

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

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Иваново - 2016

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Ивановский государственный политехнический университет» (ФГБОУ ВО «ИВГПУ») на кафедре технологических машин и оборудования Текстильного института

Научный руководитель: **Тувин Александр Алексеевич,**
доктор технических наук, доцент,
декан факультета механики и автоматике
Текстильного института ФГБОУ ВО «ИВГПУ»

Официальные оппоненты: **Плеханов Алексей Фёдорович,**
доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры производственного
менеджмента ФГБОУ ВПО «Московский
государственный университет дизайна и
технологии»;

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

Ведущая организация: ФГБОУ ВО «Ивановский государственный
химико-технологический университет»

Защита состоится «23» июня 2016 года в 12.30 час. на заседании диссертационного совета Д 212.355.02 на базе ФГБОУ ВО «Ивановский государственный политехнический университет» по адресу: 153000, г. Иваново, пр. Шереметевский, 21, ауд. ГШ-209 (корпус Текстильного института).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГБОУ ВО «Ивановский государственный политехнический университет»: www.ivgpu.com.

Автореферат разослан « » апреля 2016 года.

Ученый секретарь
диссертационного совета Д 212.355.02
доктор технических наук, проф.



Е.Н. Никифорова

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 использования 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 заменителя 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 механики 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 настиллов 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 геометрических 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 движения 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 колос 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 математических 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 пыльчатого 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 разработанного 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 движения 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 памятным подарком 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. Результаты диссертационной работы полностью отражены в 28 печатных работах, из них количество публикаций, в которых излагаются основные научные результаты диссертации, в рецензируемых научных изданиях – 5 ("Известия вузов. Технология текстильной промышленности"), в приравненных публикациях – 3 (патент на изобретение – 1, патент на полезную модель - 2), а также опубликовано 20 тезисов и материалов докладов международных и всероссийских научно-технических конференций. Доля соискателя от 25 до 100 %.

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.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

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

В первой главе приводится анализ теоретических исследований процессов разрыхления и очистки волокнистых материалов, сравнительный анализ работы современных разрыхлителей-очистителей для волокнистых материалов, оценка инерционно-аэродинамической рассортировки волокон и сорных примесей, анализ используемых способов и оборудования для получения (производства) многослойных текстильных материалов.

Значительный вклад в развитие теории и практики подготовки полуфабриката и получения текстильной продукции внесли отечественные и зарубежные ученые. Среди них можно выделить работы А.Г. Севостьянова, И.Г. Борзунова, Н.М. Ашнина, В.Д. Фролова, Ю.В. Павлова, Ф.М. Плеханова, Р.В. Корабельникова, Г.И. Чистобородова, А.Ф. Плеханова, В.Г. Гончарова, А.Р. Корабельникова, В.И. Жукова, А.П. Башкова, В.М. Зарубина, Э. Зирш и др. Из анализа известных научных работ, посвященных теоретическому исследованию процессов разрыхления и очистки волокнистых материалов в разрыхлителях-очистителях, следует, что до сих пор не были достаточно исследованы процесс ударного воздействия рабочих элементов барабана на волокнистый комплекс в современных разрыхлителях-очистителях, процесс движения волокнистых комплексов вдоль поверхности рабочих элементов барабана, а также их сброс. Также в этих работах в недостаточной мере исследована механика волокнистого комплекса в зоне колосниковых решеток, кроме того, не учитывалось воздействие растаскивающей силы на волокнистый комплекс.

На основе анализа литературных источников установлено, что теоретические исследования и примеры практического использования инерционно-аэродинамической рассортировки волокон и сорных примесей имеют недостаточный уровень разработки данного способа и оборудования для его осуществления. Развитие теории процессов разрыхления и инерционно-аэродинамической рассортировки волокон и сорных примесей послужит базой для разработки нового способа получения многослойных волокнистых материалов и, в последующем, разработки технологии получения нетканых многослойных материалов.

Вторая глава посвящена разработке нового способа получения многослойных волокнистых материалов и теоретическим исследованиям технологических процессов, протекающих на разработанном оборудовании, осуществляющем разработанный способ, который является базовым при получении нетканых многослойных материалов.

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).

С целью минимизации неровноты слоев, производимых оборудованием для получения многослойных волокнистых материалов, рассмотрена зона питания, в которую поступает волокнистый материал.

Получена аналитическая зависимость для расчета выравнивающей способности бункерного питателя с учетом его геометрических параметров, механических свойств поступающей смеси, засоренности продукта и неровноты плотности поступающей в бункер волокнистой составляющей смеси.

На основании законов механики выведено дифференциальное уравнение движения волокнистых комплексов в камере распределения при их аэросъеме, разделении на фракции и движении в зону формирования волокнистых слоев в оборудовании, обеспечивающем разработанный способ получения многослойных волокнистых материалов:

$$\frac{dv}{dt} = (\omega^2 R_B - g)(\cos \gamma - k \sin \gamma) - g(\sin \gamma + k \cos \gamma) \left[v_a(y) - \omega(R_B - h_z + y \cos \gamma) - v \sin \gamma \right]^2 / v_{\text{sum}}^2, \quad (1)$$

где h_z - высота зуба; v_{sum} - скорость витания волокнистого комплекса;

y - координата центра масс волокнистого комплекса, отсчитываемая от основания зуба; γ - угол между осью Oy и перпендикуляром к основанию зуба; v - скорость волокнистого комплекса;

k - коэффициент трения; R_B - радиус барабана; ω - угловая скорость вращения барабана; g - ускорение свободного падения;

$v_a(y)$ - скорость воздуха.

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.

Третья глава посвящена выводу уравнений динамики волокнистых комплексов в процессе их взаимодействия с рабочими органами современных разрыхлителей-очистителей с учетом аэродинамического фактора. Данные исследования также необходимы при получении нетканых многослойных материалов на этапе подготовки полуфабриката.

Рассмотрены математические модели динамики волокнистых комплексов на следующих последовательных этапах их обработки в разрыхлителе-очистителе:

- при ударном воздействии на них колков рабочего барабана;
- при контакте с колосниковой решеткой (растаскивание).

Показано, что ударное воздействие колка на волокнистый комплекс, который моделировался как воздухопроницаемый шар радиусом $R_{\text{ком}}$ определяется силой удара колка

$$F_{y\partial} = m \frac{[\omega(R_B + h_k)]^2}{k_{y\partial} R_{ком}}, \quad (2)$$

где $k_{y\partial}$ – коэффициент, учитывающий эффект сжатия комплекса при ударе;

h_k – расстояние от барабана до центра масс волокнистого комплекса;

m – масса волокнистого комплекса; ω – угловая скорость барабана.

Разработана методика расчета сил, действующих на волокнистый комплекс, находящийся на штифте (колке) на барабане разрыхлителя-очистителя, в том числе и аэродинамических. На основе законов механики и аэродинамики выведены дифференциальные уравнения движения волокнистого комплекса вдоль штифта (колка) в связанной с ним инерциальной системе координат и аналитические зависимости, характеризующие условия наступления этого движения.

Выведена аналитическая зависимость для расчета растаскивающей силы, действующей на волокнистый комплекс массой m , который находится на колке и протаскивается по колосниковой решетке

$$F_{pac} = km[\omega^2(R_B + h_k) + g] + mgV_{ak}^2/V_{вит}^2 + F_{сопр}, \quad (3)$$

где $F_{сопр}$ – сила сопротивления, обусловленная ударным воздействием

колосников на волокнистый комплекс;

h_k – высота колка; $V_{вит}$ – скорость витания волокнистого комплекса;

V_{ak} – скорость воздуха относительно волокнистого комплекса.

Четвертая глава содержит результаты теоретических и экспериментальных исследований процесса разрыхления волокнистого материала в современных разрыхлителях-очистителях.

Разработана математическая модель векторного поля $\vec{V}_{a,U}$ – скоростей винтового воздушного потока в камере UNIClean B11. На основе анализа уравнений динамики волокнистых комплексов показано, что на конечном участке движения воздушно-волокнистого потока в UNIClean B11 (в зоне его выхода из камеры), происходит движение всех волокнистых комплексов вдоль штифтов и их дальнейший сброс, если их скорость витания превышает 0,2 м/с.

Выведено уравнение движения волокнистого комплекса вдоль колка разрыхлителя-очистителя:

$$\ddot{\varepsilon} + 0,5[A_2(\dot{\varepsilon})^2 + A_1\varepsilon + A_0] = 0, \quad (4)$$

где $\varepsilon = z - z_0$; z – координата, отсчитываемая вдоль колка от его основания;

z_0 – точка столкновения волокнистого комплекса с колком;

$A_0 = 2(-\omega^2 R_B + kgD_Y/V_{вит}^2)$; $A_1 = 2(-\omega^2 + kgE_Y/V_{вит}^2)$;

$D_Y = f_D(R_B, h_k, s, \omega, z_0)$; $E_Y = f_E(R_B, h_k, s, \omega, z_0)$ – аналитические функции;

s – разводка между колком и колосниковой решеткой.

Расчет условий движения волокнистых комплексов вдоль колка разрыхлителя-очистителя привел практически к тем же численным результатам по скорости витания, что и для UNIClean B11.

Из (4) получены аналитические зависимости для величин скорости и перемещения волокнистого комплекса по поверхности колка:

$$\dot{z}(z) = (A_2)^{-1}[(1 - \exp(-A_2(z - z_0)))(A_0 A_2 - A_1) + A_1 A_2(z - z_0)]^{-0,5}; \quad (5)$$

$$z(t) = z_0 - 0,25[A_1(z - z_0) + A_0]t^2, \quad (6)$$

где $A_2 = 2g/V_{sum}^2$.

Расчеты по формулам (5) и (6) показывают, что с увеличением радиуса барабана возрастает как скорость волокнистого комплекса по поверхности колка, так и его перемещение. То есть, увеличение радиуса барабана разрыхлителя-очистителя интенсифицирует технологическую операцию перемещения волокнистого комплекса к колосниковой решетке.

Рассмотрено движение волокнистого комплекса во вращающемся воздушном потоке в камере разрыхлителя-очистителя с помощью численного интегрирования в среде пакета Mathcad системы дифференциальных уравнений, моделирующих это движение. Расчет показал, что закрученный воздушный поток в камере осевого разрыхлителя-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. Следовательно, не только колок, но и закрученный воздушный поток в камере разрыхлителя-очистителя являются «органом» для исполнения технологической операции перемещения волокнистого комплекса к колосниковой решетке.

Показано, что при увеличении радиуса барабана разрыхлителя-очистителя СЛ-Р уменьшается как угловой сектор, в котором происходит перемещение волокнистого комплекса к колосниковой решетке, так и время, за которое он достигает колосниковой решетки.

В пятой главе представлены варианты использования в технологических линиях разработанных способа и оборудования для получения многослойных волокнистых материалов на этапе подготовки полуфабриката для производства пневмомеханической пряжи, однослойных и многослойных нетканых материалов, в том числе, армированных.

Первый вариант заключался в получении двух слоев (верхнего и нижнего). Нижний слой использовался для изготовления межвенцового утеплителя из льна поверхностной плотностью 400 г/м^2 , верхний - для изготовления хлопкольнайной пряжи 36 текс, которое осуществлялось на пневмомеханических прядильных машинах с модернизированными камерами дискретизирующих барабанчиков.

Второй вариант использования разработанного оборудования для получения многослойных волокнистых материалов заключался в получении четырехслойного волокнистого материала для наполнения одеял поверхностной плотностью 600 г/м^2 , причем внешними слоями наполнителя (первый и четвертый) являлся верхний слой, полученный на разработанном оборудовании, а внутренними слоями (второй и третий) – нижний слой, также полученный на разработанном оборудовании.

Третий вариант заключался в разработке технологической линии для получения нетканого многослойного материала «под сукно», состоящего из двух слоев шерстяных волокон и полиэфирной ткани, выполняющей функцию армирования. Из изготовленного на технологической линии нетканого многослойного материала поверхностной плотностью 700 г/м^2 была пошита партия костюмов сварщика, рукавиц, вачег и т.д.

Шестая глава посвящена оценке экономической целесообразности внедрения в производство разработанной технологической линии получения нетканых многослойных материалов, в том числе, армированных, с применением разработанных способа и оборудования для получения многослойных волокнистых материалов. Рассмотрены экономические показатели двух технологических линий получения нетканых многослойных материалов: одна линия с использованием известного технологического оборудования (контрольный вариант), другая - с использованием в технологической линии разработанного оборудования, обеспечивающего разработанный способ получения многослойных волокнистых материалов (опытный вариант). Для чистоты эксперимента рассматриваемые варианты получения нетканого многослойного материала согласованы по производственной мощности. Доказана эффективность использования разработанного способа по сравнению с контрольным вариантом, как в техническом, так и в экономическом плане. При использовании в технологической линии изготовления нетканого многослойного материала разработанных способа и оборудования для получения многослойного волокнистого материала снижается трудоемкость приготовления смеси для питания технологической линии, а также трудоемкость обслуживания оборудования: количество необходимых для обслуживания операторов снижается более чем в полтора раза. Экономический эффект от внедрения предложенной технологической линии получения нетканых многослойных материалов на основе использования разработанных способа и оборудования для получения многослойного волокнистого материала заключается в снижении первоначальных инвестиций на 2,57 %, себестоимости выпускаемого материала на 2,96 %, увеличении чистой прибыли на 7,84 % и рентабельности предприятия на 2,88 % по сравнению с традиционным способом изготовления нетканого многослойного материала. Срок окупаемости инвестиций снижается 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 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).

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 камере распределения при их аэросъеме в оборудовании, обеспечивающем разработанный способ получения многослойных волокнистых материалов. Решение уравнения связывает характеристики волокнистых комплексов, параметры гарнитуры, радиус и частоту вращения рабочего пыльчатого 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 четырехслойного наполнителя для одеял и нетканого многослойного армированного материала «под сукно».

12. Использование разработанных способа и оборудования для получения многослойных волокнистых материалов позволяет 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 %.

Рекомендации, перспективы дальнейшей разработки темы

Проведенные исследования могут служить основой:

- для модернизации современного оборудования для разрыхления и очистки волокнистого материала;
- для создания нового оборудования для разрыхления и очистки волокнистого материала;

- для разработки оборудования, совмещающего процессы подготовки (разрыхления, очистки, съема, разделения на фракции волокнистого потока, формирования волокнистых слоев и т.д.) и получения нетканых многослойных материалов, в том числе армированных;
- для проектирования технологических линий по выпуску различной текстильной продукции.

Основные научные публикации по теме диссертационного исследования

1. 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 (лично автором 2,5 с).
2. 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. – 2013. - № 4. - С. 85-88 (лично автором 2,5 с).
3. Хосровян, И.Г. Разработка теории выравнивающей способности устройства для получения многослойных волокнистых материалов / И.Г. Хосровян, А.Г. Хосровян, Т.Я. Красик, Г.А. Хосровян // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2013. - № 6. - С. 79-82 (лично автором 2,0 с).
4. 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. – 2015. - № 2. - С. 83-87 (лично автором 1 с).
5. 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 (лично автором 1 с).
6. 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 (лично автором 2 с).
7. 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 (лично автором 2 с).
8. 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 (лично автором 0,5 с).

9. 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 (лично автором 0,3 с).

10. 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. – С. 191-192 (лично автором 1 с).

11. 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 (лично автором 0,3 с).

12. 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 (лично автором 0,3 с).

13. 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. (лично автором 0,3 с).

14. 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 (лично автором 0,3 с).

15. 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 (лично автором 0,3 с).

16. 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 (лично автором 0,3 с).

17. 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 (лично автором 1,0 с).

18. 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 (лично автором 1,0 с).

19. 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 (лично автором 1 с).

20. 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.

21. 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 (лично автором 0,3 с).

22. 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 (лично автором 0,3 с).

23. 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.

24. 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 (лично автором 0,3 с).

25. 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.

26. 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.

27. Пат. 119344 Российская Федерация Дискретизирующее устройство пневмомеханической прядильной машины / Т.Я. Красик, Г.А. Хосровян, И.Г. Хосровян. - Оpubл. 20.08.2012.

28. 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.

Подписано в печать 15.04.2016

Формат 1/16 60×84. Плоская печать.

Усл. печ. л. 1,16. Уч.-изд. л. 1,11. Тираж 100 экз. Заказ № 3594

ФГБОУ ВО «Ивановский государственный политехнический университет»

Издательский центр ДИВТ

153000 г. Иваново, Шереметевский проспект, 21