20 000	20 000
7.	Начальник смены	4	20 000	80 000
8.	Оператор	64	16 000	1 024 000
9.	Помощник мастера	4	16 000	64 000
10.	Зав.складом	2	16 000	32 000
11.	Грузчик	2	16 000	32 000
12.	Лаборант	1	16 000	16 000
13.	Охранник	8	12 000	96 000
14.	Уборщица	2	8000	16 000
	<b>ИТОГО</b>			<b>1 556 000</b>

Таким образом, фонд оплаты труда (ежемесячный) составляет 1 556 000 руб. (один миллион пятьсот пятьдесят тысяч рублей). Налоги, отчисляемые с фонда оплаты труда, приведены в таблице 6.3.

Таблица 6.3 – Налоги с ФОТ

№	Налог	Сумма, руб.
1.	НДФЛ (13%)	202 280
2.	Общая сумма налога с ФОТ (30%)	466 800

Кроме того, предприятие будет обязано уплачивать налог с остаточной стоимости основных фондов (в нашем случае - оборудования). Согласно российским стандартам бухгалтерского учёта, существуют четыре основных способа начисления амортизации для бухгалтерского учёта по объектам основных средств, мы будем использовать линейный способ, подразумевающий равномерное начисление амортизации с первоначальной до остаточной

стоимости (в конце срока службы) в течение всего срока использования – согласно российскому законодательству для рассматриваемого случая 10 лет.

Таким образом, получим:

- срок полезного использования оборудования 10 лет;
- остаточная стоимость оборудования на конец первого года – 17 280 000 руб.;
- налог на имущество за первый год (налоговая ставка 2,2%) – 401 280 руб.

Ранее была определена производительность иглопробивной машины ИМ-1800 (88,7 кг/ч), определяющая производственную мощность предприятия – 177,4 кг/ч. Кроме того, было выбрана в качестве сырья шерсть стоимостью 60 руб/кг, а также ткань для армирования выпускаемого материала 50 руб/погонный метр. В виду того, что поверхностная плотность выпускаемого материала без учета ткани для армирования составляет  $700 \text{ г/м}^2$ , а ширина выпускаемого полотна составляет 160 см, расход шерсти на выпуск 1 погонного метра полотна составит 1,12 кг. При трехсменном режиме работы оборудования с получасовой пересменкой персонала время работы оборудования в сутки составляет 22,5 ч.

Таким образом, предприятие перерабатывает 119 745 кг шерсти в месяц и выпускает 106 915 погонных метров полотна. Стоимость погонного метра выпускаемого полотна многослойного армированного материала была задана в размере 220 руб. Таким образом, месячная выручка предприятия от реализации многослойного армированного материала составит 23 521 339 руб. (Двадцать три миллиона пятьсот двадцать одна тысяча триста тридцать девять рублей).

Для обеспечения работы оборудования требуется обеспечить последнее электроэнергией в 80 кВт/ч. Таким образом, затраты на электроэнергию для работы оборудования составят 624 руб/час. Кроме того, общепроизводственные затраты принимаются в размере 10 000 руб. в месяц, а амортизация оборудования (согласно сроку полезного использования оборудования в 10 лет) составит 160 000 руб. в месяц.

Таким образом, накладные расходы в данном случае должны составить 12 951 659 руб./месяц (двенадцать миллионов девятьсот пятьдесят одна тысяча шестьсот пятьдесят девять рублей). А прямые затраты – 2 226 240 руб./месяц (Два миллиона двести двадцать шесть тысяч двести сорок рублей).

Соответственно, получим, что НДС (ставка 18%) от разницы между стоимостью выпускаемой продукции и затрат на ее производства (стоимость сырья и электричества) составит 1 902 542 руб./месяц (Один миллион девятьсот две тысячи пятьсот сорок два рубля).

Итого, получаем всего затрат на производство продукции в месяц – 17 080 441 руб./месяц (Семнадцать миллионов восемьдесят тысяч четыреста сорок один рубль). Таким образом, себестоимость одного погонного метра выпускаемого многослойного армированного материала составит 127 руб. 36 коп.

Налог на прибыль в данном случае составит (ставка 20%) – 1 288 180 руб./месяц (Один миллион двести восемьдесят восемь тысяч сто восемьдесят рублей).

Получим чистую прибыль после уплаты налоговых отчислений в размере 5 152 718 руб. месяц (Пять миллионов сто пятьдесят две тысячи семьсот восемнадцать рублей). Рентабельность производства в данном случае должна составить 28,05%.

Исходя из установленного 10-дневного запаса сырья предприятию требуется дополнительно 4 176 820 руб. (Четыре миллиона сто семьдесят шесть тысяч восемьсот двадцать рублей). Прибыль предприятия в месяц покрывает стоимость 10-дневного запаса сырья, таким образом, потребность в первоначальном обороте будет равной стоимости первоначального 10-го запаса сырья, т.е. 4 176 820 руб. (Четыре миллиона сто семьдесят шесть тысяч восемьсот двадцать рублей).

Таким образом, инвестиционный капитал для организации производства контрольным способом должен составить 23 376 820 руб. (Двадцать три

миллиона триста семьдесят шесть тысяч восемьсот двадцать рублей), а срок окупаемости инвестиционных вложений составит 4,54 месяца.

#### 6.5. Расчет экономических показателей опытного варианта производства

Ранее было определена технологическая линия оборудования для выпуска заданного нетканого многослойного армированного материала опытным (разработанным) способом. Стоимость каждой модели оборудования представлена в таблице 6.1.

Вместе с тем, предполагается, что стоимость разработанной машины для получения нетканого многослойного армированного материала (НММ-1) составит 1 000 000 руб. (Один миллион рублей).

Таким образом, опытный вариант получения заданного нетканого многослойного армированного материала подразумевает технологическую цепочку оборудования общей стоимостью 18 600 000 руб. (Восемнадцать миллионов шестьсот тысяч рублей).

Предполагается трехсменный режим работы оборудования с получасовой пересменкой персонала. Фонд оплаты труда работников представлен в таблице 6.4.

Таблица 6.4 – Фонд оплаты труда

№	Должность	Количество	Оклад (руб.)	Итого (руб.)
1.	Генеральный директор	1	60 000	60 000
2.	Главный бухгалтер	1	40 000	40 000
3.	Технический директор	1	40 000	40 000
4.	Офис-менеджер	1	16 000	16 000
5.	Менеджер по закупкам	1	20 000	20 000
6.	Менеджер по сбыту	1	20 000	20 000
7.	Начальник смены	4	20 000	80 000
8.	Оператор	40	16 000	640 000
9.	Помощник мастера	4	16 000	64 000
10.	Зав.складом	2	16 000	32 000
11.	Грузчик	2	16 000	32 000
12.	Лаборант	1	16 000	16 000
13.	Охранник	8	12 000	96 000
14.	Уборщица	2	8000	16 000
	<b>ИТОГО</b>			<b>1 172 000</b>

Таким образом, фонд оплаты труда (ежемесячный) составляет 1 172 000 руб. (один миллион сто семьдесят две тысячи рублей). Налоги, отчисляемые с фонда оплаты труда представлены в таблице 6.5.

Таблица 6.5 – Налоги с ФОТ

№	Налог	Сумма, руб.
1.	НДФЛ (13%)	152 360
2.	Общая сумма налога с ФОТ (30%)	351 600

Амортизация основных средств в опытном варианте составит:

- срок полезного использования оборудования 10 лет;
- остаточная стоимость оборудования на конец первого года – 16 740 000 руб.;
- налог на имущество за первый год (налоговая ставка 2,2%) – 388 740 руб.

Ранее была определена производственная мощность предприятия также, как и в контрольном варианте, - 177,4 кг/ч. Месячная выручка предприятия от реализации многослойного армированного материала составит также 23 521 339 руб. (Двадцать три миллиона пятьсот двадцать одна тысяча триста тридцать девять рублей).

Для обеспечения работы оборудования требуется обеспечить последнее электроэнергией также в 80 кВт/ч. Таким образом, затраты на электроэнергию для работы оборудования составят 624 руб./час.

Кроме того, общепроизводственные затраты принимаются в размере также 10 000 руб. в месяц, а вот амортизация оборудования (согласно сроку полезного использования оборудования в 10 лет) составит уже 155 000 руб. в месяц.

Таким образом, накладные расходы, как и в контрольном варианте, должны составить 12 951 659 руб./месяц (двенадцать миллионов девятьсот пятьдесят одна тысяча шестьсот пятьдесят девять рублей). А вот прямые затраты в опытном варианте составят – 1 720 995 руб./месяц (Один миллион семьсот двадцать тысяч девятьсот девяносто пять рублей).

НДС (ставка 18%) от разницы между стоимостью выпускаемой продукции и затрат на ее производство (стоимость сырья и электричества) составит, как и в контрольном варианте, 1 902 542 руб./месяц (Один миллион девятьсот две тысячи пятьсот сорок два рубля).

Итого, получаем всего затрат на производство продукции в месяц – 16 575 196 руб./месяц (Шестнадцать миллионов пятьсот семьдесят пять тысяч сто девяносто шесть рублей). Таким образом, себестоимость одного погонного метра выпускаемого многослойного армированного материала в опытном варианте составит 123 руб. 59 коп.

Налог на прибыль в данном случае составит (ставка 20%) – 1 389 229 руб./месяц (Один миллион триста восемьдесят девять тысяч двести двадцать девять рублей).

Получим чистую прибыль после уплаты налоговых отчислений в размере 5 556 914 руб./месяц (Пять миллионов пятьсот пятьдесят шесть тысяч девятьсот четырнадцать рублей).

Рентабельность производства в данном случае должна составить 30,93%.

Исходя из установленного 10-дневного запаса сырья предприятию требуется дополнительно 4 176 820 руб. (Четыре миллиона сто семьдесят шесть тысяч восемьсот двадцать рублей). Прибыль предприятия в месяц покрывает стоимость 10-дневного запаса сырья, таким образом, потребность в первоначальном обороте будет равной стоимости первоначального 10-го запаса сырья, т.е. 4 176 820 руб. (Четыре миллиона сто семьдесят шесть тысяч восемьсот двадцать рублей).

Таким образом, инвестиционный капитал для организации производства контрольным способом должен составить 22 776 820 руб. (Двадцать два миллиона семьсот семьдесят шесть тысяч восемьсот двадцать рублей), а срок окупаемости инвестиционных вложений составит 4,1 месяца.

## 6.6. Экономический эффект

Проведенный сравнительный анализ двух вариантов организации производства по выпуску заданного нетканого многослойного армированного материала показал, что опытный вариант организации производства является менее трудоемким и менее затратным.

Было установлено, что инвестиционный капитал, требуемый для организации производства опытным способом, меньше контрольного на 600 000 руб. (Шестьсот тысяч рублей), необходимый для организации работы предприятия персонал в опытном варианте меньше на 24 оператора, чем в контрольном, что снижает размер фонда оплаты труда (на 384 тыс.руб./месяц) и налоговые отчисления с фонда оплаты труда (на 165 120 руб./месяц), однако налог на прибыль в опытном варианте вырос – на 101 049 руб./месяц, что было получено в основном в результате снижения себестоимости выпускаемой продукции (на 3 рубля 77 коп. на погонный метр полотна).

Незначительно в опытном варианте снизились расходы на содержание оборудования (на 5 тыс.руб./месяц) и налог на остаточную стоимость основных фондов (на 12 540 руб./год.).

Таким образом, опытный вариант организации производства позволяет увеличить месячную прибыль предприятия на 404 196 руб., что повышает рентабельность производства на 2,88 % и снижает срок окупаемости предприятия. Экономические показатели для двух вариантов организации производства представлены в таблице 6.6.

Таблица 6.6 - Экономические показатели

№	Показатель	Контрольный вариант	Опытный вариант	Изменение (улучшение)	Процент изменения (улучшения)
1.	Инвестиционные издержки, руб.	23 376 820	22 776 820	600 000	2,57%
2.	Персонал, человек	93	69	-24	-
3.	ФОТ, руб/мес	1 556 000	1 172 000	-384 000	-24,68%
4.	Налоги с ФОТ, руб/мес	669 080	503 960	-165 120	-24,68%
5.	Налог на имущество, руб/год	401 280	388 740	-12 540	-3,13%
6.	НДС, руб/мес	1 902 542	1 902 542	-	-
7.	Налог на прибыль, руб/мес	1 288 180	1 389 229	101 049	7,84%
8.	Себестоимость, руб/пог.м	127,36	123,59	3,77	-2,96%
9.	Чистая прибыль, руб/мес	5 152 718	5 556 914	404 196	7,84%
10.	Рентабельность	28,05%	30,93%	2,88%	
11.	Срок окупаемости, мес	4,54	4,10	0,44	9,69%

#### 6.7. Выводы по главе

1. Разработанный способ изготовления нетканого многослойного армированного материала позволяет снизить трудоемкость приготовления смеси для выпуска указанного материала.

2. Разработанный способ изготовления нетканого многослойного армированного материала предполагает автоматизированную подачу полуфабриката к последующей машине всей технологической цепочки для изготовления нетканого многослойного армированного материала.

3. Разработанный способ изготовления нетканого многослойного армированного материала позволяет снизить трудоемкость обслуживания технологической цепочки более, чем в полтора раза.

4. Разработанный способ изготовления нетканого многослойного армированного материала позволил снизить изначальные инвестиционные издержки ввиду меньшей стоимости оборудования технологической цепочки по сравнению с традиционным способом изготовления нетканого многослойного армированного материала на 2,57 %.

5. Разработанный способ изготовления нетканого многослойного армированного материала позволил снизить себестоимость выпускаемой продукции по сравнению с традиционным способом изготовления нетканого многослойного армированного материала на 7,84 %.

6. Разработанный способ изготовления нетканого многослойного армированного материала позволил увеличить валовую прибыль на 7,84 % и рентабельность предприятия на 2,88 % по сравнению с традиционным способом изготовления нетканого многослойного армированного материала, а также снизить срок окупаемости инвестиций на 9,69 %.

## ИТОГИ ВЫПОЛНЕННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

В ходе решения задач, поставленных в диссертационной работе, были получены следующие основные выводы и рекомендации:

1. На основе анализа опыта работы отечественных и зарубежных фирм, занимающихся разработкой технологий и оборудования для производства нетканых многослойных материалов, в том числе, армированных, установлено, что актуальным становится расширение ассортимента используемых волокон, повышение однородности по физико-механическим свойствам получаемых слоев, рациональность использования сырья, сокращение технологических переходов и снижение трудозатрат, расширение области применения нетканых многослойных материалов, в том числе, армированных.

2. Из анализа литературных источников следует, что важную роль для качественного разделения волокнистого потока на фракции играют процессы разрыхления и очистки на разрыхлительно-очистительном оборудовании, отдельные их этапы остаются неизученными, или нуждаются в существенной доработке. Отсутствуют теоретические исследования процесса разрыхления с точки зрения механики на всех его этапах. Кроме того, на современных разрыхлителях-очистителях не определены этапы процесса разрыхления волокнистой массы и не выделены их существенные признаки, отсутствуют построенные на законах механики математические модели каждого из этапов, необходимые для достаточно целостного представления о процессе разрыхления. Также в литературных источниках не нашло отражение решение проблем равномерной подачи волокнистого материала в зону разрыхления, улучшения условий качественного съема волокон, эффективного разделения их на фракции с учетом скорости витания и распределения по зонам формирования отдельных слоев, однородных по физико-механическим показателям.

3. Разработан способ получения многослойных волокнистых материалов, заключающийся в направленном перемещении под воздействием воз-

душных потоков волокнистого потока и разделении последнего на фракции по зонам формирования слоев в распределительной камере, в которой создаются внутренние воздушные потоки, направленные в зону формирования волокнистых слоев с разделением их на составляющие, в зону сороудаления и в зону обеспыливания (Патент №2471897 Российская Федерация).

4. Разработано оборудование для осуществления нового способа получения многослойных волокнистых материалов, содержащее бункер для питания волокнистыми материалами, узел для разрыхления и очистки, камеру распределения волокон по зонам формирования волокнистых слоев с установленным на выходе из камеры узлом для формирования волокнистых слоев и транспортеры для транспортирования образованных волокнистых слоев.

5. Разработанные способ и оборудование для получения многослойных волокнистых материалов позволяют получать волокнистые слои однородные по физико-механическим показателям и равномерные по толщине благодаря согласованности работы всех основных рабочих узлов и зон, перерабатывать различное сырье, обеспечивают возможность одновременного получения двух и более волокнистых слоев, а также вариативность их использования, а именно, получение из волокнистых слоев пряжи разной линейной плотности, либо пряжи и однослойных нетканых материалов, либо многослойных нетканых материалов.

6. Разработана методика расчета выравнивающей способности зоны питания оборудования для получения многослойных волокнистых материалов с учетом геометрических параметров бункера, механических свойств поступающей смеси, ее засоренности и неровноты плотности поступающей в зону питания волокнистой составляющей смеси.

7. На основании законов механики выведено дифференциальное уравнение движения волокнистых комплексов в камеру распределения при их аэросъеме в оборудовании, обеспечивающем разработанный способ получения многослойных волокнистых материалов. Решение уравнения связывает характеристики волокнистых комплексов, параметры гарнитуры, радиус и час-

тоту вращения рабочего пильчатого барабана со скоростью воздушного потока в аэросъемном канале и является базовым для разработки методики определения и оптимизации углового размера дуги аэросъема.

8. Разработана математическая модель процесса ударного воздействия колка на волокнистый комплекс в разрыхлителях-очистителях. Установлено, что сила удара колка о волокнистый комплекс практически пропорциональна квадрату радиуса барабана разрыхлителя-очистителя. Выведена аналитическая зависимость для расчета растаскивающей силы.

9. На основе законов механики и аэродинамики выведены уравнения движения волокнистого комплекса вдоль поверхности колка или штифта барабанов разрыхлителей-очистителей, а также выведены математические модели и алгоритмы для расчета условия движения волокнистого комплекса вдоль поверхности колка или штифта на барабанах разрыхлителей-очистителей с дальнейшим сбросом с них.

10. Показано, что закрученный воздушный поток в камере разрыхлителя-очистителя за счет центробежной силы так воздействует на волокнистый комплекс, что он перемещается в радиальном направлении к колосниковой решетке, то есть, этот воздушный поток, как и колок, выполняет операцию перемещения волокнистого комплекса к колосниковой решетке. Установлено, что при увеличении радиуса барабана уменьшается как угловой сектор, в котором происходит движение волокнистого комплекса после сброса с колка, так и время, за которое волокнистый комплекс достигает колосниковой решетки.

11. Реализован разработанный способ получения многослойных волокнистых слоев, позволяющий выполнять разделение волокнистого потока на фракции по скорости витания волокон с целью формирования волокнистых слоев с определенными физико-механическими характеристиками, в технологических линиях по изготовлению хлопкольнай пряжи и нетканого однослойного материала, а также в технологических линиях по изготовлению

четырёхслойного наполнения для одеял и нетканого многослойного армированного материала «под сукно».

12. Использование разработанных способа и оборудования для получения многослойных волокнистых материалов позволяют осуществлять автоматизированную подачу полуфабриката к последующей машине в технологической линии для изготовления нетканого многослойного армированного материала, что приводит к снижению трудоемкости обслуживания технологической линии более, чем в полтора раза, увеличению чистой прибыли на 7,84% и рентабельности предприятия на 2,88% в сравнении с традиционным способом изготовления нетканого многослойного армированного материала. Срок окупаемости инвестиций снижается на 9,69%.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зотиков, В.Е., Основы прядения волокнистых материалов/ В.Е.Зотиков, И.Е. Будников, П.П. Трынов. – М.: Гизлегпром, 1959. – 508 с.
2. Владимиров, Б.М. Анализ процесса на машинах разрыхлительно-трепального агрегата / Б.М. Владимиров. – М.: Легкая промышленность, 1959. – 178 с.
3. Борзунов, И.Г. Прядение хлопка и химических волокон / И.Г. Борзунов, К.И. Бадалов и др. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1982. – 376 с.
4. Протасова, В.А. Прядение шерсти и химических волокон / В.А. Протасова, Б.Е. Бельшев, А.Ф. Капитанов. – М.: Легпромбытиздат, 1988. – 334 с.
5. Севостьянов, А.Г. Методы и средства исследования механико-технологических процессов текстильной промышленности / А.Г. Севостьянов. - М.: Легкая индустрия, 1980. – 392 с.
6. Плеханов, А.Ф. Безотходная технология в пневмопрядении/А.Ф. Плеханов. - М.: Легпромбытиздат., 1994. – 128 с.
7. Хосровян, Г.А. Теория и практика очистки и подготовки полуфабриката к прядению [текст] / Г.А. Хосровян, Я.М. Красик. – Иваново: ИГТА, 1998. – 256 с.
8. Плеханов, Ф.М. Теория процессов, технология и оборудование прядения хлопка и химических волокон / Ф.М. Плеханов, А.Ф. Плеханов. - МГТА. Курс лекций. Кафедра прядения хлопка. – М.: 1998. – 108 с.
9. Хосровян, Г.А. Разрыхление, смешивание и очистка хлопковых и химических волокнистых материалов: Учеб. Пособие / Г.А. Хосровян, В.В. Бординов, А.Г. Хосровян. - Шахты: Изд-во ЮРГУЭС, 2005.
10. Фролов, В.Д. Технология и оборудование текстильного производства. Ч.1: Производство пряжи и нитей / В.Д. Фролов, Г.В. Башкова, А.П. Башков. - Иваново: – ИГТА, 2006.

11. Гончаров, В.Г. Сокращенные системы прядения хлопка / В.Г. Гончаров. - М.: Легпромбытиздат, 1991. – 110 с.
12. Корабельников, Р.В. Процесс взаимодействия волокна с колосником треугольного профиля / Р.В. Корабельников, Д.А. Лебедев, Е.И. Громова // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2006. - № 4.
13. Корабельников, Р.В. Взаимодействие прядки волокна с колосником в пыльных волоконоочистителях / Р.В. Корабельников, А.Р. Корабельников // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2000. - № 1.
14. Корабельников, Р.В. Определение шага расстановки колосников на очистительной машине / Р.В. Корабельников, А.Р. Корабельников, Д.А. Лебедев // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2011. - № 5.
15. Корабельников, Р.В. Теория и практика совершенствования очистителей волокна: Монография / Р.В. Корабельников. – Кострома: КГТУ, 2001.
16. Корабельников, А.Р. Процесс ударного взаимодействия частицы волокна с рабочим органом / А.Р. Корабельников и др. // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2003. - № 1.
17. Корабельников, Р.В. Взаимодействие волокнистой частицы с рабочим органом с учетом нелинейности восстанавливающей силы / Р.В. Корабельников и др. // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2003. - № 2.
18. Жуков, В.И. Расчетное определение компонент деформации сжатия волокнистого материала в массе / В.И. Жуков, Р.В. Корабельников, А.П. Соркин // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. - 2001. - С. 10-13.
19. Жуков, В.И. Переменный модуль упругости волокнистого материала в массе / В.И. Жуков, О.Е. Балакина // Сборник научных трудов молодых ученых. - КГТУ. Кострома. - 2001. - Вып.2. - С. 37-39.
20. Жуков, В.И. Единичная функция сжатия волокнистого материала в массе / В.И. Жуков // Сборник научных трудов молодых ученых КГТУ. - Кострома, 2001. - Вып.2. - С. 34-37.

21. 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.

22. Хосровян, А.Г. Совершенствование процессов разрыхления, очистки, транспортировки полуфабриката и формирования пневмомеханической пряжи с целью повышения ее качества [Текст]: дис.... канд. техн. наук. – Иваново: ИГТА, 2007.

23. Красик, Т.Я. Совершенствование процессов разрыхления, очистки и смешивания для производства хлопкольнайной пряжи [Текст]: дис.... канд. техн. наук. – Иваново: ИГТА, 2012.

24. Мкртумян, А.С. Разработка и исследование разрыхлителя-очистителя волокнистых материалов с многоступенчатой очисткой [Текст]: дис.... канд. техн. наук. – Кострома: КГТУ, 2014.

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

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

27. Плеханов, Ф.М. Механизация и автоматизация процессов в прядении и ткачестве/Ф.М. Плеханов, Е.Н. Житников, А.Ф. Плеханов. – М: Легпромбытиздат, 1991. – 128 с.

28. Современная техника и технология прядения волокнистых материалов. ИНЛЕГМАШ – 2004. – М: - 2004.

29. Малафеев, Р.М. Машины текстильного производства / Р.М. Малафеев, Ф.Ф.Светик. – М: Машиностроение, МГФ «Знание», 2002. – 496 с.

30. Зелкер, Г. Вопросы разрыхления, очистки и кардочесания хлопка с учетом изменяющихся качества хлопка / Г. Зелкер. – Трюццлер Гмбх & КО КГ, Фабрика текстильного машиностроения, 1989.

31. Технология волокон. Проспект фирмы «Трюццлер» (Германия).

32. Концепция развития техники и технологии фирмы «РИТЕР». – М: - 2000.

33. Техника и технология прядения фирмы «РИТЕР». ИНЛЕГМАШ. – М: - 2000.
34. Техническая информация фирмы Марцоли, 2005.
35. Фролов, В.Д. Технология и оборудование для производства волокнистых полотен аэродинамическим способом / В.Д. Фролов, И.В. Фролова. – М.: Легпромбытиздат, 1995. – 268 с.
36. Фролов, В.Д. Малоотходная технология в текстильном производстве / В.Д. Фролов. - г. Куровское: 1996. – 498 с.
37. Фролов, В.Д. Производство текстильных материалов на основе малоотходной технологии / В.Д. Фролов, Д.Н. Саприкин, И.В. Фролова. – г. Куровское: 1995. – 268 с.
38. Фролова, И.В. Теория и практика получения и использования регенерированных волокон / И.В. Фролова. – Иваново: - Комитет государственной статистики, 1999. – 523 с.
39. Павлов, Г.Г. Аэродинамика технологических процессов и оборудования текстильной промышленности / Г.Г. Павлов. - М.: Легкая индустрия, 1975.
40. Куликова, З.И. Механизация процессов пылеудаления в хлопчатобумажном производстве / З.И. Куликова, Г.Г. Павлов.- М.: ЛЕГПРОМБЫТИЗДАТ, 1985.
41. Пат. 2243301 Российской Федерации, МПК D04H13/00, B32B27/12, B29C47/02, A61F13/15. Способ получения слоистого материала несостаренная пленка-несостаренное нетканое полотно и изделия, получаемые этим способом / ВУН Лин Сан (ТН), ЙИНГ Сэнди Чи-Чинг (US), ХЭТЦЛЕР Кевин Джордж (US), ДЖОУНС Билли Рэй Джр. (US), ХЭФФНЕР Вильям Бела (US), ЭЛЛИСОН Чарльз Хэрман (US), МОРЭЛЛ Чарльз Джон (US), ШИФФЕР Дэниэл Кеннет (US).; заявитель и патентообладатель КИМБЕРЛИ-КЛАРК ВОРЛДАЙД, ИНК. (US). - № 2001111008/12.; заявл. 10.04.2003; опубл. 27.12.2004.

42. Пат. 3940216 United States, МПК В32В 5/12; В32В 7/14. Аппарат для производства нетканых волокнистых материалов / Thomas L. Hinckley, Millville, N.J.; - № 545499; заявл. 30.01.75; опубл. 24.02.76.- 8 с. 2 ил.

43. Пат. 20090276978A1 United States, МПК D01G 19/00, D04Н 1/46, D01G 25/00. Аппарат и метод для производства многослойного веб-продукта / Bradley G. Schmidt, Green Bay, WI (US); Edward J. Yock, Appleton, WI (US). - № 2009/0276978 A1 (43) заявл. 21.07.09; опубл. 12.11.09. Бюл. № 12/506,343 - 4с.; 8 ил.

44. Пат. 14736 Российская Федерация, МПК Д01Н 7/92. Устройство для аэромеханической рассортировки волокон / И.В. Фролова, Рагим Оглы Кахраманов, Т.Ю. Максимовская, И.Г. Чистобородов; заявитель и патентообладатель Ивановская государственная текстильная академия. - №2000102175/20; заявл.26.01.00; опубл. 20.08.00. Бюл. «№23 – 4с.; ил.

45. Пат. 988925 Российская Федерация, МПК D01G 9/06, D01G 23/00. Способ получения многослойного волокнистого материала / В.В. Аверкиев, Л.А. Непорент, Е.П. Панкратьев, Л.С. Шевелев; опубл. 15.01.1983. Бюл. №2..

46. Пат. 2185466 Российская Федерация, МПК D01G25/00. Устройство для формирования волокнистого холста / Г.М. Беликов, Н.Н. Волчкова; заявитель и патентообладатель Открытое акционерное общество «Научно-исследовательский институт нетканых материалов»: -№ 2001120695/12 заявл. 2001-07-25; опубл. 20.07.2002).

47. Пат. 3940216 United States, МПК В32В 5/12; В32В 7/14. Аппарат для производства нетканых волокнистых материалов / Thomas L. Hinckley, Millville, N.J.; - №545499; заявл. 30.01.75; опубл. 24.02.76.- 8 с. 2 ил.

48. Пат. 20090276978A1 United States, МПК D01G 19/00, D04Н 1/46, D01G 25/00. Аппарат и метод для производства многослойного веб-продукта / Bradley G. Schmidt, Green Bay, WI (US); Edward J. Yock, Appleton, WI (US). - №2009/0276978 A1 (43) заявл. 21.07.09; опубл. 12.11.09. Бюл. № 12/506,343 - 4с.; 8 ил.

49. Пат. 2361022 Российская Федерация, МПК D01G 9/06, D01G 23/00. Разрыхлитель-очиститель с многоступенчатой очисткой / Г.А. Хосровян А.Г. Хосровян, О.Н. Кушаков, А.С. Мкртумян, Л.В. Минеева, Т.В. Жегалина; заявитель и патентообладатель Ивановская государственная текстильная академия. - №2007148200/12; заявл. 10.07.09; опубл. 10.07.09. Бюл. №19.-10с.; 5ил.

50. Пат. DE4036014C2 Российская Федерация. Устройство для изготовления нетканых материалов / Ferdinand Leifeld; заявитель и патентообладатель Truetzschler GmbH & Co Kg. - заявл. 13.11.1990; опубл. 05.07.2001. Бюл. №1.-10с.; 2ил.

51. Хосровян, Г.А. Разработка машин для производства многослойных нетканых материалов / Г.А. Хосровян, А.Г. Хосровян, Т.Я. Красик, И.Г. Хосровян // Актуальные проблемы науки в развитии льноволокнистых технологий для экономики региона: сборник материалов международной научно-технической конференции. – Кострома, 2010. - С. 103-104.

52. Хосровян, А.Г. Математический аппарат технологии получения многослойных нетканых материалов / А.Г. Хосровян, Т.Я. Красик, Г.А. Хосровян, И.Г. Хосровян // Современные технологии и оборудование текстильной промышленности (Текстиль-2010): сборник материалов международной научно-технической конференции. - Москва, 2010. - С. 38.

53. Хосровян, И.Г. Моделирование системы автоматического управления пневмосепарацией волокон и сорных примесей при разрыхлении волокнистых материалов / И.Г. Хосровян, Т.Я. Красик, Г.А. Хосровян // Студенты и молодые ученые КГТУ - производству: материалы 63-й межвузовской научно-технической конференции молодых ученых и студентов. – Кострома, 2011. - С. 11.

54. Хосровян, А.Г. Способ получения многослойных волокнистых материалов и устройство для его осуществления / А.Г. Хосровян, Т.Я. Красик, Г.А. Хосровян, И.Г. Хосровян // Молодые ученые - развитию текстильной и легкой промышленности (ПОИСК – 2013): Тез. докл. Межвузовская научно-техническая конференция аспирантов и студентов. – Иваново, 2013. - С. 143.

55. Хосровян, И.Г. Разработка математических моделей для оптимизации механических процессов при получении многослойных волокнистых материалов / И.Г. Хосровян, М.А. Тувин, Г.А. Хосровян // Тез. докл. Всероссийской научной конференции молодых ученых «Инновации молодежной науки». - Санкт-Петербург, 2015. - С. 224.

56. Хосровян, И.Г. Разработка и исследование оборудования для производства многослойных волокнистых материалов / И.Г. Хосровян, М.А. Тувин, Г.А. Хосровян // XII-я Международная научно-техническая конференция. Современные инструментальные системы, информационные технологии и инновации (статья). - Курск, 2015. - С. 56-60.

57. Пат. 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.

58. Хосровян, И.Г. Новый способ получения текстильных армированных материалов / И.Г. Хосровян // сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции «Получение и модифицирование синтетических волокон и нитей для инновационных материалов, композитов и изделий». - Плес Ивановская обл., 2015. - С. 95.

59. Красик, Т.Я. Применение разработанной программы для оптимизации технологического процесса смешивания волокнистых материалов в дозаторе-смесителе Multi Mixer FA 028B–120 / Т.Я. Красик, Г.А. Хосровян, И.Г. Хосровян // Молодые ученые - развитию текстильной и легкой промышленности (ПОИСК – 2013): Тез. докл. Межвузовская научно-техническая конференция аспирантов и студентов. – Иваново, 2013. - С. 145.

60. Капитанов, В.В. К расчету параметров устройства аэросъема остаточного слоя волокон с гарнитуры приемного барабана [Текст] / В. В. Капитанов, И. Ю. Ларин, Я. М. Красик // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. - 2006. - N 5.

61. Капитанов, В. В. Математическое моделирование процесса аэродинамического съема остаточного слоя волокон с зубьев гарнитуры приемного барабана [Текст] / В. В. Капитанов [и др. ] // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. - 2006. - № 1. - С. 41-43

62. Красик, Т.Я. Общая теория движения волокнистых материалов в шахте бункерных питателей [Текст] / Т.Я. Красик, А.Г. Хосровян, Г.А. Хосровян // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – Иваново, 2011. – №1, С. 75–79.

63. Хосровян, И.Г. Разработка теории выравнивающей способности устройства для получения многослойных волокнистых материалов / И.Г. Хосровян, А.Г. Хосровян А.Г. Красик Т.Я. Хосровян Г.А. // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – Иваново, 2013, № 6. - С. 79-82

64. Тувин, М.А. Математическое моделирование процесса движения волокнистой смеси в бункерном питателе с переменной площадью поперечного сечения шахты / М.А. Тувин, И.Г. Хосровян, Т.Я. Красик, А.А. Тувин, Г.А. Хосровян // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – Иваново, 2015. - №2. - С. 83-87.

65. Хосровян, И.Г. Исследование выравнивающей способности устройства для получения многослойных волокнистых материалов / И.Г. Хосровян, Т.Я. Красик, Г.А. Хосровян // Молодые ученые - развитию текстильной и легкой промышленности (ПОИСК – 2014): сборник материалов межвузовской научно-технической конференции аспирантов и студентов. – Иваново, 2014. - С. 163.

66. Хосровян, И.Г. Разработка методики моделирования процесса выравнивания настила в бункере при подготовке волокнистых смесей к аэродинамической рассортировке / И.Г. Хосровян, М.А. Тувин, Г.А. Хосровян // Инновации молодежной науки: сборник материалов всероссийской научной конференции молодых ученых (статья). - Санкт-Петербург, 2015. - С. 56-59.

67. Деденко, Л.Г. Математическая обработка и оформление результатов эксперимента [Текст] / Л.Г. Деденко, В.В. Керженцев.- М.: Изд. МГУ, 1977. - 112 с.

68. Ларин, И.Ю. Теоретическое исследование параметров устройства аэросъема остаточного слоя волокон с гарнитуры приемного барабана [Текст] / И.Ю. Ларин [и др. ] // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. – Иваново, 2007. - № 4 (299). - С. 28-29.

69. Слёзкин, Н.А. Динамика вязкой несжимаемой жидкости / Н.А. Слезкин. - М.: Государственное издательство технико-теоретической литературы, 1955. - 521 с.

70. Хосровян, И.Г. Аэродинамический съём текстильных отходов с пильчатой гарнитуры при разволокнении: моделирование процесса / И.Г. Хосровян, Т.Я. Красик, Г.А. Хосровян // Современные технологии и оборудование текстильной промышленности «Текстиль XXI»: Тез. докл. всероссийской научной студенческой конференции. - Москва, 2011. - С. 42.

71. Красик, Т.Я Компьютерное моделирование процесса аэродинамической сепарации волокон и сорных частиц при производстве нетканых материалов / Т.Я. Красик, И.Г. Хосровян, А.Г. Хосровян, Г.А. Хосровян // Молодые ученые - развитию текстильной и легкой промышленности (ПОИСК – 2011): сборник материалов межвузовской научно-технической конференции аспирантов и студентов. – Иваново, 2011. - С. 192.

72. Хосровян, И.Г. Моделирование процесса аэродинамического съёма фрагментов текстильных отходов с пильчатых барабанов разволокняющего оборудования / И.Г. Хосровян, Т.Я. Красик, Г.А. Хосровян // Тез. докл. Всероссийской научной конференции молодых ученых «Инновации молодежной науки». - Санкт-Петербург, 2011. - С . 239.

73. 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.

74. Павлов, Г.Г. Применение аэродинамики в технологических процессах текстильной промышленности [Текст] : обзор / Г.Г. Павлов. - м-во лег. пром-сти СССР, Центр. науч.исслед. инт информ. и техн.экон. исслед. лег. Пром-сти. - М.: 1972. - 86 с.

75. Слезкин, Н.А. Динамика вязкой несжимаемой жидкости / Н.А. Слезкин. - М.: ГИТТЛ, 1955. - С. 519.

76. Лойцянский, Л.Г. Механика жидкости и газа. Наука / Л.Г. Лойцянский. 1973. - 848 с.

77. 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.

78. Хосровян, И.Г. Совершенствование процессов разрыхления и очистки полуфабриката с целью повышения качества пневмомеханической пряжи / И.Г. Хосровян, А.М. Мулов, О.Н. Кушаков, Г.А. Хосровян // Молодые ученые - развитию текстильной и легкой промышленности (ПОИСК – 2011): сборник материалов межвузовской научно-технической конференции аспирантов и студентов. – Иваново, 2011. - С. 191.

79. Хосровян, А.Г. Совершенствование процесса подготовки полуфабрикатов для производства нетканых материалов по гидроструйной технологии / А.Г. Хосровян, В.В. Сорокин, И.Г. Хосровян, Т.Я. Красик, Г.А. Хосровян // Молодые ученые - развитию текстильной и легкой промышленности (ПОИСК – 2011): Тез. докл. Межвузовская научно-техническая конференция аспирантов и студентов. – Иваново, 2011. - С. 193

80. Хосровян, А.Г. Совершенствование процессов очистки и обеспыливания клочков текстильных волокон в зонах транспортировки с целью повышения качества пряжи для бельевого трикотажа / А.Г. Хосровян, А.А. Тологов, И.Г. Хосровян Т.Я. Красик, Г.А. Хосровян // Молодые ученые - развитию текстильной и легкой промышленности (ПОИСК – 2011): Тез. докл.

Межвузовская научно-техническая конференция аспирантов и студентов. – Иваново, 2011. - С. 194.

81. Хосровян, И.Г. Математическое моделирование динамического воздействия на волокнистые комплексы в процессе их разрыхления на УНИКлин Б11 фирмы RIETER / И.Г. Хосровян, А.С. Мкртумян, Т.Я. Красик, Г.А. Хосровян // Молодые ученые - развитию текстильной и легкой промышленности (ПОИСК – 2013): сборник материалов межвузовской научно-технической конференции аспирантов и студентов. – Иваново, 2013. - С. 144.

82. Хосровян, И.Г. Развитие теории и разработка нового оборудования для осуществления процессов разрыхления и очистки волокнистых материалов / И.Г. Хосровян, А.Г. Хосровян, Т.Я. Красик, Г.А. Хосровян // Современные наукоемкие технологии и перспективные материалы текстильной и легкой промышленности (ПРОГРЕСС – 2013): сборник материалов Международной научно-технической конференции. – Иваново, 2013. - С. 8-9.

83. Хосровян, И.Г. Математическое моделирование динамического воздействия рабочих органов модернизированного осевого очистителя на волокнистый материал / И.Г. Хосровян, А.С. Мкртумян, Т.Я. Красик, Г.А. Хосровян // Современные наукоемкие технологии и перспективные материалы текстильной и легкой промышленности (ПРОГРЕСС – 2013): сборник материалов Международной научно-технической конференции. – Иваново, 2013. - С. 9-11.

84. Хосровян, И.Г. Исследование механики взаимодействия волокнистых комплексов с рабочими органами разрыхлителя / И.Г. Хосровян, А.А. Тувин, А.С. Опокин // Молодые ученые - развитию текстильной и легкой промышленности (ПОИСК – 2014): сборник материалов межвузовской научно-технической конференции аспирантов и студентов. – Иваново, 2014. - С. 162-163.

85. Хосровян, И.Г. Теоретические исследования механики взаимодействия волокнистых комплексов с различными по конфигурации рабочими элементами барабанов разрыхлителей / И.Г. Хосровян // Студенты и молодые

ученые КГТУ – производству: материалы 66-й межвузовской научно-технической конференции молодых ученых и студентов. - Кострома, 2014. - С. 8.

86. Хосровян, И.Г. Математическое моделирование движения волокнистого комплекса на колке барабана разрыхлителя / И.Г. Хосровян, Т.Я. Красик, Г.А. Хосровян // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – Иваново, 2013. - № 4. - С. 85-88.

87. Фрейман, С.М. Основная теория очистки на разрыхлителе Шерли / С.М. Фрейман // Научно-исследовательские труды института Шарли. 1956.

88. Зирш, Э. Значение элементов колосниковых решеток хлопкоочистительных агрегатов для отделения сора / Э. Зирш // *Textilpraxis International*. – 1980. - №10 – С. 1180-1189.

89. Пат. СССР № 1608255. Способ определения разрыхленности волокнистого материала // З.И. Куликова, Г.Г. Павлов. 1990.

90. Хосровян, И.Г. Экспериментальное исследование массы и скорости витания клочков волокон при съеме с гарнитуры пильчатого барабана / И.Г. Хосровян, Т.Я. Красик, Г.А. Хосровян // Молодые ученые - развитию текстильной и легкой промышленности (ПОИСК – 2011): сборник материалов межвузовской научно-технической конференции аспирантов и студентов. – Иваново, 2011.

91. Higushi, K., Katzu, T., Aero-dynamical properties of textile fibres. *J. of the Textile Machinery Society of Japan*, 1961, V. 13, № 11.

92. Матвеев, Н.М. Методы интегрирования обыкновенных дифференциальных уравнений / Н.М. Матвеев. - М.: Лань, 2003. - 832 с.

93. Бронштейн, И.Н. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов / И.Н. Бронштейн, К.А. Семендяев. - М.: Наука, 1981. - 720с.

194. Пат. 119344 Российская Федерация Дискретизирующее устройство пневмомеханической прядильной машины / Т.Я. Красик, Г.А. Хосровян, И.Г. Хосровян. - Оpubл. 20.08.2012.

95. Пат. 111141 Российская Федерация. Устройство для определения крутки пряжи в роторе пневмомеханической прядильной машины / Т.Я. Красик, И.Г. Хосровян, Г.А. Хосровян. - Оpubл. 10.12.2011.

96. Иванов, С.С. Технический контроль в хлопкопрядении / С.С. Иванов, О.А. Филатова. – М: Легкая индустрия, 1978.

97. Губина, С.М. О методике определения содержания котонина в смесях с другими целлюлозными волокнами / С.М. Губина, А.П. Морыганов, В.Г. Стокозенко // Текстильная химия. -1997. - № 1.

98. Тихомиров, В.Б. Планирование и анализ эксперимента / В.Б. Тихомиров. - М: Легкая индустрия, 1974.

99. Виноградов, Ю.С. Математическая статистика и ее применение в текстильной и швейной промышленности / Ю.С. Виноградов. - М.: Легкая индустрия, 1970.

100. Семесенко, М.П. Методы обработки и анализа измерений в научных исследованиях / М.П. Семесенко. – Киев, Донецк: Высшая школа, 1983. - 189с.

101. Скуланова, Н.С. Исследование свойства расширения волокнистых материалов / Н.С. Скуланова // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – Иваново, 1994, - №1. - С. 5-10.

102. Кукин, Г.Н. Текстильное материаловедение, II часть / Г.Н. Кукин, А.Н. Соловьев. - М.: Легкая индустрия, 1964. – 378 с.

103. Пустыльник, Е.И. Статистические методы анализа и обработки наблюдений / Е.И. Пустыльник. — М.: Наука, 1968. – 298 с.

104. Семесенко, М.П. Методы обработки и анализа измерений в научных исследованиях / М.П. Семесенко. – Киев, Донецк: Высшая школа, 1983. – 189 с.

105. Герасимович, А.И. Математическая статистика / А.И. Герасимович // Учебн. пособие для инж. техн. и экон. спец. вузов. 2-е изд. перераб. и доп. - Минск: Выш. шк., 1983. – 279 с, ил.

106. Иванова, В.М. Математическая статистика / В.М. Иванова, В.Н. Калинина, Л.А. Нешумова, И.О. Решетникова // 2-е изд, пер. и доп. - М.: Высшая школа, 1981. – 371 с.
108. Карякин, Л.Б. Прядение льна и химических волокон: Справочник / Л.Б.Карякин, Л.Н. Гинзбург. - М.: Легпромбытиздат, 1991. – 554 с.
109. Беркович, Н.Ю. Шерстоткачество / Н.Ю. Беркович и др. - М.: Легкая индустрия, 1982.
110. Бершев Е.Н., Смирнов Г.П., Заметта Б.В., Назаров Ю.П. Корнеев В.Н. Справочник. Нетканые текстильные полотна. - М.: Легкая промышленность и бытовое обслуживание. 1987.-400 с.
111. Бершев, Е.Н. Технология производства нетканых текстильных материалов / Е.Н. Бершев. - М.: Легкая промышленность и бытовое обслуживание, 1982. – 467 с.
112. Бурдюков, А.В. Механическая технология производства нетканых материалов. / А.В. Бурдюков, Г.Н. Петухов // Учебник. – М.: Легпромбытиздат, 1989. – 336 с.
113. Горчакова, В.М. Оборудование для производства нетканых материалов. Часть I. / В.М. Горчакова, А.П. Сергеенков, Т.Е. Волощик // Учебное издание. МГТУ им. А.Н. Косыгина ООО «Совъяж Бево». – М: 2006. – 680 с.
114. Горчакова, В.М. Оборудование для производства нетканых материалов. Часть II. / В.М. Горчакова, А.П. Сергеенков, Т.Е. Волощик // Учебное издание. МГТУ им. А.Н. Косыгина ООО «Совъяж Бево». – М: 2006. – 680 с.
115. Хосровян, И.Г. Разработка и исследование оборудования для производства многослойных волокнистых материалов / И.Г. Хосровян, М.А. Тувин, Г.А. Хосровян // XII-я Международная научно-техническая конференция. Современные инструментальные системы, информационные технологии и инновации. - Курск, 2015. - С. 56-60.
116. Хосровян, И.Г. Разработка способа и математическое моделирование процесса получения текстильных армированных материалов / И.Г. Хосровян // Физика волокнистых материалов: структура, свойства, наукоемкие

технологии и материалы (SMARTEX-2015): сборник материалов XVIII международного научно-практического форума - Иваново, 2015. - С. 146-148.

117. Хосровян, И.Г. Уточнение математической модели аэродинамического съема волокнистых комплексов с зубьев вращающихся пильчатых барабанов / И.Г. Хосровян, А.А. Тувин А.С. Опокин, Суворова А.С. // Молодые ученые - развитию текстильной и легкой промышленности (ПОИСК – 2015): сборник материалов межвузовской научно-технической конференции аспирантов и студентов. - Иваново, 2015. – С. 226.

119. Баринов, В.А. Бизнес-планирование: Уч. пособие. – 3-е изд. – М.: ФОРУМ, 2009. – 256 с.

120. Бизнес-планирование: Учебник для вузов/ Под ред. В.М Попова, С.И. Ляпунова, С.Г. Млодика. – М.: Финансы и статистика, 2012. – 816 с.

121. Головань, С.И. Бизнес-планирование / С.И. Головань – М.: Феникс, 2009. – 320 с.

122. Липсиц, И.А. Бизнес-план – основа успеха: Практическое пособие / И.А. Липсиц – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Дело, 2012. – 112 с.

123. Маркова, В.Д. Бизнес-планирование / В.Д. Маркова, Н.А. Кравченко.- М.: Проспект, 2009. – 216 с.

124. Морошкин, В. А. Бизнес-планирование: учебное пособие / В. А. Морошкин, В. П. Буров. – М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2009. – 256 с. – (Профессиональное образование).

125. Морошкин, В. А. Бизнес-планирование: Учебное пособие / В.А. Морошкин, В. П. Буров. – М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2009. – 256 с.

126. Орлова, Е.Р. Бизнес-план: основные проблемы и ошибки, возникающие при его написании / Е.Р. Орлова. – 2-е изд., испр. и доп. – Омега-Л, 2012. – 152 с.

127. Петухова, С.В. Бизнес – планирование / С.В. Петухова.- М.: Омега – Л, 2009. – 236 с.

128. Платонова, Н.А. Планирование деятельности предприятия / Н.А. Платонова, Т.В. Харитонова. – М.: Дело и сервис, 2005. – 432 с.

129. Попов, В.Н. Бизнес – планирование / В.Н. Попов, С.И. Ляпунов.- М.: Финансы и статистика, 2009. – 246 с.
130. Просветов, Г. И. Бизнес-планирование: задачи и решения: учебно-практическое пособие / Г. И. Просветов. – 2-е изд., доп. – М. : Альфа-Пресс, 2008. – 255 с.
131. Райзберг, Б. Современный экономический словарь: учеб. пособие для студентов вузов/ Лозовский Л., Стародубцева Е.- М.: ИНФРА-М , 2006.- 479 с.
132. Сборник бизнес-планов с комментариями и рекомендациями / Под ред. В.М. Попова. – М.: Финансы и статистика, 2012. – 488 с.
133. Сборник бизнес-планов: практическое пособие / ред. Ю. Н. Лапыгин. – М.: Омега-Л, 2012. – 310 с.
134. Составление бизнес-плана: нормы и рекомендации.- М.: Книга сервис, 2012. – 346 с.
135. Уткин, Э.А. Бизнес-план компании / Э.А Уткин.- М.: Изд-во «ЭКМОС», 2012. – 102 с.
136. Черняк, В.З. Бизнес планирование: Учебник для вузов.- М. ЮНИТИ-ДАНА, 2010. – 470 с.
137. Шевчук, Д.А. Бизнес-планирование: учеб. пособие / Д.А. Шевчук. – Ростов н/Д.: Феникс, 2010. – 208 с.

**ПРИЛОЖЕНИЕ 1**

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2471897

**СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ МНОГОСЛОЙНЫХ  
ВОЛОКНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ И УСТРОЙСТВО ДЛЯ  
ЕГО ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ**

Патентообладатель(ли): *Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Ивановская государственная текстильная академия" (ИГТА) (RU)*

Автор(ы): *см. на обороте*

Заявка № 2011131281

Приоритет изобретения 26 июля 2011 г.

Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Российской Федерации 10 января 2013 г.

Срок действия патента истекает 26 июля 2031 г.

*Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности*

*Б.П. Симонов*

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ (19) **RU**(11)**2471897**(13) **C1**(51) МПК  
**D01G25/00** (2006.01)

**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ  
СОБСТВЕННОСТИ,  
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ  
ЗНАКАМ**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21), (22) Заявка: **2011131281/12, 26.07.2011**(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
**26.07.2011**

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: **26.07.2011**(45) Опубликовано: **10.01.2013**(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: **RU 14736 U1, 20.08.2000. RU 2361022 C1, 10.07.2009. SU 1687658 A1, 30.10.1991. SU 716527 A3, 15.02.1980. US 20090276978 A1, 12.11.2009.**

Адрес для переписки:

**153000, г.Иваново, пр. Ф. Энгельса, 21,  
ком.Г-359, ИГТА, проректору по научной  
работе**

(72) Автор(ы):

**Хосровян Гайк Амаякович (RU),  
Хосровян Армен Гайкович (RU),  
Красик Татьяна Яковлевна (RU),  
Хосровян Илья Гайкович (RU),  
Жегалина Татьяна Васильевна (RU)**

(73) Патентообладатель(и):

**Государственное образовательное учреждение высшего  
образования "Ивановская государственная текстильная а**

**(54) СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ МНОГОСЛОЙНЫХ ВОЛОКНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ И УСТРОЙСТВО  
ДЛЯ ЕГО ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ**

(57) Реферат:

Изобретение относится к способу получения многослойных волокнистых материалов и устройству для его осуществления. Способ заключается в направленном перемещении волокнистого материала под воздействием воздушных потоков и распределении по зонам, при этом в распределительной камере создаются внутренние воздушные потоки, направленные в зону формирования волокнистых слоев с разделением первых на составляющие, в зону сороудаления и в зону обеспыливания. Устройство содержит бункер, подающие валы, питающие цилиндры, пильчатый барабан, сороотбойный нож, неподвижный чешущий сегмент и камеру распределения с установленным на выходе узлом для формирования волокнистых слоев. При этом на боковых стенках бункера выполнена перфорация с пневмоотсосом, а камера распределения выполнена с сечением в виде прямоугольного треугольника, по одному из катетов которого на стенке камеры имеется перфорация, связанная с пневмоотсосом, а по другому катету расположен узел для формирования волокнистых слоев, при этом в нижнем углу треугольника камеры расположен узел сороудаления. Изобретение позволяет повысить однородности получаемых в результате рассортировки смеси настилов по физико-механическим свойствам с одновременным снижением их неровноты по толщине. 2 н.п. ф-лы, 2 ил.

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



**ПАТЕНТ**

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 119344

**ДИСКРЕТИЗИРУЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО  
ПНЕВМОМЕХАНИЧЕСКОЙ ПРЯДИЛЬНОЙ МАШИНЫ**

Патентообладатель(ли): *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Ивановская государственная текстильная академия" (ИГТА) (RU)*

Автор(ы): *см. на обороте*

Заявка № 2012115067

Приоритет полезной модели **16 апреля 2012 г.**

Зарегистрировано в Государственном реестре полезных моделей Российской Федерации **20 августа 2012 г.**

Срок действия патента истекает **16 апреля 2022 г.**

*Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности*

*Б.П. Симонов*



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ (19) **RU**(11)**119344**(13) **U1**(51) МПК  
**D01H4/00** (2006.01)

**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ  
СОБСТВЕННОСТИ,  
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ  
ЗНАКАМ**

(12) ПАТЕНТ НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

(21), (22) Заявка: **2012115067/12, 16.04.2012**(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
**16.04.2012**

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: **16.04.2012**(45) Опубликовано: [20.08.2012](#)

Адрес для переписки:

**153000, г.Иваново, пр. Ф. Энгельса,  
21, проректору по научной работе,  
ком.Г-359**

(72) Автор(ы):

**Красик Татьяна Яковлевна (RU),  
Хосровян Гайк Амаякович (RU),  
Хосровян Илья Гайкович (RU)**

(73) Патентообладатель(и):

**Федеральное государственное бюджетное об-  
разование высшего профессионального образова-  
тельная текстильная академия" (ИГТА)**

**(54) ДИСКРЕТИЗИРУЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО ПНЕВМОМЕХАНИЧЕСКОЙ ПРЯДИЛЬНОЙ МАШИНЫ**

Формула полезной модели

Дискретизирующее устройство пневмомеханической прядильной машины, содержащее расчесывающий барабанчик, питающий столик, питающий валик, сороотводящий, транспортирующий каналы и входной канал для подачи воздуха, отличающееся тем, что поперечное сечение входного канала имеет вогнутую симметричную форму, причем ширина сечения в средней его части относится к ширине отверстия в верхней и нижней его частях как 2:3, на нижней и верхней стенках сороотводящего канала в максимальном приближении к рабочей поверхности расчесывающего барабанчика одно над другим выполнены щелевидные отверстия.

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**ПАТЕНТ**

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 111141

**УСТРОЙСТВО ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КРУТКИ ПРЯЖИ В  
РОТОРЕ ПНЕВМОМЕХАНИЧЕСКОЙ ПРЯДИЛЬНОЙ  
МАШИНЫ**

Патентообладатель(ли): *Государственное образовательное  
учреждение высшего профессионального образования  
"Ивановская государственная текстильная академия" (ИГТА)  
(RU)*

Автор(ы): *см. на обороте*

Заявка № 2011131585

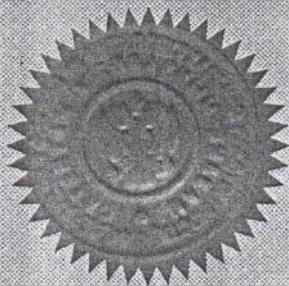
Приоритет полезной модели 27 июля 2011 г.

Зарегистрировано в Государственном реестре полезных  
моделей Российской Федерации 10 декабря 2011 г.

Срок действия патента истекает 27 июля 2021 г.

*Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной  
собственности, патентам и товарным знакам*

*Б.П. Симонов*



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,  
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(19) RU<sup>(11)</sup>

(51) МПК

*D01H4/08* (2006.01)*G01N33/36* (2006.01)111141<sup>(13)</sup>

U1

## (12) ПАТЕНТ НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

(21), (22) Заявка: **2011131585/12, 27.07.2011**(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
**27.07.2011**

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: **27.07.2011**(45) Опубликовано: [10.12.2011](#)

Адрес для переписки:

**153000, г.Иваново, пр. Ф. Энгельса, 21, ком.Г-359,  
ИГТА, проректору по научной работе**

(72) Автор(ы):

**Красик Татьяна Яковлевна (RU),  
Хосровян Илья Гайкович (RU),  
Хосровян Гайк Амаякович (RU)**

(73) Патентообладатель(и):

**Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Ивановская государственная текстильная академия" (ИГТА) (RU)**

## (54) УСТРОЙСТВО ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КРУТКИ ПРЯЖИ В РОТОРЕ ПНЕВМОМЕХАНИЧЕСКОЙ ПРЯДИЛЬНОЙ МАШИНЫ

## Формула полезной модели

Устройство для определения крутки пряжи в роторе пневмомеханической прядильной машины, содержащее средства для наблюдения за технологическим процессом и получения визуальной информации о нем, отличающееся тем, что средство для наблюдения за технологическим процессом представлено в виде видеокамеры, на оси ротора со стороны, обращенной к камере, установлена линза, соосно ей последовательно размещены видеокамера, видеопередатчик телесигнала и антенна, при этом устройство по радиоканалу связано с видеоприемником, по изображению которого судят о крутке пряжи.

**ПРИЛОЖЕНИЕ 2**

**Общество с ограниченной ответственностью**  
**«СпецПошив-Иванов»**  
ИНН 3702711064 КПП370201001  
Адрес:153021, г.Иваново, ул.Гаражная, д.12/5

19.11.2015

АКТ

об использовании результатов научно-исследовательской  
работы при производстве защитных рукавиц

Фирма ООО «СпецПошив-Иванов» является производителем защитных рукавиц.

Аспирант ТИ ИВГПУ Хосровян И.Г. предоставил нашей фирме для изготовления защитных суконных рукавиц разработанный им согласно патенту РФ № 2471897 от 10.01.2013 «Способ получения многослойных волокнистых материалов и устройство для его осуществления» композиционный материал «под сукно» (70% шерсть, 30% ПЭ) ширина 150 см, плотность 700 гр/м<sup>2</sup>.

У разработанного Хосровяном И.Г. композиционного материала хороший товарный вид, ширина и поверхностная плотность соответствуют заявленным. Структура разработанного композиционного материала не повлияла на процесс раскроя и пошива. Изделия из данного материала по качественным показателям и хорошему товарному виду соответствуют аналогам.

Директор



Иванова Г.Б.

**ООО "ТК ГАМТЕКС"**

ИНН 3702670869 КПП 370201001  
153006, г. Иваново, пер. Инженерный, д. 3  
(4932) 41-16-94

19.11.2015

Ивановский Государственный  
Политехнический Университет  
Ректору  
Алюяну Р.М.

АКТ  
о внедрении результатов научно-исследовательской  
работы в рабочий процесс

Аспирант ТИ ИВГПУ Хосровян И.Г. разработал композиционный материал «под сукно» (70% шерсть, 30% ПЭ) ширина 150 см, плотность 700 гр/м<sup>2</sup> и предоставил его нашей фирме для пошива суконных рукавиц.

Предоставленный материал весьма успешно прошел проверку и был рекомендован к использованию в качестве материала для изготовления суконных рукавиц.

Директор



A handwritten signature in blue ink, appearing to be "A.M. Grigoryan".

А.М. Григорян

ООО «Интер»  
г. Иваново ул. Смирнова д.80А  
тел. 8 910 989 2929  
факс 8 (4932) 30-49-92  
e-mail: 304992@mail.ru

ИНН 3702002188 КПП 370201001  
ОГРН 1153702001056  
АКБ "Кранбанк" (ЗАО) г. Иваново  
БИК 042406738  
к/с 30101810200000000738  
н/с 40702810100000002544

## Швейное предприятие «Интер»

Исх. № 053 от 15.12.2015

Ивановский Государственный  
Политехнический Университет  
Ректору  
Алояну Р.М.

### АКТ о внедрении результатов научно-исследовательской работы в рабочий процесс

Данным письмом подтверждается, что аспирант ТИ ИВГПУ Хосровян И.Г. разработал композиционный материал «под сукно» (70 % шерсть, 30 % ПЭ) ширина 150 см, плотность 700 гр/м<sup>2</sup> и предоставил его нашей фирме для пошива рукавиц и вачег.

Разработанный Хосровяном И.Г. материал не уступает своим аналогам и обладает всеми необходимыми свойствами для пошива и дальнейшей реализации продукции от повышенных температур.



Директор ООО «Интер» \_\_\_\_\_ Кулик А. В.

Текстиль для дома и не только



**ООО «ЛИТЕКС»**

ОГРН 1053701162184 ИНН 3702077497 КПП 370201001  
Адрес: г. Иваново, ул. Наговицыной-Икрянистовой, д. 6

---

## АКТ

о внедрении результатов научно-исследовательской  
работы в рабочий процесс

Фирма ООО «ЛИТЕКС» является производителем спецодежды и защитных рукавиц.

Аспирант ТИ ИВГПУ Хосровян И.Г. разработал композиционный материал «под сукно» (70% шерсть, 30% ПЭ) ширина 150 см, плотность 700 гр/м<sup>2</sup> и предоставил его нашей фирме для пошива суконных рукавиц.

Разработанный Хосровяном И.Г. материал был проверен и использован для пошива рукавиц. Изделия из данного материала получились качественными, что говорит о том, что разработанный Хосровяном И.Г. материал не уступает своим аналогам.

Директор



В.В. Айрапетян

27.10.15г.

**ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ**  
**«ИСКРА»**

ИНН/КПП 3705065563/370501001; ОГРН 1123705000011;

*Юридический адрес: 155520, Ивановская область, г. Фурманов, ул. Социалистическая, 2*

*Почтовый адрес: 155520, Ивановская область, г. Фурманов, ул. Социалистическая, 2*

**А К Т**  
**ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ РЕЗУЛЬТАТОВ**  
**НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ**

Аспирант ИВГПУ Хосровян И.Г. предоставил разработанный им нетканый армированный материал «под сукно» (70% шерсть, 30% ПЭ) шириной 150 см, плотностью 700 гр/м<sup>2</sup> нашей организации в количестве 50 пог. м. С данным материалом Хосровян И.Г. предоставил акт испытаний ФГУП «ИВНИИПИК ФСБ России ИЦ «Полматекс», в котором подтверждались заявленные аспирантом физико-механические характеристики.

Разработанный Хосровяном И.Г. материал использовался вместо типового сукна для пошива костюма металлурга и рукавиц. Материал, благодаря его ширине, удобен и экономичен в раскрое. Изделия из данного материала получились с хорошим товарным видом, наравне с аналогами, и, благодаря получившейся расчетной более низкой цене, по сравнению с ценой из типового сукна, вызвали особый интерес у наших клиентов.

Таким образом, разработанный Хосровяном И.Г. нетканый армированный материал «под сукно» может быть рекомендован для производства швейной продукции специального назначения.

Директор производства



О.В. Преображенская

23.12.15

«УТВЕРЖДАЮ»

Коммерческий директор  
 ООО «ПК «ИВСПЕЦПОШИВ»  
 Г.Ю. Вопрючкова  
 2016 г.



**А К Т**  
**ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ РЕЗУЛЬТАТОВ**  
**НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ**

Мы, нижеподписавшиеся: с одной стороны представители ООО «ПК «ИВСПЕЦПОШИВ», с другой стороны аспирант Хосровян И.Г., Ивановского государственного политехнического университета, подтверждаем, что Хосровян И.Г. разработал и изготовил армированный нетканый материал «под сукно» (50 % шерсть, 50 % ПЭ) ширина 150 см, плотность 720 гр/м<sup>2</sup> в соответствии с физико-механическими показателями, представленными в таблице, в количестве 32 метров, а наша фирма изготовила из него костюмы сварщика.

Армированный материал «под сукно», разработанный и изготовленный Хосровяном И.Г., по своим физико-механическим показателям соответствует своим аналогам и обладает всеми необходимыми свойствами как для пошива, так и для дальнейшей эксплуатации швейной продукции в условиях повышенных температур.

Таким образом, выше указанный материал может быть рекомендован для производства швейной продукции специального назначения, а именно, для изготовления костюма сварщика.

Таблица - Результаты испытаний

Условный номер образца, вид образца	Наименование показателя, единица измерения	Фактическое значение показателя	Нормативное значение показателя
Полотно нетканое полшерстяное «под сукно»	Состав сырья, %	ПЭ-50,4 Шерсть-49,	Не менее 20
	Поверхностная плотность, г/м <sup>2</sup>	720	760-20
	Разрывная нагрузка, Н		
	Размер полоски 50×100мм		
	-основа	506	519
	-уток	460	470
	Разрывное удлинение, %		
	-основа	28	30
	-уток	34	36

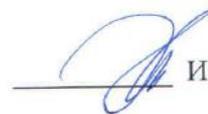
От ООО «ПК «ИВСПЕЦПОШИВ»:

мастер производства


 Е.Ю. Коростелева

От ИВГПУ:

аспирант


 И.Г. Хосровян

«УТВЕРЖДАЮ»



Проректор по учебной работе  
Ивановского государственного  
политехнического университета,  
к.э.н., доц.  
В.В. Шутенко

2016 г.

## АКТ

о внедрении результатов научно-исследовательской  
работы в учебный процесс

Мы, нижеподписавшиеся: с одной стороны декан факультета механики и автоматики, зав. кафедрой ТМО, д.т.н, доц. А.А. Тувин, с другой стороны аспирант И.Г. Хосровян подтверждаем, что в период с сентября 2014года по июнь 2015 года в учебный процесс были внедрены результаты диссертационной работы по теме «Повышение эффективности процессов разрыхления и разделения на фракции волокнистого потока для получения нетканых многослойных материалов», а именно: разработанный способ и оборудование для получения многослойных волокнистых материалов, характеристики разработанной технологической линии получения нетканых многослойных материалов были использованы при выполнении лабораторных и практических работ, а разработанный нетканый армированный материал «под сукно» и технология его производства - при выполнении курсовых и дипломных проектов. Кроме того, полученные результаты работы используются в лекционном материале для аспирантов по курсу «Технологические машины и оборудование текстильной и легкой промышленности».

Декан факультета  
механики и автоматики,  
д.т.н. доц.

 А.А. Тувин

Аспирант

 И.Г. Хосровян

Федеральное государственное унитарное предприятие «Ивановский научно-исследовательский институт пленочных материалов и искусственной кожи технического назначения Федеральной службы безопасности Российской Федерации»

НИИПНИК ФСБ России  
«Полматекс»  
Аккредитация RA.RU.21LK16

Испытательный центр «Полматекс»  
Аттестат аккредитации № RA.RU.21LK16  
153020, г. Иваново, ул. 12-я Сосневская, 5

**Протокол испытаний**  
№ 62-1-15/ДС от 1 декабря 2015г.  
на 2 стр.

**1. Наименование заказчика:** ОС «КОМПЛЕКС» ООО «КОМПЛЕКС»

**Заявитель:** Хосровян Илья Гайкович  
Россия, 153022, г. Иваново, Бакинский проезд, д.61, кв.16

**2. Наименование продукции, ее характеристика и обозначение**  
(код ОК 005-93, код ТН ВЭД и др.):

**Полотно нетканое полушерстяное экспериментальное**

код ОКП 83 5600  
**3. Дата получения образцов на испытания:** 27.10.2015г.

**4. Дата проведения испытания:** 18-26.11.2015г.

**5. Направление:** № 312/2 от 26.10.2015г.

**6. Количество отобранных образцов:** образец полотна- 1,0 м

**7. Программа испытаний:** ГОСТ 27542-87

**8. Климатические условия при проведении испытаний:**  
Температура воздуха + 20°C  
Относительная влажность воздуха 63%

**9. Нормативная документация, используемая для проведения испытаний:**  
ГОСТ 27542-87 Ткани суконные чистошерстяные и полушерстяные ведомственного назначения. ТУ  
ГОСТ 3811-72- Материалы текстильные. Ткани, нетканые полотна и штучные изделия.  
Методы определения линейных размеров, линейной и поверхностной плотностей  
ГОСТ 3813-72- Материалы текстильные. Ткани и штучные изделия. Методы определения  
разрывных характеристик при растяжении  
ГОСТ 4659-79- Ткани и пряжа чистошерстяные и полушерстяные. Методы химических испытаний

Протокол испытаний касается только образцов, подвергнутых испытанию.  
Протокол испытаний не может быть перепечатан частично или полностью без разрешения ИЦ.

ФГУП «ИЗНИИПК ФСБ Рос...» Стр.2 к протоколу № 62-1-15/ДС от 01.12.2015г

10. Результаты испытаний:

ИЦ «Толматекс»  
Аттестат аккредитации RA.RU 0117

Условный номер образца, вид образца	Наименование показателя, единица измерения	Фактическое значение показателя	Нормативное значение показателя
 Полотно	Состав сырья, %	ПЭ-50,4 Шерсть-49,6	Не менее 20
	Поверхностная плотность, г/м <sup>2</sup>	566	760-20
	Разрывная нагрузка, Н размер полоски 50x100мм		
	-основа	265	519 <sub>-52</sub>
	-уток	248	470 <sub>-47</sub>
Разрывное удлинение, %			
-основа	15	30 <sub>-3</sub>	
-уток	22	36 <sub>-4</sub>	

11. Перечень испытательного оборудования и средств измерений

Наименование СИ, тип (марка), заводской номер, год выпуска	Диапазон измерения	Класс точности, погрешность измерений	Свидетельство о поверке СИ, протокол аттестации ИО (номер, дата, срок действия)
Разрывная машина РМИ-250 №214	0 – 250кг	КТ1У	Св-во №266/31 от 21.01.2015 до 21.01.2016
Весы аналитические ВЛА-200 №866	0 – 200г	КТ2	Св-во №266/36 от 21.01.2015 до 21.01.2016
Весы лабораторные технические квадрантные ВЛТК-500 №225	0-500г	КТ4	Св-во №266/25 от 21.01.2015 до 21.01.2016

12. Дополнительные сведения

Исполнители: Ст. лаборант

Ответственный исполнитель: Инженер

Начальник Испытательного центра



А.Н.Глухова

О.А. Круглова

И.В.Курышева

Федеральное государственное унитарное предприятие  
 «Ивановский научно-исследовательский институт пленочных  
 материалов и искусственной кожи технического назначения  
 Федеральной службы безопасности Российской Федерации»

Испытательный центр «Полматекс»  
 Аттестат аккредитации № RA.RU.21JK16  
 153020, г. Иваново, ул. 12-я Сосневская, 5

**Протокол испытаний**  
 № 62-2-15/ДС от 3 декабря 2015г.  
 на 2 стр.

1. **Наименование заказчика:** ОС «КОМПЛЕКС» ООО «КОМПЛЕКС»

**Заявитель:** Хосровян Илья Гайкович  
 Россия, 153022, г. Иваново, Бакинский проезд, д. 61, кв. 16

2. **Наименование продукции, ее характеристика и обозначение**  
 (код ОК 005-93, код ТН ВЭД и др.):

**Полотно нетканое полушерстяное экспериментальное**

код ОКП 83 5600

3. **Дата получения образцов на испытания:** 1.12.2015г.

4. **Дата проведения испытания:** 2-3.12.2015г.

5. **Направление:** № 312/2 от 26.10.2015г.

6. **Количество отобранных образцов:** образец полотна- 1,0 м

7. **Программа испытаний:** ГОСТ 27542-87

8. **Климатические условия при проведении испытаний:**

Температура воздуха + 20°C  
 Относительная влажность воздуха 63%

9. **Нормативная документация, используемая для проведения испытаний:**

ГОСТ 27542-87 Ткани суконные чистошерстяные и полушерстяные ведомственного назначения. ТУ  
 ГОСТ 3811-72- Материалы текстильные. Ткани, нетканые полотна и штучные изделия.  
 Методы определения линейных размеров, линейной и поверхностной плотностей  
 ГОСТ 3813-72- Материалы текстильные. Ткани и штучные изделия. Методы определения  
 разрывных характеристик при растяжении  
 ГОСТ 4659-79- Ткани и пряжа чистошерстяные и полушерстяные. Методы химических испытаний

Протокол испытаний касается только образцов, подвергнутых испытанию.

Протокол испытаний не может быть перепечатан частично или полностью без разрешения ИЦ.

ФГУП «ИНИИПНИК ФСБ России» Стр. 2 к протоколу № 62-2-15/ДС от 03.12.2015г

ИЦ «Толматекс»

10. Результаты испытаний: тестат аккредитации RA.RU.017E16

Условный номер образца, вид образца	Наименование показателя, единица измерения	Фактическое значение показателя	Нормативное значение показателя
	Состав сырья, %	Шерсть-47 ПЭ-35,3 Хлопок-17,7	Не менее 20
	Поверхностная плотность, г/м <sup>2</sup>	570	760-20
	Разрывная нагрузка, Н размер полоски 50x100мм		
	-основа	273	519 <sub>-52</sub>
	-уток	227	470 <sub>-47</sub>
Разрывное удлинение, %			
-основа	7	30 <sub>-3</sub>	
-уток	12	36 <sub>-4</sub>	

11. Перечень испытательного оборудования и средств измерений

Наименование СИ, тип (марка), заводской номер, год выпуска	Диапазон измерения	Класс точности, погрешность измерений	Свидетельство о поверке СИ, протокол аттестации ИО (номер, дата, срок действия)
Разрывная машина РМИ-250 №214	0 – 250кг	КТ1У	Св-во №266/31 от 21.01.2015 до 21.01.2016
Весы аналитические ВЛА-200 №866	0 – 200г	КТ2	Св-во №266/36 от 21.01.2015 до 21.01.2016
Весы лабораторные технические квадрантные ВЛТК-500 №225	0-500г	КТ4	Св-во №266/25 от 21.01.2015 до 21.01.2016

12. Дополнительные сведения

Исполнители: Ст. лаборант

Ответственный исполнитель: Инженер

Начальник Испытательного центра



А.Н.Глухова

О.А. Круглова

И.В.Курышева

Федеральное государственное унитарное предприятие  
 «Ивановский научно-исследовательский институт пленочных  
 материалов и искусственной кожи технического назначения  
 Федеральной службы безопасности Российской Федерации»

Испытательный центр «Полматекс»  
 Аттестат аккредитации № RA.RU.21JK16  
 153020, г. Иваново, ул. 12-я Сосневская, 5

**Протокол испытаний**  
 № 62-3-15/ДС от 13 декабря 2015г.  
 на 2 стр.

1. **Наименование заказчика:** ОС «КОМПЛЕКС» ООО «КОМПЛЕКС»

**Заявитель:** Хосровян Илья Гайкович  
 Россия, 153022, г. Иваново, Бакинский проезд, д. 61, кв. 16

2. **Наименование продукции, ее характеристика и обозначение**  
 (код ОК 005-93, код ТН ВЭД и др.):

**Полотно нетканое полушерстяное экспериментальное**

код ОКП 83 5600

3. **Дата получения образцов на испытания:** 11.12.2015г.

4. **Дата проведения испытания:** 12-13.12.2015г.

5. **Направление:** № 312/2 от 26.10.2015г.

6. **Количество отобранных образцов:** образец полотна- 1,0 м

7. **Программа испытаний:** ГОСТ 27542-87

8. **Климатические условия при проведении испытаний:**

Температура воздуха + 20°C

Относительная влажность воздуха 63%

9. **Нормативная документация, используемая для проведения испытаний:**

ГОСТ 27542-87 Ткани суконные чистошерстяные и полушерстяные ведомственного назначения. ТУ

ГОСТ 3811-72- Материалы текстильные. Ткани, нетканые полотна и штучные изделия.

Методы определения линейных размеров, линейной и поверхностной плотностей

ГОСТ 3813-72- Материалы текстильные. Ткани и штучные изделия. Методы определения

разрывных характеристик при растяжении

ГОСТ 4659-79- Ткани и пряжа чистошерстяные и полушерстяные. Методы химических испытаний

Протокол испытаний касается только образцов, подвергнутых испытанию.

Протокол испытаний не может быть перепечатан частично или полностью без разрешения ИЦ.



**ПРИЛОЖЕНИЕ 3**

# Диплом лауреата

**регионального инновационного  
конвента молодых учёных  
«Интеграция»**

Хосровян  
Илья Гайкович  
(Ивановский государственный  
политехнический университет)

**в номинации**  
«Текстильная промышленность»

Проректор  
по научной  
работе ИВГУ  
проф.  
Д.И. Польшвинный




РЕГИОНАЛЬНЫЙ ИННОВАЦИОННЫЙ КОНВЕНТ МОЛОДЫХ УЧЁНЫХ  
**ИНТЕГРАЦИЯ**

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ  
И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ПРАВИТЕЛЬСТВО ИВАНОВСКОЙ ОБЛАСТИ  
ИВАНОВСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ  
СОВЕТ МОЛОДЫХ УЧЁНЫХ ИВГУ

**Иваново**  
**23 апреля 2014 г.**



# Мечётная ГРАМОДА

НАГРАЖДАЕТСЯ  
ХОСРОВЯН ИЛЬЯ ГАЙКОВИЧ

за лучший доклад на секции  
«Инновации в машиностроении» межвузовской  
научно-технической конференции аспирантов  
и студентов «Молодые ученые – развитию  
текстильно-промышленного кластера»

(ПОИСК - 2014)

Проректор по научной работе  
Председатель секции



Петрухин А.В.  
Фомин Ю.П.

ИВАНОВО-2014



# ДИПЛОМ

**НАГРАЖДАЕТСЯ**  
**ХОСРОВЯН ИЛЬЯ ГАЙКОВИЧ**

*за лучший доклад на секции  
 «Инновации в машиностроении» межвузовской  
 научно-технической конференции аспирантов  
 и студентов «Молодые ученые – развитию  
 текстильно-промышленного кластера»  
 (ПОИСК - 2015)*

Проректор по научной работе  
 Председатель секции



Петрухин А.Б.  
 Фомин Ю.Г.

ИВАНОВО-2015



Первый выпуск ИВТУ?



**ИВАНОВСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ**

**ГРАМОТА**

**награждается**

**Хосровян  
Илья Гайкович**

**за особые успехи в учебе  
и активное участие  
в жизни университета**

Ректор,  
Член-корреспондент РААСН,  
доктор технических наук, профессор  
Почетный работник высшего  
профессионального образования РФ,  
Почетный строитель России



*Р.М. Аюян*

**Р.М. Аюян**

**2013**



# ДИПЛОМ

Награждается

**Хосровян Илья Гайкович**

За активное участие в научно-исследовательской работе.

Выражаем благодарность и личную признательность за успешное сочетание творческой работы с учебой и проявленную способность к научному исследованию. Желаем Вам новых творческих успехов.

Проректор по научной работе

д.т.н., профессор

*Жор* Н.Л. Корнилова

Председатель секции

заведующий кафедрой ТМЛ

к.т.н., доцент

*С.А. Егоров* С.А. Егоров



# ГРАМОТА

Конкурс работ молодых ученых в рамках  
Всероссийской научно-практической конференции  
с международным участием «Получение и  
модифицирование синтетических волокон и нитей  
для инновационных материалов, композитов и  
изделий»

НАГРАЖДАЕТСЯ

*Хосровян Илья Гайкович*  
(ИвГПТУ, г. Иваново)

за лучший стендовый доклад

Председатель Организационного комитета / зам. председателя  
Правительства Ивановской области *С.В. Давлетова*

Председатель Программного комитета / зав. лабораторией  
Института химии растворов РАН *А.П. Морыганов*

г. Плес, 2015г.



# ДИПЛОМ

НАТРАЖДАЕТСЯ

**Хосровян Илья Гайкович**  
(ИвГТУ, г. Ивановс)

за активное участие в работе Всероссийской научно-практической конференции с международным участием  
«Получение и модифицирование синтетических волокон и нитей для инновационных материалов, композитов и изделий»

Председатель Организационного  
Управления Ивановской области

Комитета

зам. председателя  
С.В. Давлетова

Председатель Грод. лимного комитета / зав. кафедрой  
Химии растворов им. Г.А. Крестова РАН

И.П. Морыачов

г. Плес, 2015г.