

*На правах рукописи*



СТЕПАНОВА ТАТЬЯНА ЮРЬЕВНА

**ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИЯ  
ПОВЕРХНОСТНОЙ МОДИФИКАЦИИ ТЕКСТИЛЬНЫХ  
ВОЛОКНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Специальность 05.19.02 – Технология и первичная обработка  
текстильных материалов и сырья

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
доктора технических наук

Санкт-Петербург  
2013

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Ивановский государственный химико-технологический университет» и Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный университет технологии и дизайна»

Научный консультант: **Демидов Алексей Вячеславович**,  
доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты: **Киселев Александр Михайлович**,  
доктор технических наук, профессор,  
ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный университет технологии и дизайна», заведующий кафедрой «Химическая технология и дизайн текстиля»

**Одинцова Ольга Ивановна**,  
доктор технических наук, старший научный сотрудник,  
ФГБОУ ВПО «Ивановский государственный химико-технологический университет», и. о. заведующий кафедрой «Химическая технология волокнистых материалов»

**Сокова Галина Георгиевна**,  
доктор технических наук, доцент, ФГБОУ ВПО «Костромской государственной технологической академии», заведующий кафедрой «Ткачество»

Ведущая организация: Федеральное государственное учреждение науки Институт химии растворов им. Г. А. Крестова Российской академии наук

Защита состоится 25 декабря 2013 г. в 11 часов на заседании диссертационного совета Д.212.236.01 при Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении «Санкт-Петербургский государственный университет технологии и дизайна» по адресу: 191186, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 18, ауд. 241.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный университет технологии и дизайна».

Текст автореферата размещен на сайте ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный университет технологии и дизайна»: <http://www.sutd.ru>

Автореферат разослан                      ноября 2013 г.

Ученый секретарь  
Диссертационного совета



Витковская Раиса Федоровна

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы исследования.** Качество текстильных материалов и изделий в значительной степени зависит от качества переработки волокнистых полуфабрикатов и, в частности, основных нитей в ткацком производстве. Эффективность такой переработки практически полностью определяется поверхностными свойствами перерабатываемой пряжи и нитей. Природные и синтетические волокна характеризуются комплексом физико-механических, фрикционных и электрофизических показателей, многие из которых (низкая разрывная прочность, высокий коэффициент динамического трения, повышенная электризуемость и др.) затрудняют процессы текстильной переработки, делают их низкоэффективными. Это, в свою очередь, приводит к нерациональному расходованию сырья, снижению производительности ткацкого оборудования и качества выпускаемой продукции.

Решение указанной проблемы возможно и наиболее целесообразно осуществить путем физико-химической модификации поверхности текстильных волокон с использованием эмульсионных составов на основе химических соединений гидрофильного характера, обладающих поверхностно-активными свойствами. Подобная модификация позволяет решить поставленную задачу при использовании установленного базового оборудования, она отличается универсальностью по отношению к волокнам различной природы (целлюлозные, белковые, синтетические) и позволяет обеспечить выпуск высококачественных текстильных материалов, в том числе, в небольших объемах, что особенно важно для современного текстильного производства.

Необходимо отметить, что поверхностная модификация волокнистых полуфабрикатов универсальна не только по отношению к различным волокнистым субстратам, но и по направленности своего влияния на показатели их качества (прочность, эластичность, трибологические характеристики, устойчивость к истиранию и износу, электростатический эффект и др.). Существенным моментом является комплексное воздействие модифицирующих эмульсий на волокна пряжи и нитей, что дает возможность при их обработке улучшить указанные показатели. Применение оптимизированных технологий обработки ткацких основ позволяет повысить выход суровой ткани и снизить обрывность пряжи в процессе ткачества.

В процессе эмульсирования на поверхности волокон образуется адсорбционный граничный слой поверхностно-активных веществ (ПАВ) и при определенных условиях происходит их перенос на металлические поверхности деталей ткацкого станка, что предопределяет одновременную защиту полуфабрикатов и оснастки оборудования от износа. Путем варьирования состава эмульсий на основе ПАВ, возможно, целенаправленно изменять свойства поверхности текстильных волокон и, тем самым, повышать качество волокнистых полуфабрикатов, производительность ткацкого оборудования, эксплуатационные и потребительские характеристики тканей и изделий.

Таким образом, проблему создания теоретически обоснованной технологии модификации поверхности волокнистых полуфабрикатов с целью интенсификации ткацкого производства и повышения качества текстильных мате-

риалов и изделий следует считать актуальной и важной для развития отечественной текстильной промышленности.

**Степень разработанности темы диссертационного исследования.**

Основные положения теории и практики технологий модификации поверхности волокнистых материалов с участием ПАВ разработаны в трудах известных отечественных ученых: Е. Н. Бершева, В. Е. Гусева, Б. В. Дерягина, Л.Т. Золотаревского, И. В. Крагельского, Г. Е. Кричевского, В. Л. Махавера, Б. Н. Мельникова, А. Б. Пакшвера, П. М. Панина, К. Е. Перепелкина, П. А. Ребиндера, З. А. Роговина и др. В трудах этих ученых затронуты вопросы поверхностной обработки волокнистых субстратов веществами с поверхностно-активными свойствами с целью изменения их структуры, физико-механических, фрикционных и электрофизических характеристик. Однако, до сих пор не существует обоснованного научного подхода к проблеме целенаправленного регулирования качественных показателей волокнистых полуфабрикатов (основные нити и пряжа) за счет их поверхностной модификации растворами ПАВ с целью улучшения переработки и повышения качества текстильных материалов и изделий. Нет также обобщенных теорий и оценок состояния и поведения основных нитей в процессе фрикционных взаимодействий в контактной паре «нить-деталь ткацкого станка», определяющих степень их износа в процессе ткачества. До настоящего времени остается острой проблема электризуемости волокон и нитей (особенно синтетических) в процессах их механической переработки. Отсутствует единый взгляд на механизмы действия ПАВ в направлении улучшения качества подготовки волокнистых полуфабрикатов.

Теоретические и экспериментальные исследования, которые могут способствовать решению данных вопросов, следует рассматривать как определенный вклад в развитие научных представлений в области модификации полимеров и результаты которых имеют практическое значение для совершенствования процессов механической технологии текстильных волокнистых материалов.

**Цель и задачи диссертационного исследования.** Целью диссертационной работы является развитие теоретических представлений о поверхностной модификации текстильных волокнистых материалов гидрофильными эмульсионными составами с поверхностно-активными свойствами и на этой основе разработка высокоэффективного технологического процесса подготовки ткацких основ, позволяющего повысить производительность оборудования и качество выпускаемой продукции.

Для достижения поставленной цели на основе научных и технологических разработок решались следующие основные задачи:

- оценка современных представлений и существующих достижений в области модификации волокнообразующих полимеров. Анализ строения и свойств шерстяных, целлюлозных и полиэфирных волокон с точки зрения возможности их поверхностной модификации и процесса и механизма фрикционных взаимодействий основных нитей с металлической поверхностью деталей оснастки ткацкого станка;

- выделение главных факторов, влияющих на процесс переработки ткацких основ. Установление характера взаимосвязи между модифицирующей обработкой основных нитей ПАВ и текстильно-вспомогательными веществами (ТВВ) и показателями их качества (по устойчивости к истиранию, обрывности и износостойкости);

- теоретическое обоснование и выбор компонентов эмульсирующих составов, способных к образованию адсорбционных граничных слоев, влияющих на физико-механические, фрикционные и электрофизические свойства основных нитей. Оптимизация рецептуры модифицирующих эмульсионных композиций и проведение сравнительного анализа эффективности применения эмульсионных составов на основе полиэтиленгликоля (ПЭГ-400), предназначенных для целенаправленного изменения поверхностных свойств текстильных волокон и повышения качества подготовки ткацких основ с апробацией в лабораторных и производственных условиях;

- совершенствование процесса шлихтования хлопчатобумажной пряжи на основе применения низковязких растворов, содержащих ПЭГ-400 в совокупности с адгезионными и смачивающими компонентами;

- разработка методов контроля электропроводности волокнистых материалов на приборе ИЭСТВ-1М и расчета степени износа основных нитей в процессе работы ткацкого станка;

- разработка информационно-статистической модели модификации волокнистых полуфабрикатов гидрофильными эмульсиями ПАВ с комплексной оценкой качества подготовки ткацких основ;

- на базе проведенных исследований создание новых препаратов и технологий подготовки ткацких основ с их производственной апробацией и внедрением в ткацко-отделочное производство текстильных предприятий с оценкой их технико-экономической эффективности и качества выпускаемой продукции.

**Объекты исследований.** При выполнении эксперимента и проведении лабораторных и промышленных испытаний в качестве объектов исследований использовались: камвольная смесовая пряжа из шерстяных и полиэфирных волокон (18, 19, 22 и 31 текс) с соотношением волокнистых компонентов – 65:35; 55:45 и 50:50 процентов; хлопчатобумажная пряжа (16 и 25 текс) и полиэфирная комплексная нить (16.5 текс) из 50 монопитей с пневмосоединениями.

Компоненты эмульсионных составов представляли собой гидрофильные вещества спиртового характера, содержащие гидроксильные группы: полиэтиленгликоли с молекулярной массой от 400 до 1500, триэтаноламин, глицерин, смесь оксиэтилированных жирных спиртов (препарат ОС-20), этанол. В сравнительных опытах и контрольных испытаниях использовались ТВВ и ПАВ, имеющие применение на текстильных предприятиях (Авиваж НТП, Леомин ЛСН, Ворсолит ХП, замасливатели Б-73 и др.).

**Научная новизна** результатов работы заключается в обосновании научных принципов создания эмульсионных составов на основе полиэтиленгликоля (ПЭГ-400) и гидроксилсодержащих соединений с поверхностно-активными свойствами, способных к модификации поверхности волокон с образованием

адсорбционных граничных слоев, предназначенных для обработки основных нитей и пряжи из натуральных и синтетических волокон и обеспечивающих снижение их обрывности, улучшение технологических свойств и качества суровых тканей, вырабатываемых на ткацком оборудовании.

На основании выполненных теоретических и экспериментальных исследований получены следующие научные и технические результаты:

- теоретически обоснован выбор компонентов эмульсий на основе ПЭГ-400 и гидроксилсодержащих соединений дифильного строения со значением гидрофильно-липофильного баланса в интервале 7–9 с оптимальной вязкостью и высокой смачивающей способностью для подготовки и улучшения качества ткацких основ из натуральных и синтетических волокон;

- предложен механизм модифицирующего действия разработанных эмульсионных составов по отношению к поверхности волокон пряжи и нитей с созданием адсорбционно-граничных слоев с определенной ориентацией молекул ПАВ, способных к целенаправленному изменению физико-механических, фрикционных и электрофизических свойств волокнистых полуфабрикатов;

- доказано снижение электризуемости пряжи и нитей после обработки рекомендуемыми составами, вследствие гидрофилизации поверхности и повышения влагосодержания волокнистого субстрата с использованием усовершенствованной методики определения электропроводности волокнистых материалов применительно к прибору ИЭСТВ-1М;

- сформулированы основные критерии выбора компонентов композиций для обработки ткацких основ: оптимальное содержание ПАВ на волокне с обеспечением снижения значений динамического коэффициента межволоконного трения и повышения значений коэффициента тангенциального сопротивления, характеризующего сцепление волокон;

- выявлена функциональная зависимость коэффициента динамического трения и электризуемости волокнистых полуфабрикатов от строения и свойств компонентов эмульсии с поверхностно-активными свойствами;

- рассмотрен механизм и предложена методика расчета степени износа основных нитей при взаимодействии с металлическими поверхностями деталей ткацкого станка. Установлено влияние волокнистого состава на износ нитей и оценена величина потери их массы в процессе переработки;

- теоретически обоснован и разработан состав для шлихтования хлопчатобумажной пряжи и нитей на основе ПЭГ-400, обеспечивающий набухание целлюлозных волокон с увеличением их прочности и необходимое адгезионное закрепление пленки шлихты на волокнистом субстрате;

- с использованием комплексного метода оценки и ранговых показателей установлена взаимосвязь между физико-химическими свойствами эмульсирующих составов и качественными показателями процесса переработки основных нитей. Анализом регрессионных уравнений показано, что основными факторами, определяющими устойчивость основных нитей к истиранию, являются концентрация и вязкость эмульсии, а также ее количественное содержание на волокне;

- разработанные составы для обработки камвольной и хлопчатобумажной пряжи, а также полиэфирных комплексных нитей с целью улучшения качества переработки ткацких основ защищены 3 патентами РФ на изобретения.

### **Теоретическая и практическая значимость результатов работы.**

Сформулированные в диссертации теоретические положения в области модификации поверхности текстильных волокон посредством обработки гидроксилсодержащими соединениями с поверхностно-активными свойствами могут служить научно-методической базой для дальнейшего развития и совершенствования технологий модификации полимерных материалов.

В результате теоретического обобщения результатов исследования разработаны эффективные модифицирующие составы на основе полиэтиленгликоля и ПАВ, использование которых в технологиях ткацко-отделочных производств текстильных предприятий позволяет целенаправленно регулировать физико-механические, фрикционные и электрофизические характеристики пряжи и нитей с целью улучшения их переработки, снижения обрывности ткацких основ, повышения производительности ткацкого оборудования и экономии энергетических и сырьевых ресурсов.

На базе разработанных эмульсионных составов в соответствии с техническими условиями созданы новые текстильно-вспомогательные вещества «Оксилан» и «Универсал», предназначенные для улучшения качества ткацких основ, шлихтования хлопчатобумажной пряжи и антистатической отделки волокнистых и текстильных материалов, эффективность которых подтверждена результатами производственных испытаний. Разработанные ТВВ рекомендованы к расширенному практическому применению и внедрены на ряде текстильных фирм и предприятий (АООТ «Ивановский камвольный комбинат», ООО НПО «Конверсипол», ООО «Технотекс», ООО НПФ «Фабитекс» с достижением технико-экономического эффекта).

Результаты, полученные при выполнении диссертационной работы, используются в учебном процессе при подготовке специалистов по направлению 261000 «Технология и проектирование текстильных изделий».

**Методология и методы исследования.** Основанием послужили современные достижения механической и химической технологии текстильных материалов, содержащиеся в трудах отечественных и зарубежных ученых, которые занимаются изучением влияния ПАВ и ТВВ на поверхностные свойства текстильных волокон, а так же материалы специализированных журналов и нормативных документов. Для решения поставленных задач прикладного исследования применялись формально-логические методы, методы прогнозирования, экспертного оценивания. Обработка и оптимизация результатов экспериментальных исследований и испытаний проводились при использовании стандартных интегрированных программных пакетов MS Excel, а также программ Curve Expert, Stattica и др. Основными информационными источниками для исследования являлись тематические информационно-аналитические материалы, представленные в научной литературе и сети Интернет.

При выполнении работы применялся комплекс физических, физико-химических и физико-механических методов исследования, перечисленных в

обзоре второй главы.

В работе использовались приборы: ТКИ-4-26-1, ТКИ-5-27-1, ИЭСТВ-1М, ротационный вискозиметр «Реотест VR-2», разрывная машина РМ-3 и специально сконструированная установка для обработки основных нитей растворами поверхностно-активных веществ. Допускаемая суммарная погрешность результатов испытания составляет не более  $\pm 0.05$  при доверительной вероятности  $P=0.95$ .

Разработана методика расчета износа основных нитей в процессе ткачества, позволяющая определить эффективность составов текстильно-вспомогательных веществ, непосредственно влияющих на износостойкость текстильного материала.

**Положения, выносимые на защиту.** Автор защищает:

- новый подход и механизм модификации поверхности текстильных волокон с использованием эмульсионных составов на основе ПЭГ-400 и гидроксилсодержащих веществ с поверхностно-активными свойствами;
- установленные пути регулирования свойств волокнистых полуфабрикатов и ткацких основ путем подбора и оптимизации соотношения компонентов обрабатывающих эмульсионных композиций;
- композицию для шлихтования хлопчатобумажной пряжи, обеспечивающую снижение обрывности нитей на ткацком станке;
- методику расчета износа основных нитей в процессе переработки, учитывающую состав эмульсии и волокнистый состав нити и позволяющую оценить степень изнашивания волокнистого материала в конкретных условиях производственного технологического процесса;
- установленные зависимости электрофизических и фрикционных показателей от природы и концентрации ПАВ и созданные на их основе эмульсирующие составы;
- разработанные новые текстильно-вспомогательные вещества и оптимальные параметры и технологии их применения в ткацко-отделочном производстве текстильных предприятий.

**Степень достоверности и апробация результатов исследования.** Достоверность результатов диссертационного исследования подтверждается корректным использованием современных методов выполнения эксперимента и статистической обработкой полученных результатов, применением математико-статистической модели и ранговых показателей при установлении взаимосвязи между свойствами эмульсирующих составов и качеством подготовки ткацких основ, базовых теоретических представлений о свойствах ПАВ, волокнообразующих полимеров, в процессах их модификации и технологиях переработки текстильных волокнистых полуфабрикатов, а также результатами производственных испытаний и внедрения созданных ТВВ и технологий.

Основные положения диссертационной работы докладывались, обсуждались и получили положительную оценку на: VIII, IX, XI, XIII, XIV Международных научно-технических конференциях «Новые материалы и технологии в машиностроении» (Брянск, 2006, 2007, 2009, 2011 гг.); VII Международной научно-технической конференции «Материалы и технологии XXI века»

(Пенза, 2009); VII Региональной научно-технической конференции «Материаловедение и надежность трибологических систем» (Иваново, 2009); VII Всероссийской научно-технической конференции «Вузовская наука – региону» (Вологда, 2009); Международном научно-техническом семинаре «Физика, химия и механика трибосистем» (Иваново, 2009); Международной научно-технической конференции «Прогресс-2010» (Иваново, 2010); Международном научно-техническом семинаре «Физика, химия и механика трибосистем» (Иваново, 2012); научно-техническом семинаре КГТУ (г. Кострома, 2013); кафедре химической технологии волокнистых материалов Ивановского государственного химико-технологического университета, кафедрах химической технологии и дизайна текстиля и механической технологии волокнистых материалов Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна.

Результаты работы испытаны на АООТ «Ивановский камвольный комбинат», ООО НПО «Конверсипол» (г. Иваново), ООО НПФ «Фабитекс» (г. Иваново), ООО «Технотекс (г. Шуя).

**Личный вклад соискателя** состоит в выборе направлений исследований, постановке и решении задач диссертационной работы, разработке методов эксперимента и их реализации, научном анализе и интерпретации полученных результатов. Изложенные в диссертации теоретические положения и представленные экспериментальные данные отражают самостоятельные исследования автора и его работы, выполненные в соавторстве. Достоверность полученных результатов подтверждается согласованностью данных, полученных при использовании комплекса физико-химических методов исследования и при проведении лабораторных и производственных испытаний. Диссертант принимала непосредственное участие в опытно-промышленных проверках разработанных ею текстильно-вспомогательных веществ и технологий модификации волокнистых полуфабрикатов, а также в их реализации и внедрении на текстильных предприятиях и фирмах в промышленном масштабе.

**Публикации.** Основные результаты диссертационного исследования опубликованы в 47 печатных работах, в том числе, 36 статьях, 14 из которых в изданиях рекомендованных Перечнем ВАК РФ, 1 монографии, 1 авторском свидетельстве и 3 патентах РФ на изобретения, 6 тезисах международных и всероссийских конференций.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, семи глав, выводов, списка литературных источников (272 наименования) и 16 приложений. Изложена на 364 страницах машинописного текста, содержит 79 рисунков, 115 таблиц. Общий объем диссертации составляет 390 страниц.

В приложениях представлены патенты РФ на изобретения, расчеты технико-экономической эффективности разработанных технологий, акты их производственных испытаний и внедрения на текстильных предприятиях.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обоснована актуальность темы диссертационного исследования, указаны его основные направления. Дана оценка современному состоянию проблемы переработки волокнистых полуфабрикатов и подготовки

основных нитей к процессу ткачества. Отмечена перспективность поверхностной модификации пряжи и нитей при их механической переработке. Сформулированы цель и задачи диссертационного исследования, выделены позиции его научной новизны и практической значимости.

**В первой главе** представлена информация о теоретических и практических аспектах модификации текстильных волокон с целью направленного изменения их механических, фрикционных и электрофизических характеристик.

С учетом современных достижений в области исследования волокнообразующих полимеров подробно рассмотрены вопросы, касающиеся строения и свойств шерстяных, целлюлозных и полиэтилентерефталатных (полиэфирных) волокон с точки зрения понимания физико-химической сущности процессов, происходящих при их поверхностной модификации в результате поглощения влаги и растворов химических, в том числе, поверхностно-активных веществ. Дана оценка влияния соответствующих обработок на свойства ткацких основ, отмечены особенности шлихтования основных нитей перед операцией ткачества и указана необходимость замены крахмальной шлихты в данном процессе. При рассмотрении свойств полиэфирных волокон основное влияние уделено возможности их поверхностной модификации в результате омыления аммиачными и щелочными растворами с образованием и удалением низкомолекулярных олигомеров, а также проблеме высокой электризуемости этих волокон и анализу путей ее решения.

Принимая во внимание специфику механической переработки волокнистых полуфабрикатов, рассмотрена сущность и роль фрикционных взаимодействий сопровождающих данный процесс и их роль в износе и обрыве основных нитей на ткацком станке.

С учетом определяющей роли поверхностно-активных веществ в процессе модификации поверхности текстильных волокон, осуществлен анализ специфики их строения и свойств, определяющих эффективность применения в технологиях переработки текстильных полуфабрикатов. Отмечена необходимость правильного выбора значений гидрофильно-липофильного баланса для ПАВ, предназначенных для модификации волокнистых материалов. Представлена классификация текстильно-вспомогательных веществ, используемых в процессах модификации и переработки волокнистых полуфабрикатов.

В заключение к первой главе диссертации дан краткий анализ проработанной научно-технической информации и указаны основные направления экспериментальных исследований и лабораторно-промышленных испытаний.

**Вторая глава** диссертационной работы содержит характеристики объектов и методов исследований с представлением информации о базе приборной техники, позволяющей получать достоверные данные с допустимой погрешностью измерений. Необходимые показатели свойств изучаемых объектов определялись в соответствии с требованиями ГОСТ и других нормативных документов. Статистическая обработка полученных результатов осуществлялась стандартными методами, включая использование интегрированных программных пакетов MS Excell, Curve Expert и Statistica 6. В ряде случаев применялись методы математического моделирования, регрессионного анализа, комплексной

оценки с использованием ранговых показателей, а также методы оптимизации технологических параметров. Дано описание авторской конструкции установки для обработки пряжи и нитей эмульсионными составами на основе ПАВ.

**В третьей главе** диссертации представлены результаты исследований процесса модификации поверхности волокон камвольной пряжи и полиэфирных комплексных нитей при обработке эмульсионными составами на основе ПАВ, а также разработки композиции веществ для шлихтования хлопчатобумажной пряжи.

Осуществлен анализ факторов, влияющих на качество переработки и обрывность основных нитей в процессе ткачества. С учетом особенностей строения поверхностных слоев волокон и их фрикционного взаимодействия между собой и с металлическими поверхностями деталей ткацкого станка рассмотрен механизм поверхностной модификации контактирующих пар растворами ПАВ в системах «волокно-волокно» и «волокно-металл». Наличие на поверхности металла оксидной пленки, царапин и микротрещин затрудняет движение нити и при ее достаточном износе приводит к обрыву (рисунок 1). Снижение коэффициента трения волокон между собой и по металлической поверхности достигается их эмульсированием с образованием на поверхности волокна адсорбционного граничного слоя ПАВ, который нейтрализует действие молекулярных сил притяжения. Аналогичные слои могут формироваться на активных центрах металлической поверхности (рисунок 2), что препятствует контактному взаимодействию нити и деталей станка и способствует снижению обрывности.

Эффективность эмульсирования определяется химическим составом и свойствами компонентов обрабатываемой композиции. В работе исследованы свойства эмульсионных составов (поверхностное натяжение, кинематическая и динамическая вязкость, стабильность, pH), предназначенных для обработки полиэфирных комплексных нитей (таблица 1) и смесовой камвольной пряжи (таблица 2). Установлено, что степень и равномерность импрегнирования волокнистого субстрата зависит, главным образом, от смачивающей способности и вязкости эмульсирующей композиции.

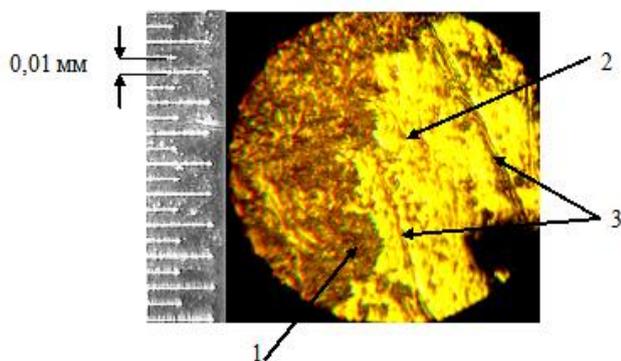


Рисунок 1 Удаление оксидной пленки нитью с металлической поверхности ламели в процессе трения: 1 – оксидная пленка на металле; 2 – участок металла после удаления оксидной пленки; 3 – следы трения нити по металлу

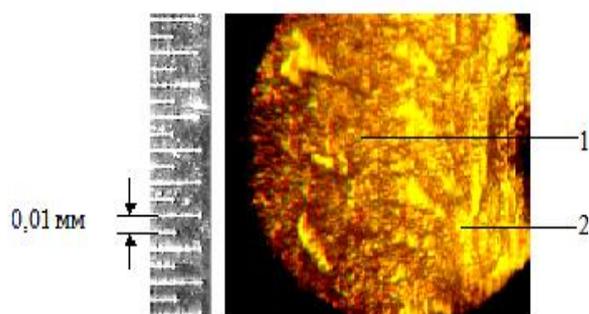


Рисунок 2 Образование пленки эмульсии на металлической поверхности деталей ткацкого станка: 1 – пленка эмульсии; 2 – поверхность детали станка

Таблица 1 - Свойства эмульгирующих составов для обработки полиэфирных комплексных нитей

№ п/п	Рецепт эмульсии, %	Внешний вид	Стабильность t, час	Кинематическая вязкость (20°С) η, сСт	Водородный показатель pH	Плотность ρ, г/см <sup>3</sup>	Поверхностное натяжение σ, мН/м	Динамическая вязкость h, МПа·с
1	ПЭГ-300 - 1	Бесцветный прозрачный раствор	720	1.11	6.9	1.0	67.22	1.11
2	ПЭГ-400 - 1	-II-	720	1.07	6.9	1.0	70.29	1.07
3	ПЭГ-1500 - 1	-II-	720	1.37	7.2	1.1	71.15	1.51
4	ОС-20 - 1	-II-	720	1.62	7.3	1.2	62.17	1.94
5	Авиваж НТП - 1	Маслянистая жидкость желтого цвета	24	2.86	6.5	1.4	50.87	4.01
6	ПЭГ-400 - 0.46 Стеарокс-6 - 0.46 Этиловый спирт - 0.08	Молочного цвета жидкость	24	3.85	7.6	1.3	50.58	5.01
7	ПЭГ-400 - 0.77 Глицерин - 0.20 Этиловый спирт - 0.03	Бесцветный прозрачный раствор	720	1.07	7.4	1.0	66.44	1.07
8	ПЭГ-400 - 0.52 Глицерин - 0.43 Этиловый спирт - 0.05	Бесцветный прозрачный раствор	720	1.11	7.3	1.0	48.73	1.11
9	ПЭГ-400 - 0.80 ОС-20 - 0.10 Глицерин - 0.10	Бесцветный прозрачный раствор	720	1.14	7.2	1.0	57.18	1.15
10	ПЭГ-400 - 0.57 Стеарокс 6 - 0.20 Глицерин - 0.20 Этиловый спирт - 0.03	Молочного цвета жидкость	24	2.75	7.5	1.1	33.81	3.02

Таблица 2 – Свойства эмульгирующих составов для обработки камвольной пряжи

№ п/п	Рецепт эмульсии, %	Внешний вид раствора	Водородный показатель раствора рН	Показатели				Динамическая вязкость h, МПа·с
				Кинематическая вязкость при 20°С η, сСт	Стабильность раствора t, час	Плотность ρ, г/см <sup>3</sup>	Поверхностное натяжение σ, мН/м	
1	ПЭГ-400 – 1	Бесцветный прозрачный	7.3	1.51	720	1.0	70.77	1.51
2	ПЭГ-400 - 2	-II –	7.6	1.52	720	1.0	69.70	1.67
3	ПЭГ-400 – 1 ТЭА – 0.1 СН <sub>3</sub> СООН(25%)–0.2	-II –	6.1	1.47	24	1.1	65.96	1.63
4	ПЭГ-400 – 1 ГДПЭ-106 – 0.2	-II –	6.9	1.49	24	1.3	40.42	1.94
5	ПЭГ-400 – 1 ГДПЭ – 106 – 0.2 ТЭА – 0.1 СН <sub>3</sub> СООН(25%) – 0.2	-II –	7.2	1.40	24	1.3	38.80	1.83
6	ПЭГ-400 – 1 ГДПЭ-106 – 1	-II –	6.9	1.51	24	1.3	38.90	1.96
7	ПЭГ-400 – 1 ОС-20 – 0.5	-II –	7.8	1.48	24	1.1	45.84	1.63
8	ПЭГ-400 – 2 ОС-20 – 0.5	-II –	7.5	1.50	24	1.2	44.66	1.80
9	ПЭГ-400 – 1 ОС-20 – 0.5 СН <sub>3</sub> СООН(25%)– 0.2	-II –	6.0	1.48	24	1.1	45.99	1.66
10	ПЭГ-400 – 1 ОС-20 – 0.5 ТЭА – 0.1 СН <sub>3</sub> СООН(25%) – 0.2	-II –	7.6	1.47	24	1.1	44.03	1.65
11	Ворсолит XII - 1	-II –	7.2	1.42	24	1.4	37.59	1.99
12	Леомин ЛСН - 1	-II –	7.8	1.54	24	1.2	34.80	1.85
13	Ивастаг ШЛ – 1	-II –	6.0	1.50	24	1.1	29.90	1.70
14	Замасливатель Б-73 – 1	Белого цвета	7.2	1.51	24	1.1	34.70	1.59

На основании анализа химического строения компонентов эмульсий и расчета значений гидрофильно-липофильного баланса (ГЛБ) дифильных молекул соединений с поверхностно-активными свойствами предложены составы для обработки полиэфирных комплексных нитей (ПЭГ-400, глицерин, этанол) и камвольной пряжи из шерстяных и полиэфирных волокон (ПЭГ-400, препарат ОС-20, триэтаноламин, уксусная кислота). Данные соединения спиртового характера отвечают требованиям оптимальных значений ГЛБ для высокой смачиваемости (7–9) и интенсивной пропитки (13–15) пряжи и нитей.

Предложен механизм взаимодействия гидроксилсодержащих компонентов эмульсий с функциональными группами волокнообразующих полимеров. Выделена функциональная роль смеси оксиэтилированных эфиров жирных спиртов (препарат ОС-20) сообщающего поверхности волокон гидрофобные свойства и способствующего проявлению окклюзивного эффекта. Отмечено, что определенная ориентация молекул указанных соединений в адсорбционном граничном слое на поверхности субстрата может оказывать позитивное влияние на фрикционные и электрофизические характеристики волокнистых полуфабрикатов.

Исследовано влияние эмульсирования разработанными составами на физико-механические показатели пряжи и нитей. Экспериментально установлено, что применение составов на основе модифицирующих агентов ПЭГ-400, ОС-20 и триэтаноламина улучшает технологические свойства камвольной пряжи (18, 19, 22 и 31 текс) с увеличением ее разрывной прочности в среднем на 24% и относительного разрывного удлинения – на 11%.

Отмечено, что предлагаемое эмульсирование (рецепты 2–10, таблица 2) обеспечивает более высокую сцепляемость волокон и формирование компактной пряжи по сравнению с обработкой композицией на основе минеральных масел (рецепт 14).

Значения коэффициента тангенциального сопротивления повышаются в среднем на 28% со снижением колебания значений коэффициента трения волокон по длине пряжи (рисунок 3).

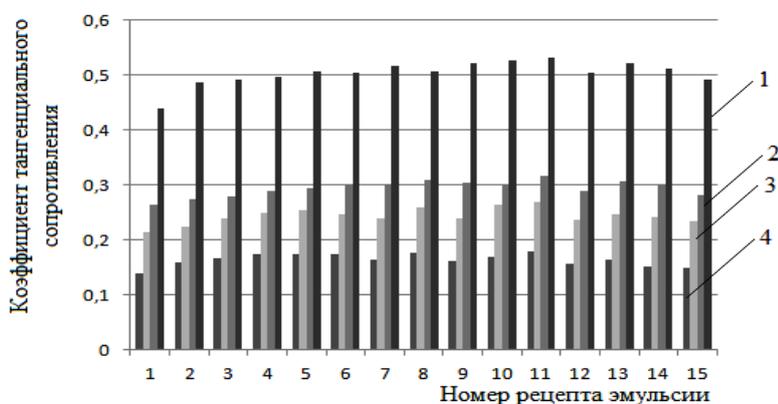


Рисунок 3 Влияние компонентного состава эмульсии на значения коэффициента тангенциального сопротивления смесовой камвольной пряжи: 1 – 31 текс; 2 – 22 текс; 3 – 19 текс; 4 – 18 текс

Одновременно выявлено, что эмульсирующий состав по рецепту 10 (таблица 2) снижает значения динамического коэффициента трения при обработке пряжи с различным содержанием волокнистых компонентов и при контакте волокон с металлической поверхностью деталей ткацкого станка (на 25–30%) (рисунки 4 и 5).

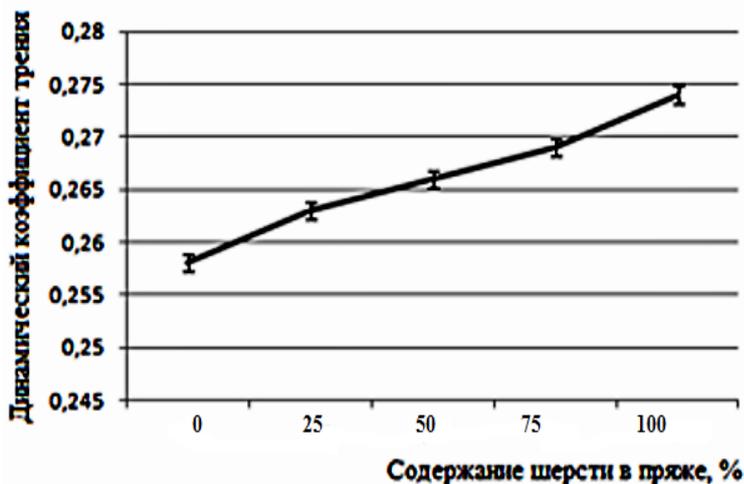


Рисунок 4 Влияние количественного соотношения волокнистых компонентов на значения динамического коэффициента трения смесовой пряжи (шерсть/лавсан) металлической поверхности

На основании выше изложенного можно сделать вывод о том, что разработанный состав эмульсии, включающий ПЭГ-400, препарат ОС-20, триэтаноламин и уксусную кислоту может эффективно использоваться при переработке шерстяных, полушерстяных и синтетических основных нитей и служить альтернативным вариантом к применению препаратов на основе водорастворимых парафинов и минеральных масел (Ворсолит ХП, замазливатель Б-73).

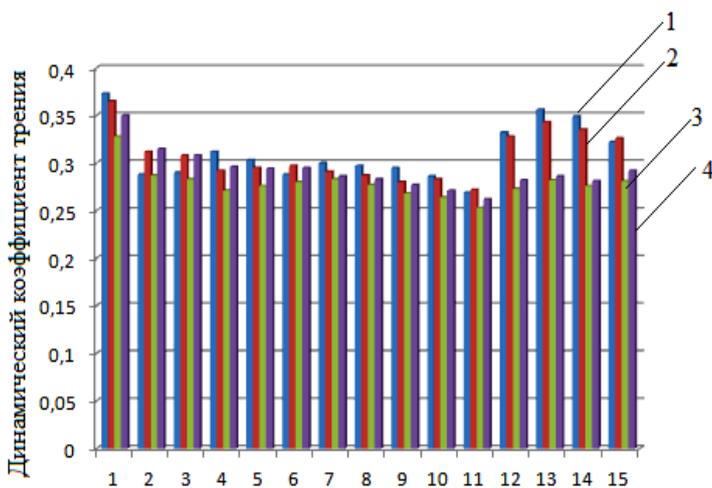


Рисунок 5 Влияние состава эмульсии на значения динамического коэффициента трения смесовой камвольной пряжи: 1 – 18 текс (65% шерсти); 2 – 19 текс (55% шерсти); 3 – 22 текс (35% шерсти); 4 – 31 текс (50% шерсти)

Межволоконное контактное взаимодействие определяется геометрической структурой волокон и свойствами их поверхностного слоя, при этом второй фактор может регулироваться обработкой волокон композициями веществ с поверхностно-активными свойствами. С использованием специально сконструированной установки (рисунок 6) оценено влияние компонентного состава эмульсий и их количественного содержания на субстрате на фрикционные характеристики обработанной полиэфирной комплексной нити

(16.5 текс), состоящей из 50 монопитей, скрепленных пневмосоединениями на равных расстояниях (контрольные варианты эмульсирования предусматривали применение составов на основе препарата ОС-20 и авиваж НТП).

Экспериментально установлено, что из 10 вариантов рецептов эмульсий (2–11, рисунок 7) лучшим антифрикционным эффектом обладает 1%-ный раствор состава по рецепту 9, % масс.: ПЭГ-400 – 0.52; глицерин – 0.43; этиловый спирт – 0.05.

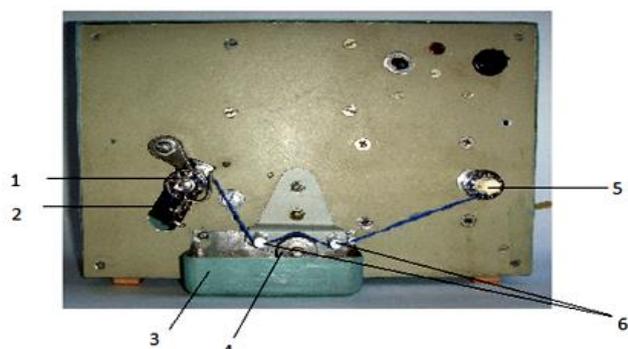


Рисунок 6 Установка для эмульсирования:  
 1 – приемная катушка; 2 - нитководитель;  
 3 – ванночка с составом ПАВ; 4 – рифленый эмульсирующий валик; 5 – подающая катушка; 6 - направляющие валики

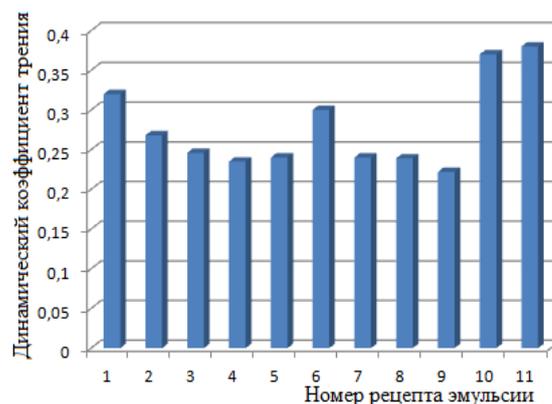


Рисунок 7 Влияние рецепта эмульсии на динамический коэффициент трения полиэфирной комплексной нити 16.5 текс

Данная композиция при нанесении равномерно распределяется по поверхности полиэфирных волокон, что подтверждается незначительными изменениями значений динамического коэффициента трения по длине нити (рисунки 8–10).

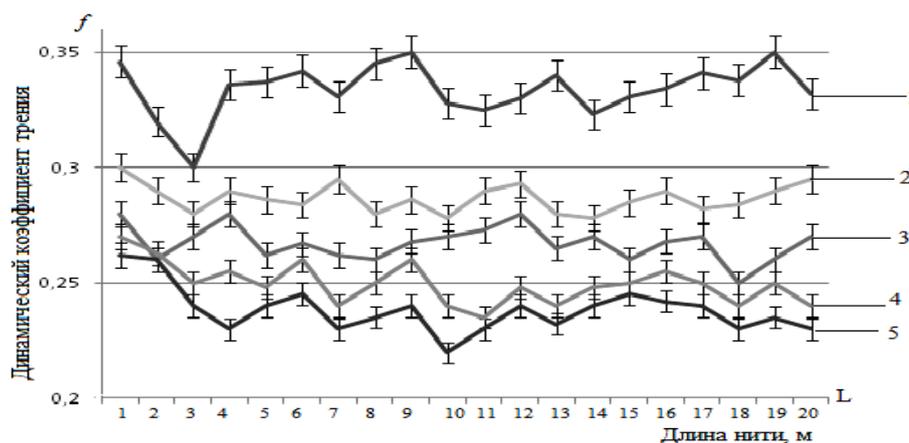


Рисунок 8 Колебания динамического коэффициента трения по длине полиэфирной комплексной нити, обработанной 1%-ными растворами: 1 – необработанная пряжа; 2 – авиваж НТП; 3 – ПЭГ-300; 4 – препарат ОС-20; 5 – ПЭГ-400

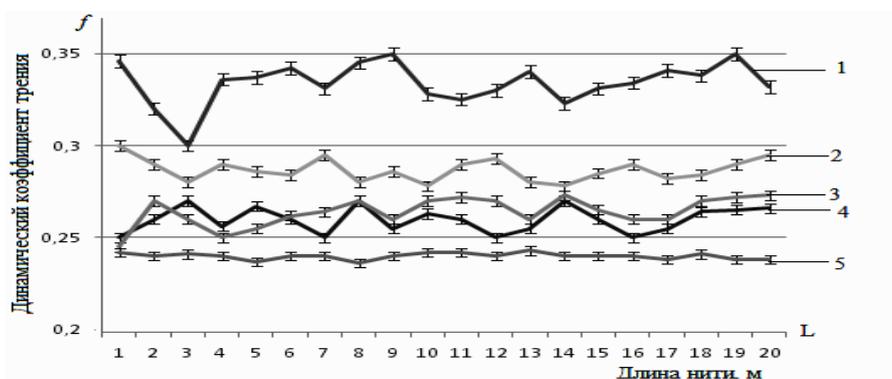


Рисунок 9 Колебания динамического коэффициента трения по длине полиэфирной комплексной нити, обработанной эмульсионными составами: 1 – необработанная пряжа; 2 – авиваж НТП -1%; 3 – ПЭГ-1500 – 1%; 4 – ПЭГ-400 – 0.77%, глицерин – 0.20%, этанол – 0.03%; 5 - ПЭГ-400 – 0.52%, глицерин – 0.43%, этанол – 0.05%

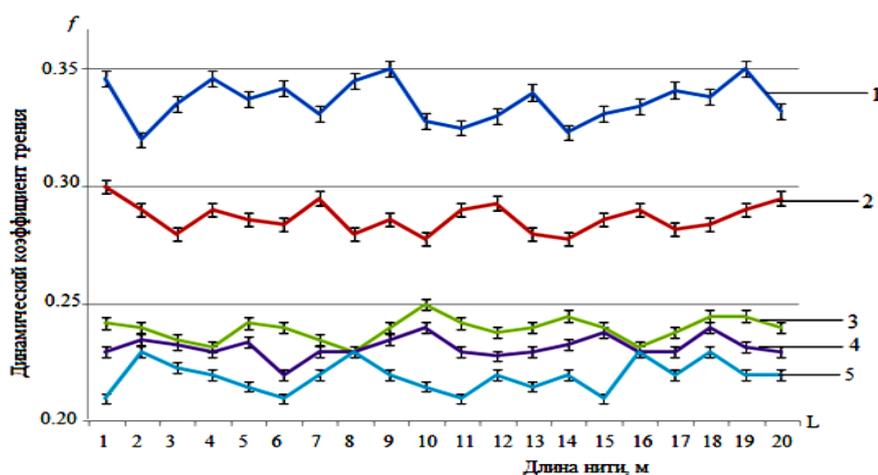


Рисунок 10 Колебания динамического коэффициента трения по длине полиэфирной комплексной нити, обработанной эмульсионными составами: 1 – необработанная пряжа; 2 – авиваж НТП -1%; 3 – ПЭГ-400 – 0.46%, стеарокс – 6 – 0.46%, этиловый спирт – 0.08%; 4 – ПЭГ-400 – 0.57%, стеарокс – 6 – 0.20%, этиловый спирт – 0.03%, глицерин –

Одновременно повышаются прочностные показатели нитей, снижается их электризуемость и обрывность, что способствует увеличению производительности ткацкого оборудования.

При разработке составов для целенаправленного регулирования свойств поверхности целлюлозных волокон и улучшения способности хлопчатобумажной пряжи к переработке исходили из необходимости формирования поверхностного слоя, изменяющего фрикционные характеристики волокон и введения в состав на основе ПЭГ-400 специальных добавок, увеличивающих адгезию пленки шлихты к субстрату, прочность пряжи и снижающих динамический коэффициент трения волокон. В максимальной степени этим требованиям отвечает разработанный состав шлихты, включающий, % масс.: ПЭГ-400 – 7-9; поливинилацетатная (ПВА) эмульсия – 18-23; смачиватель (синтанол АЛМ-10) – 0.11-0.15; вода – до 100. Обработка данной композицией вызывает набухание целлюлозных волокон с увеличением их прочности, а сформированная пленка шлихты характеризуется прочным адгезионным закреплением на волокнистом субстрате.

Анализ реологических кривых вязкого течения позволил оптимизировать концентрацию шлихтующей композиции, обеспечение необходимого количественного соотношения компонентов – получить пленки с желательным сочетанием жесткости (ПВА) и эластичности (ПЭГ-400), усиливающим функцию воскообразных веществ хлопка.

Влияние шлихтующей композиции на фрикционные характеристики хлопчатобумажной пряжи (16 и 25 текс) представлено на рисунках 11, 12.

Производственные испытания, проведенные в НПО «Конверсипол» (г. Иваново), подтвердили высокие технологические качества разработанной шлихты, применение которой дает возможность увеличить разрывную нагрузку

пряжи в среднем на 8% с одновременным снижением динамического коэффициента трения на 10% по сравнению с использованием крахмальной шлихты.

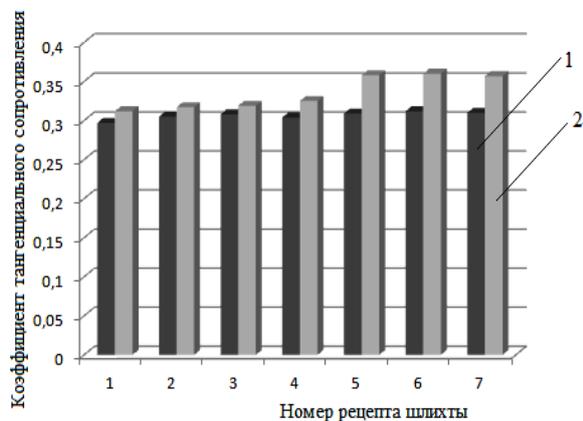


Рисунок 11 Влияние состава шлихты на значения коэффициента тангенциального сопротивления хлопчатобумажной пряжи: 1 – 16 текс; 2 – 25 текс

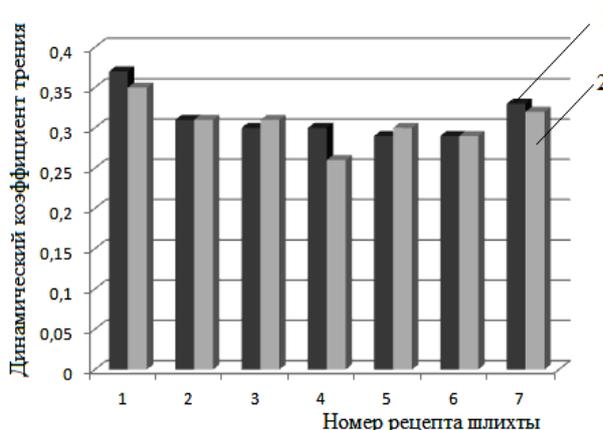


Рисунок 12 Влияние состава шлихты на значения динамического коэффициента трения хлопчатобумажной пряжи: 1 – 16 текс; 2 – 25 текс

Установлено, что применение разработанного состава позволяет в 2 раза снизить обрывность пряжи на ткацком станке. Переход на новый состав шлихты дает возможность на 20 – 60% повысить скорость шлихтовальных машин и ткацкого оборудования (при скорости шлихтования 60 м/мин – производительность 3600 метров основы в час, при скорости 72 м/мин – 4320 м/ч; при скорости 100 м/мин – 6000 м/ч).

В четвертой главе диссертации осуществлен анализ факторов, влияющих на электризацию волокон и нитей в процессе их механической переработки. Отмечено, что решение данной проблемы возможно путем повышения влагосодержания волокнистого субстрата и его обработкой гидрофильными веществами, увеличивающими электропроводность волокон и интенсифицирующих процесс стекания электростатических зарядов.

Разработаны составы низковязких эмульсий на основе ПЭГ-400, ПАВ, гидроксилсодержащих спиртовых соединений (триэтаноламин, глицерин, этанол) для антистатической обработки ткацких основ из натуральных и синтетических нитей. Предложен механизм образования граничных адсорбционных слоев (рисунок 13), повышающих

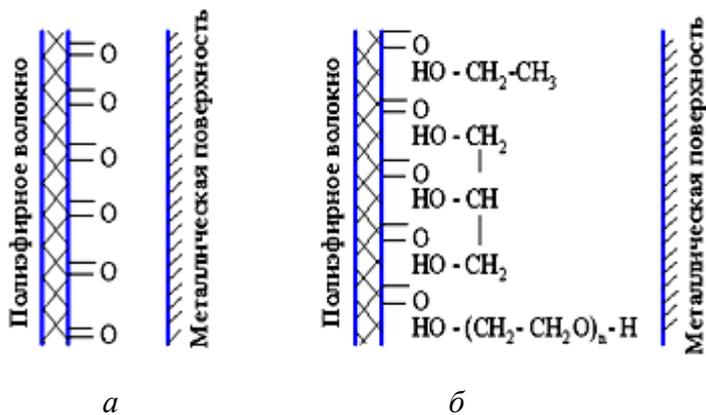


Рисунок 13 Схема механизма образования адсорбционных граничных слоев: а – взаимодействие полиэфирного волокна с металлической поверхностью; б – взаимодействие поверхностно-активных веществ с волокном

гидрофильность контактирующих пар «волокно-волокно» и «волокно-металл», снижающих интенсивность фрикционных взаимодействий и, соответственно, электризуемость волокнистых полуфабрикатов (таблица 3).

Таблица 3 – Гидроксилсодержащие спиртовые соединения эмульсии

Название компонента эмульсии	Структурная формула
Полиэтиленгликоль с молекулярной массой 400 а.е.м. (ПЭГ-400)	HO-(CH <sub>2</sub> -CH <sub>2</sub> ) <sub>n</sub> -H
Этанол	HO-CH <sub>2</sub> -CH <sub>3</sub>
Глицерин	$\begin{array}{c} \text{H}_2\text{C} - \text{CH} - \text{CH}_2 \\   \quad   \quad   \\ \text{OH} \quad \text{OH} \quad \text{OH} \end{array}$

На основании анализа и сравнения работы датчиков для измерения удельной электропроводности ( $\lambda_B$ ) образцов волокнистых материалов усовершенствован метод ее определения и контроля на приборе ИЭСТВ-1М и рекомендована формула для расчета величины  $\lambda_B$

$$\lambda_B = \frac{Kh}{RS} \left( \frac{2\gamma_s}{\gamma_0} - 1 \right), \quad (1)$$

где  $h$  – расстояние между электродами измерительного датчика, м;

$S$  – площадь электрода, м<sup>2</sup>;

$R$  – электрическое сопротивление образца, Ом;

$\gamma_s$  – плотность вещества полимера, кг/м<sup>3</sup>;

$\gamma_0$  – плотность образца волокнистого полуфабриката, кг/м<sup>3</sup>,

$K$  – постоянная прибора ИЭСТВ-1М.

Доказана высокая точность и надежность данного метода для исследования электрофизических свойств моноплетей и пряжи из индивидуальных и смесовых волокон.

Подтверждено снижение электризуемости смесовой камвольной пряжи на два порядка с повышением ее влагосодержания (рисунок 14).

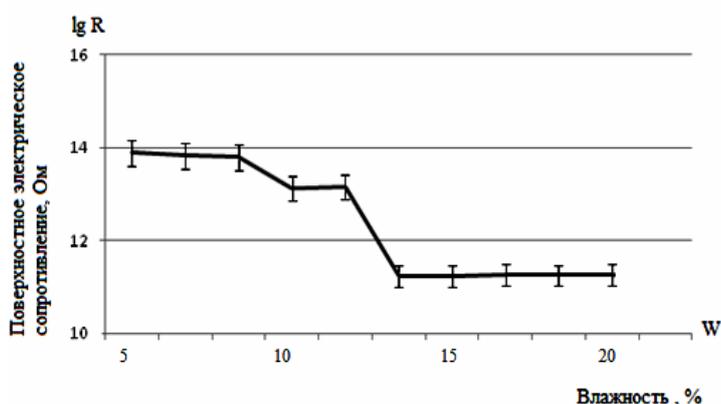


Рисунок 14 Влияние влагосодержания (W) шерстяной пряжи на величину поверхностного электрического сопротивления

Отмечена нецелесообразность повышения влажности более 18 %, вследствие снижения прочности пряжи, увеличения ее обрывности и возможности постепенного образования плесени.

Как отмечено выше, гидроксилсодержащие соединения участвуют в образовании граничных адсорбционных слоев на поверхности ни-

ти и в процессе трения происходит перенос части эмульсионного слоя на металлическую поверхность с формированием защитной пленки смазочного вещества. В результате взаимодействия полиэфирной комплексной нити и металлической поверхности деталей оснастки ткацкого станка, разделенных защитной пленкой, происходит снижение интенсивности фрикционного взаимодействия (уменьшение значений динамического коэффициента трения).

Экспериментально доказано, что применение разработанного эмульсионного состава (ПЭГ-400, глицерин, этанол) при образовании равномерного защитного слоя на поверхности полиэфирной нити уменьшает ее поверхностное электрическое сопротивление в  $10^4$  раз по сравнению с необработанным образцом (рисунок 15).

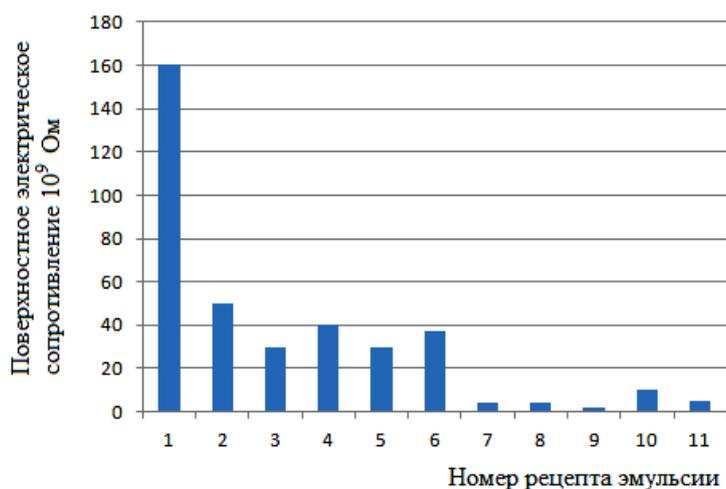


Рисунок 15 Влияние эмульсирования на величину поверхностного электрического сопротивления полиэфирной комплексной нити (рецепты эмульсий см. таблицу 1)

вами, установлена обратно пропорциональная зависимость между этими показателями (рисунок 17).

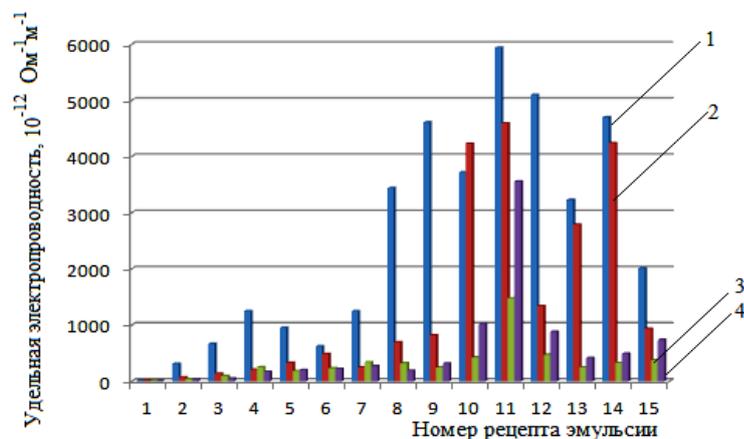


Рисунок 16 Значения удельной электропроводности смесовой камвольной пряжи с различным содержанием полиэфирных волокон: 1 – пряжа 18 текс, 35%; 2 – пряжа 19 текс, 45%; 3 – пряжа 31 текс, 50%; 4 – пряжа 22 текс, 65%

Эмульсии рекомендуемого состава позволяют получать высокие значения удельной электропроводности смесовой камвольной пряжи с различным содержанием полиэфирных волокон (рисунок 16).

На основании измерения удельной электропроводности ( $\lambda_B$ , прибор ИЭСТВ-1М) и динамического коэффициента трения ( $f_{тр}$ , прибор ТКИ-4-26-1) комплексных полиэфирных нитей, обработанных 1%-ными эмульсионными составами,

показано, что применение состава из ПЭГ-400, глицерина и этанола, содержащего соединения с большим количеством гидроксильных групп максимальному значению удельной электропроводности  $\lambda_B = 8.33 \cdot 10^{-8} \text{ Ом}^{-1} \text{ м}^{-1}$  эмульсированной полиэфирной комплексной нити соответствует минимальное значение динамического коэффициента трения ( $f_{тр}=0.23$ ).

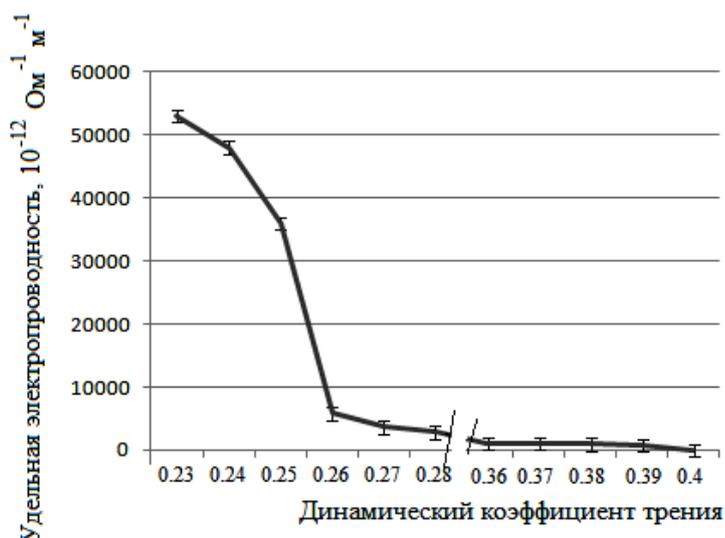


Рисунок 17 Зависимость удельной электропроводности полиэфирной комплексной нити (16.5 текс) от динамического коэффициента трения

Отмечено, что для смесовой камвольной пряжи из шерстяных и полиэфирных волокон увеличение количественного содержания более гидрофильного шерстяного компонента (с 35 до 65%) приводит к повышению удельной электропроводности и снижению эффективности фрикционных взаимодействий пряжи, что положительно отражается на антистатическом эффекте и ее переработке в

ткачестве, в частности, на снижении обрывности основных нитей.

В сухом состоянии хлопчатобумажная пряжа обладает низкой электропроводностью, для ее повышения разработан состав шлихты (ПЭГ-400, эмульсия ПВА, смесь эфиров оксиэтилированных жирных спиртов со степенью оксиэтилирования равной 10 – препарат Синтанол АЛМ), обработка которой модифицирует поверхность пряжи, увеличивает ее набухание и гигроскопичность. Пленка шлихты делает поверхность пряжи более гладкой и способствует связыванию и удержанию влаги в структуре волокнистого материала. Экспериментально доказано, что с повышением влажности ошлихтованной пряжи с 2 до 10% ее электропроводность увеличивается в  $10^5$  раз (рисунок 18).

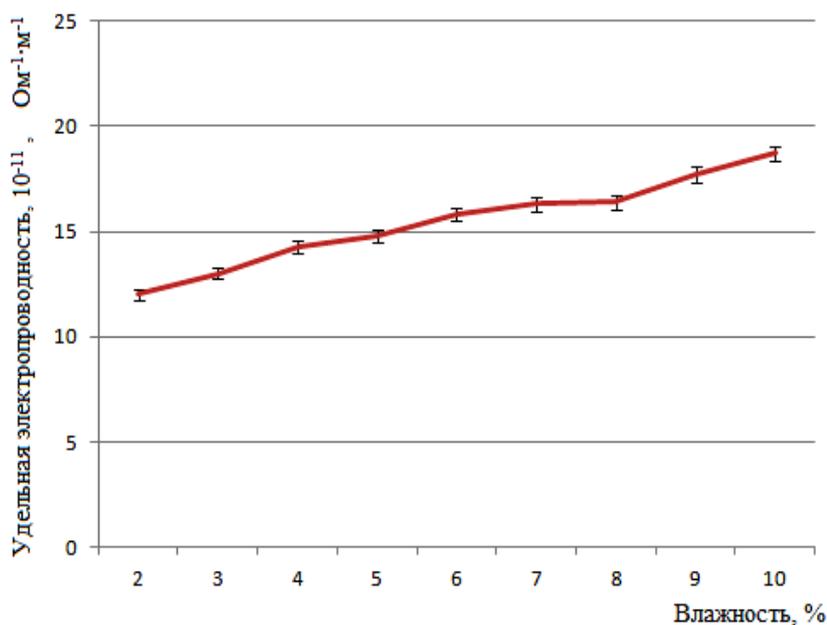


Рисунок 18 Зависимость удельной электропроводности хлопчатобумажной пряжи от ее влажности

В результате ослабляется фрикционное взаимодействие при движении основных нитей по металлической поверхности и снижается их обрывность в процессе ткачества.

Для практического применения созданной шлихтующей композиции (Пат. 2285077 Российская Федерация) установлены оптимальные значения влажности (8–10%) и удельной

электропроводности ( $6430 - 181200 \text{ Ом}^{-1}\text{м}^{-1}$ ) хлопчатобумажной пряжи при переработке в ткацком производстве.

**Пятая глава** диссертации содержит материал, в котором на основании теоретических представлений о процессе износа текстильных материалов и анализа причин повышенной обрывности ткацких основ сделан вывод о том, что данную проблему можно решить путем их эмульсирования. Разработаны составы на основе ПЭГ-400, повышающие устойчивость волокнистых полуфабрикатов к абразивному истиранию при взаимодействии в системе «нить-металл деталей оснастки ткацкого станка», что подтверждено на примере камвольной пряжи и полиэфирных комплексных нитей.

Установлено, что шлихтование хлопчатобумажной пряжи 10%-ной композицией на базе ПЭГ-400, эмульсии ПВА и препарата синтанол АЛМ-10 позволяет в максимальной степени увеличить ее стойкость к истиранию в процессе работы ткацкого оборудования. Данные результаты получены на основе разработанной и рекомендуемой к использованию методики расчета износа основных нитей при истирании о детали ткацкого станка.

Расчет износа нити проводился при условии, что сила контакта ( $F_H$ ) равномерно распределена на всех участках контактирования нити с галевом. Возникающее при этом контактное напряжение определяется по формуле Герца

$$\sigma_n = 0.418 \sqrt{g \frac{E_{np.}}{R_{np.}}}, \quad (2)$$

где  $g$  – нормальная нагрузка на единицу длины контактной линии, Н/м;

$$E_{np.} = \frac{2E_1E_2}{E_1 + E_2} \text{ – приведенный модуль упругости, Па;}$$

$E_1, E_2$  – модули упругости материалов контактирующих тел, Па;

$$R_{np.} = \frac{R_1R_2}{R_2 - R_1} \text{ – приведенный радиус кривизны контактирующих поверхностей;}$$

$R_1, R_2$  – соответственно радиус нити и радиус детали, м (рисунок 19).

Линейный износ нити (вдоль ее оси) при контакте за один цикл определяется по формуле

$$U = k S \sigma_n, \quad (3)$$

где  $S = b$  – путь трения за один

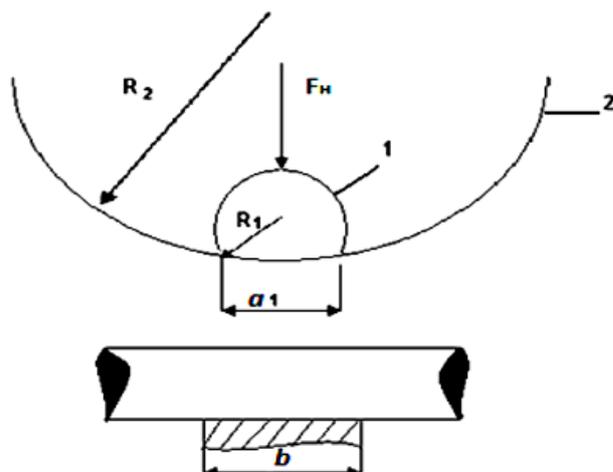


Рисунок 19 Схема фрикционного контакта основной нити с деталью ткацкого станка: 1 - нить; 2 - деталь;  $a_1$  и  $b$  - соответственно ширина и длина контактной поверхности

цикл, равный длине контактной площадки нити с деталью ткацкого станка.  
Коэффициент износа нити рассчитывается следующим образом

$$k = \frac{n_n \cdot A}{n_э \cdot F_H} \quad ; \quad (4)$$

где  $n_n$  и  $n_э$  – число циклов истирания, соответствующих необработанной и эмульсированной нити;

$A$  – площадь контактной поверхности,  $m^2$ ;

$F_H$  – контактная сила, Н.

Износостойкость камвольной пряжи (18 – 31 текс), обработанной эмульсиями на основе ПЭГ-400 (10 вариантов) определялась по показателю стойкости к истиранию на приборе ТКИ-5-27-1, предназначенном для испытания пряжи и ниток различного сырьевого состава (рисунок 20).

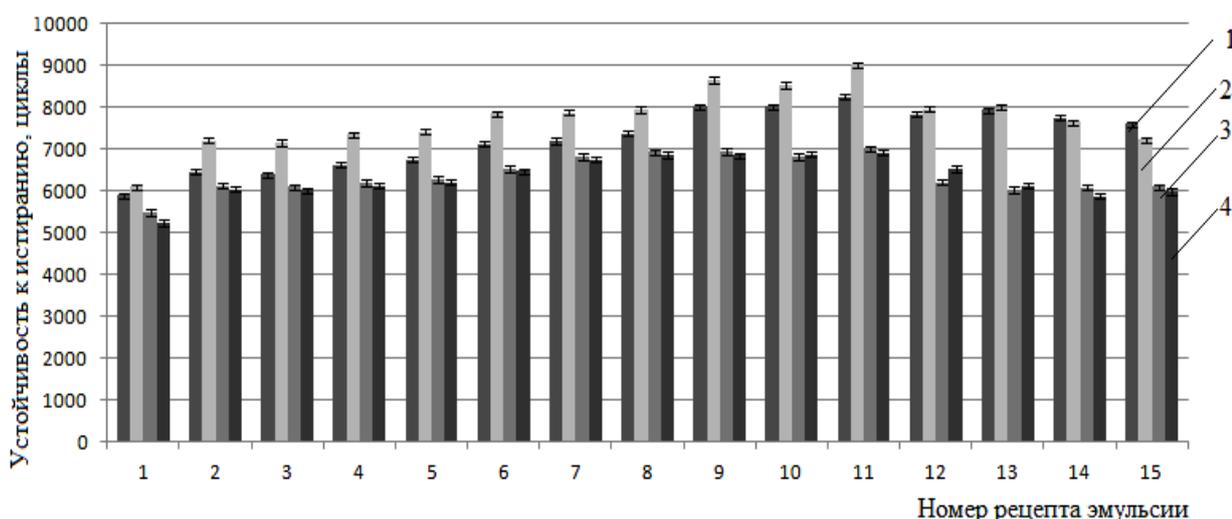


Рисунок 20 Влияние состава эмульсирующей композиции на устойчивость к истиранию смесовой камвольной пряжи с различным содержанием полиэфирных волокон, %:  
1 - 50; 2 - 65; 3 - 45; 4 - 35

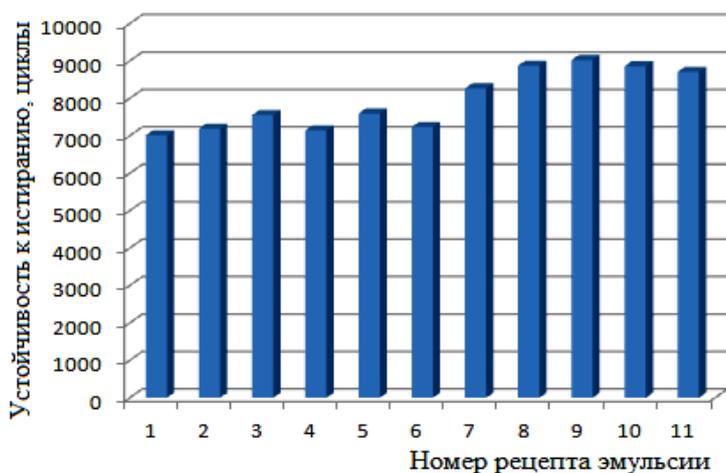


Рисунок 21 Влияние состава эмульсирующей композиции на устойчивость к истиранию полиэфирной комплексной нити

Аналогичные испытания проведены для полиэфирных комплексных нитей (16.5 текс) и полученные результаты представлены на рисунке 21.

В результате экспериментальных определений и расчетов установлено, что эмульсирование увеличивает износостойкость камвольной пряжи в среднем на 24%, полиэфирной комплексной нити – на 15%.

Показано, что в процессе истирания камвольной пряжи в непосредственном контакте с истирающим элементом находится ее опорная поверхность, которая разрушается интенсивнее с увеличением напряжения нитей (при росте контактного напряжения с 270 до 307 МПа степень износа увеличивается с  $0.24 \cdot 10^{-9}$  до  $0.54 \cdot 10^{-9}$  м) и уменьшением площади опоры поверхности (при  $S=0.021 \text{ мм}^2 - U=0.54 \cdot 10^{-9}$  м, а при  $S=0.019 \text{ мм}^2 - U = 0.63 \cdot 10^{-9}$  м).

Экспериментальными и расчетными методами доказано снижение износа камвольной пряжи на 37% с повышением ее плотности на 30%, вследствие увеличения числа касаний с истирающей поверхностью и уменьшения интенсивности воздействия на элементы пряжи.

Установлен характер влияния сырьевого волокнистого состава на износ основных нитей, и получены данные по потере их массы в процессе трения: для хлопчатобумажной пряжи в среднем на 16%, для полиэфирной комплексной нити – на 8%, для смесовой камвольной пряжи – на 9%.

Хлопчатобумажная пряжа с прядильных машин состоит из отдельных волокон небольшой длины скрученных между собой, при этом кончики волокон, выступая наружу, придают нити эффект пушистости. Хлопчатобумажные основные нити при трении о металлические детали ткацкого станка образуют пух и хомутики, вследствие выдергивания неплотно зажатых волокон. В результате этих процессов происходит разрыхление поверхности пряжи, падение ее прочности и, как следствие, обрыв основных нитей. В процессе шлихтования основные нити покрываются пленкой, предохраняющей волокна от разрушения и обрыва за счет усиления взаимного сцепления.

Проведены испытания разработанного низковязкого состава шлихты (ПЭГ-400, эмульсия ПВА, синтанол АЛМ-10) с целью определения его влияния на устойчивость хлопчатобумажной пряжи (16 и 25 текс) к истиранию.

Полученные результаты представлены на рисунке 22.

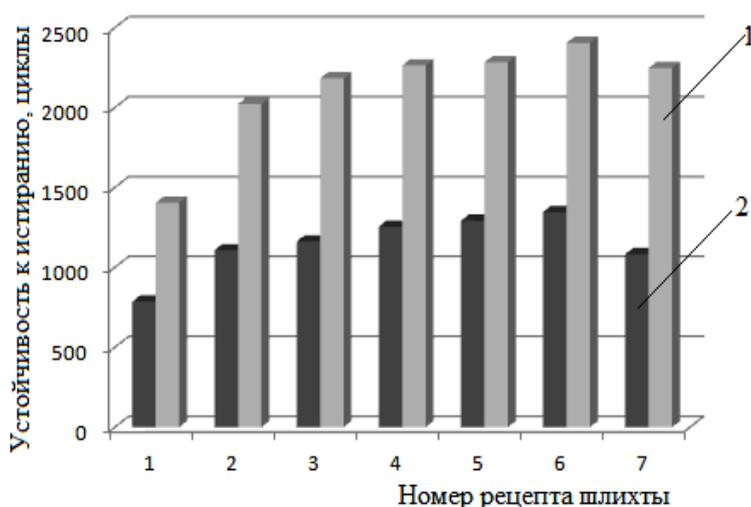


Рисунок 22 Влияние состава шлихты на устойчивость к истиранию хлопчатобумажной пряжи: 1 - 25 текс; 2 - 16 текс

Анализ экспериментальных данных показывает, что максимальная устойчивость пряжи к истиранию наблюдается при шлихтовании композицией с концентрацией 10%, при этом величина этого показателя увеличивается на 13.8% по сравнению с применением крахмальной шлихты. Это объясняется оптимальным соотношением жесткости и эластичности пленки шлихты на основе ПЭГ-400 и эмульсии ПВА, ее высокой адгезией к целлюлозному волокну и сглажи-

ванием поверхности пряжи. Последнее обстоятельство способствует снижению значений динамического коэффициента трения нитей о металлическую поверхность деталей ткацкого станка и уменьшению их обрывности. Присутствие в составе шлихты эффективного смачивателя с поверхностно-активными свойствами (синтанол АЛМ-10) обеспечивает равномерную и полную пропитку волокнистого субстрата и формирование однородной (не дискретной) пленки шлихты, что облегчает хорошую переработку ткацких основ.

**В шестой главе** проведена комплексная оценка эффективности эмульгирующих составов на основе гидрофильных веществ, предназначенных для обработки смесовой камвольной пряжи и полиэфирных комплексных нитей. Подтверждена максимальная эффективность применения эмульсионных составов на основе ПЭГ-400 и гидроксилсодержащих соединений с поверхностно-активными свойствами для обработки смесовой камвольной пряжи (Пат. 2222653 Российская Федерация) и полиэфирных комплексных нитей (Пат. 2341602 Российская Федерация).

При проведении модельного эксперимента для адекватного математического описания исследуемых систем использованы методы анализа эмпирических уравнений. При этом приняты во внимание следующие факторы, определяющие состояние оцениваемого объекта (на примере полиэфирной комплексной нити):  $X_1$  – динамический коэффициент трения нити по металлу;  $X_2$  – влажность нити;  $X_3$  – процентное содержание эмульсии на нити;  $X_4$  – электрическое сопротивление нити;  $X_5$  – вязкость эмульсии;  $X_6$  – устойчивость нити к истиранию. Базовым критерием оптимизации являлся показатель числа циклов устойчивости нити к истиранию, характеризующий ее износостойкость в процессе работы ткацкого станка.

С использованием программы Statistic получено алгебраическое выражение, характеризующее влияние рассматриваемых факторов на износостойкость полиэфирной комплексной нити

$$y = -3097413X_3^2 + 312636X_3 + 10888 \quad (5)$$

Анализ уравнения (5) показывает, что основным фактором, влияющим на устойчивость полиэфирных комплексных нитей к истиранию в процессе ткачества, является процентное содержание эмульсии на нити ( $X_3$ ).

В целом, информационно-статистическая модель подтвердила целесообразность и перспективность применения разработанных составов ПАВ и ТВВ для повышения качества и эффективности переработки ткацких основ.

**В седьмой главе** представлены результаты производственных испытаний и внедрения новых видов, разработанных текстильно-вспомогательных веществ на основе ПЭГ-400 в ткацко-отделочном производстве текстильных фирм и предприятий.

Испытания концентрата К-01 на Ивановском камвольном комбинате позволили увеличить производительность ткацкого оборудования на 14% и снизить обрывность основных нитей на 30% для полного ассортимента выпускае-

мых тканей. Годовой экономический эффект от применения препарата К-01 составил 3439.8 тыс. руб. (2.87 руб./пог.м ткани) (в ценах 2002 г.).

Применение составов на основе ПЭГ-400 в качестве антистатического препарата дало возможность замены дорогостоящего импортного препарата «Leomin AFK» (фирма «Clariant», Швейцария) с получением экономического эффекта в размере 486.3 тыс. руб. в год (по ценам 2002г.).

На базе концентрата К-01 разработано текстильно-вспомогательное вещество «Универсал» (ТУ 2483001-71847504-2004), прошедшее успешную промышленную апробацию на Ивановском камвольном комбинате.

На основе разработанного эмульсионного состава для подготовки полиэфирных комплексных нитей создано текстильно-вспомогательное вещество «Оксилан» (ТУ 2483-001-732121582-004), применение которого позволило снизить динамический коэффициент трения нити на 25.3%, увеличить коэффициент тангенциального сопротивления на 20% при снижении поверхностного электрического сопротивления в 1000 раз. Данные результаты получены при проведении производственных испытаний в ткацком производстве ООО НПО «Конверсипол» и внедрены в технологический процесс эмульсирования ленты и основной пряжи на ООО «Технотекс». Годовой экономический эффект от использования разработанных ТВВ составил 170.6 тыс. руб. (6.32 руб./пог.м ткани) (по ценам 2008 г.).

Применение разработанных препаратов на текстильных предприятиях позволяет увеличить производительность ткацко-отделочного оборудования, улучшить условия труда, снизить себестоимость и повысить качество выпускаемой продукции (текстильных материалов и изделий).

## **ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБЩИЕ ВЫВОДЫ**

1. Теоретически обоснована и разработана технология поверхностной модификации волокнистых полуфабрикатов с целью улучшения переработки основных нитей в процессе ткачества и повышения качества вырабатываемых тканей. Анализ строения и свойств натуральных и синтетических волокон и процесса разрушения основных нитей в процессе ткачества показал, что наиболее существенным фактором деструкции является фрикционное взаимодействие в системах «волокно – волокно» и «волокно – металл».

2. На основании исследования свойств ПАВ и ТВВ дано научное обоснование и экспериментальное подтверждение эффективности применения составов на основе полиэтиленгликоля с молекулярной массой 400 а. е. м. (ПЭГ-400) и гидроксилсодержащих соединений спиртового характера (глицерин, триэтаноламин, этанол, смесь оксиэтилированных эфиров жирных спиртов) с оптимальными значениями гидрофильно-липофильного баланса 7–9 для модификации поверхности шерстяных, целлюлозных и полиэфирных волокон.

3. Исследовано влияние эмульсирования на физико-механические свойства волокнистых полуфабрикатов. Доказано, что обработка камвольной пряжи из смеси шерстяных и полиэфирных волокон (18–31 текс) составом на основе ПЭГ-400, триэтаноламина, препарата ОС-20 и уксусной кислоты спо-

способствует повышению её прочности в среднем на 24% и разрывного удлинения – на 11%, снижение коэффициента динамического трения на 20–30% и повышение коэффициента тангенциального сопротивления на 28%. Композиция на основе ПЭГ-400, глицерина и этанола образует адсорбционный граничный слой, который увеличивает прочностные показатели на 20% и способствует выравниванию значений динамического коэффициента трения по длине полиэфирной комплексной нити, что обуславливает уменьшение обрывности основных нитей в процессе ткачества в два раза.

4. Разработан состав шликты для хлопчатобумажной пряжи (ПЭГ-400, эмульсия ПВА, смачиватель – синтанол АЛМ-10), обеспечивающий набухание целлюлозных волокон с повышением их прочности и прочное адгезионное закрепление пленки шликты на субстрате. Анализ реологических кривых вязкого течения растворов шликты позволил оптимизировать их концентрацию. Экспериментально доказано, что опытная шликта по сравнению с крахмальной повышает у ошлихтованной хлопчатобумажной пряжи значения разрывной нагрузки на 8%, динамический коэффициент трения – снижается на 10%, а обрывность нитей уменьшается вдвое. Доказана возможность повышения скорости шликтовальных машин на 40% с соответствующим увеличением их производительности.

5. Осуществлен анализ факторов, влияющих на электризацию волокон и нитей в процессе их текстильной переработки. Отмечено, что решение данной проблемы возможно за счет повышения влагосодержания волокон при обработке гидрофильными веществами. Усовершенствован метод измерения удельной электропроводности на приборе ИЭСТВ–1М. Экспериментально доказано, что применение разработанных эмульсий для обработки камвольной пряжи и полиэфирных комплексных нитей позволяет увеличить их удельную электропроводность, соответственно, в  $10^3$  и  $10^4$  раз. Выявлена обратно пропорциональная связь между динамическим коэффициентом трения пряжи и нитей и их удельной электропроводностью. Определено, что повышение содержания шерстяного волокна (с 35 до 65%) в смесовой камвольной пряже приводит к усилению антистатического эффекта. Установлены оптимальные значения влажности (8–10%) и удельной электропроводности ( $6430–181200 \text{ Ом}^{-1}\text{м}^{-1}$ ) хлопчатобумажной пряжи при переработке на ткацком станке.

6. Рассмотрен механизм и предложена методика расчета изнашивания основных нитей в процессе переработки, учитывающая состав эмульсии и волокнистый состав нити и позволяющая оценить степень износа материала в конкретных условиях производственно-технологического процесса. Установлено влияние волокнистого состава на износ основных нитей и получены данные по потере массы в процессе трения: для хлопчатобумажной пряжи – в среднем на 16%; для полиэфирной комплексной нити – на 8%; для камвольной пряжи – на 9%. Экспериментально доказано, что обработка разработанными эмульсирующими составами повышает износостойкость камвольной пряжи на 24%; полиэфирной комплексной нити – на 15%, а шликтование хлопчатобумажной пряжи увеличивает её устойчивость к истиранию на 47%.

7. Комплексная оценка показателей растворов ТВВ и обработанных основных нитей позволяет выбрать оптимальные варианты рецептов эмульсии и определить функционирование исследуемого объекта со многими выходными параметрами. Разработана информационно-статическая модель, которая определила основной фактор, влияющие на устойчивость к истиранию основных полиэфирных комплексных нитей – процентное содержание текстильно-вспомогательных веществ на поверхности нити. На разработанные составы веществ получены патенты Российской Федерации № 2222652, № 2341602, № 2285077 и технические условия на текстильно-вспомогательные вещества «Универсал» ТУ 2483-001-71847504-2004 и «Оксилан» ТУ 2483-001-73212158-2004 на производственной базе ООО научно-производственного объединения «ТОСМА–ТЕКС» и ООО «АЛЬБАТЕК».

### **Публикации, отражающие содержание работы Статьи в изданиях из перечня ВАК**

1. **Степанова, Т. Ю.** Исследование влияния ТВВ на коэффициент трения скольжения нити по металлу / Т. Ю. Степанова, В. Г. Мельников, Т. Г. Комарова // Изв. ВУЗов. Химия и химическая технология . – 2003. – Т. 46. – Вып. 7. – С. 121–123. – Библиогр.: с.123.
2. **Степанова, Т. Ю.** Влияние фрикционных свойств пряжи на обрывность основ в ткачестве / Т. Ю. Степанова, В. Г. Мельников, Т. Г. Комарова // Изв. ВУЗов. Химия и химическая технология. – 2003. – Т. 46. – Вып. 8.– С. 126–127. – Библиогр.: с. 127.
3. **Степанова, Т. Ю.** Использование оксиэтилированных ПАВ для шлихтования основ из целлюлозных волокон / Т. Ю. Степанова, В. Г. Мельников, С. Г. Сахарова // Изв. ВУЗов. Химия и химическая технология. – 2006. – Т.49. – Вып.7. – С.125–126. – Библиогр.: с.126.
4. **Степанова, Т.Ю.** Влияние оксиэтилированных ТВВ на электризуемость волокон / Т. Ю. Степанова, С. Г. Сахарова // Изв. ВУЗов. Химия и химическая технология. – 2007. – Т.50. – Вып.10. – С.80–81. – Библиогр.: с.81.
5. **Степанова, Т. Ю.** Влияние высокомолекулярных спиртов на механические и трибологические свойства полиэфирной пряжи / Т. Ю. Степанова, С. Г. Сахарова, Н. К. Романычев // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – 2008. –Т.74. – № 4.– С.62–63. – Библиогр.: с. 63.
6. **Степанова, Т. Ю.** Реологические и трибологические исследования присадки на основе ПАВ / Т. Ю. Степанова // Вестник ИГЭУ. – 2009. – Вып.3. – С. 40–42. – Библиогр.: с.42.
7. **Степанова, Т. Ю.** Трибополимеробразующая присадка к смазочным маслам / Т. Ю. Степанова, В. Г. Мельников, С. Г. Сахарова // Трение и смазка в машинах и механизмах. – 2009. – № 9. – С. 25–26.– Библиогр.: с.26.
8. **Степанова, Т. Ю.** Исследование антифрикционных композиций ПАВ для обработки шерстяной пряжи / Т. Ю. Степанова // Заводская лаборатория. Диагностика материалов.–2010.– Т.76. – №8.– С.58–60. – Библиогр.: с.60.

9. **Степанова, Т. Ю.** Увеличение поверхностной проводимости конструкционных материалов / Т.Ю. Степанова // Вестник ИГЭУ. – 2010. – Вып. 2. – С. 57–59. – Библиогр.: с.59.
10. **Степанова, Т. Ю.** Модификация фрикционных свойств комплексных нитей путем их эмульсирования / Т. Ю. Степанова, С. Г. Сахарова // Изв. ВУЗов. Технология текстильной промышленности. – 2010. – № 8 (239). – С. 12–14. – Библиогр.: с.14.
11. **Степанова, Т. Ю.** Исследование антифрикционных композиций ПАВ для обработки шерстяной пряжи / Т.Ю. Степанова // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – 2010. – Том 76. – № 8. – С. 58–60. – Библиогр.: с.60.
12. **Степанова, Т. Ю.** Статическая модель влияния свойств растворов ПАВ на износостойкость полиэфирных волокон / Т. Ю. Степанова, В. А. Таланова, С. Г. Сахарова // Изв. ВУЗов. Химия и химическая технология. – 2010. – Т. 53. – Вып. 6. – С. 76–78. – Библиогр.: с.78.
13. **Степанова, Т. Ю.** Комплексная оценка рецепта эмульсии для обработки полушерстяной пряжи / Т. Ю. Степанова, А. В. Демидов // Изв. ВУЗов. Технология легкой промышленности. – 2011.– № 3.– С.17–18.– Библиогр.: с.18.
14. **Степанова, Т. Ю.** Влияние поверхностно-активных веществ на механические и фрикционные свойства пряжи / Т. Ю. Степанова, А. В. Демидов // Изв. ВУЗов. Технология легкой промышленности. – 2013. – № 1 . – С. 20–21. – Библиогр.: с.21.

### **Монография**

15. **Степанова, Т. Ю.** Эмульсирование как способ модификации свойств поверхности текстильных материалов: монография / Т. Ю. Степанова. – Иваново: ИГХТУ, 2011. – 118 с. – ISBN 978-5-9616-0388-0.
- 16.

### **Статьи и тезисы в журналах и научных сборниках**

17. **Степанова, Т. Ю.** К вопросу о роли трения при переработке пряжи / Т. Ю. Степанова, В. Г. Мельников, Т. Г. Комарова // Межвуз. сб. науч. тр. «Физика, химия и механика трибосистем». – 2002.– № 1. – С. 24–25. – Библиогр.: с.25.
18. **Степанова, Т. Ю.** Исследование влияния ПАВ на фрикционные свойства волокон / Т. Ю. Степанова, Т. Г. Комарова // Эффект безызносности и триботехнологии. – 2004. – № 1. – С. 37–43. – Библиогр.: с. 43.
19. **Степанова, Т. Ю.** Шлихтующие составы как регуляторы трения хлопчатобумажных волокон / Т. Ю. Степанова, В. Г. Мельников, С. Г. Сахарова // Межвуз. сб. науч. тр. «Физика, химия и механика трибосистем». – 2005. – № 4. – С. 91–93. – Библиогр.: с. 93.
20. **Степанова, Т. Ю.** Разработка и исследование эмульсирующих составов как регуляторов трения волокно-волокно и волокно-металл / Т. Ю. Степанова, В. Г. Мельников, Т. Г. Комарова. – Иваново, 2005. – 13с. – Деп. В ВИНТИ, 14.04.05, № 341.

21. **Степанова, Т. Ю.** Трибологические исследования волокнистых материалов, обработанных растворами полиэтиленгликолевых эфиров / Т. Ю. Степанова // Межвуз. сб. науч. тр. Физика, химия и механика трибосистем. – 2006. – № 5. – С.118-120. – Библиогр.: с. 120.
22. **Степанова, Т. Ю.** Влияние замасливающих составов на основе полиэтиленгликоля на фрикционные свойства волокон / Т. Ю. Степанова // Сборник научных трудов Международной научно-технической конференции «Новые материалы и технологии в машиностроении». – Брянск, БГИТА. – 2006 – Вып. 6. – С. 76–77. – Библиогр.: с.77.
23. **Степанова, Т. Ю.** Влияние эмульсирования на трибологические свойства текстильных нитей / Т. Ю. Степанова, С. Г. Сахарова, Н. К. Романычев // Межвуз. сб. науч. тр. Физика, химия и механика трибосистем. – 2007. – № 6. – С.79–81. – Библиогр.: с. 81.
23. **Степанова, Т. Ю.** Влияние физической модификации на трибологические свойства лавсановых волокон / Т. Ю. Степанова // Межвуз. сб. науч. тр. «Физика, химия и механика трибосистем». – 2007. – №6. – С.88–90. – Библиогр.: с. 90.
24. **Степанова, Т. Ю.** Устройство для обработки нитей антифрикционными составами / Т. Ю. Степанова, С. Г. Сахарова // Межвуз. сб. науч. тр. «Физика, химия и механика трибосистем». – 2008.– Вып. 7.– С.145–146. – Библиогр.: с.146.
25. **Сахарова, С. Г.** Влияние поверхностно-активных веществ на фрикционные свойства полиэфирных волокон / С. Г. Сахарова, Т. Ю. Степанова // Сборник статей VII Региональной научно-технической конференции «Материаловедение и надежность триботехнических систем». – Иваново, ИГХТУ.– 2009.– С.16–20. – Библиогр.: с.20.
26. **Степанова, Т. Ю.** Влияние микроэмульсий на основе ПАВ на трибологические процессы /Т. Ю. Степанова // Материалы Международной научно-технической конференции «Материалы и технологии XXI века». – Пенза, Приволжский дом знаний. – 2009. – С. 171-173. – Библиогр.: с.173.
27. **Степанова, Т. Ю.** Влияние фрикционных свойств шерстяных волокон на усадку ткани / Т. Ю. Степанова // Сборник статей VII Региональной научно-технической конференции «Материаловедение и надежность триботехнических систем». – Иваново, ИГХТУ.– 2009.– С.74–78. – Библиогр.: с.78.
28. **Степанова, Т. Ю.** Исследование влияния эмульсирующих растворов ПАВ на динамический коэффициент трения полиэфирных волокон / Т. Ю. Степанова, С. Г. Сахарова // Современные наукоемкие технологии и перспективные материалы текстильной и легкой промышленности (Прогресс–2010): тез. междунар. научно-техн. конф. / Иван. гос. текст. академ. – Иваново. – 2010. – С. 34–35. – Библиогр.: с.35.
29. **Шикова, Т. Г.** Разработка и исследование замасливателей для химических волокон / Т. Г. Шикова, Т. Ю. Степанова, Т. С. Шишкина, А. А. Логвинова // Сборник научных трудов Международной научно-технической конференции «Новые материалы и технологии в машиностроении». – Брянск, БГИТА. – 2011. – Вып.12.– С. 125–127. – Библиогр.: с.127.

30. **Степанова, Т. Ю.** Влияние смазочных составов на физико-механические свойства полиэфирных нитей / Т. Ю. Степанова // Сборник научных трудов Международной научно-технической конференции «Новые материалы и технологии в машиностроении». – Брянск, БГИТА. – 2011. – Вып.13.– С. 109–111. – Библиогр.: с.111.

### **Патенты Российской Федерации на изобретения**

31. **Пат. 2341602 Российская Федерация, МКИ<sup>7</sup> Д 06 М 13/02, 13/184.** Состав для обработки полиэфирной пряжи / Т. Ю. Степанова, В. Г. Мельников, С. Г. Сахарова; заявитель и патентообладатель Иван. гос. хим-технол. ун-т. – № 2007122034; заявл. 13.06.2007; опубл. 20.12.2008, Бюл. № 35.– 4 с.

32. **Пат. 2222653 Российская Федерация, МПК<sup>7</sup> Д 06 М 13/02, 13/184.** Состав для обработки текстильных волокон и пряжи / Т. Ю. Степанова, В. Г. Мельников, Т. Г. Комарова, Е. В. Орлов; заявитель и патентообладатель Иван. гос. хим.-технол. ун-т. – № 2002113941; заявл. 28.05.2002; опубл. 27.01.2004, Бюл. №3. – 4с.

33. **Пат. 228577 Российская Федерация, МКИ<sup>7</sup> D 06 M 15/333, D 06 M 13/148, D 06 M 13/144, D 06 M 101/06, C 08 L 31/04.** Состав для шлихтования хлопчатобумажной пряжи / Т.Ю. Степанова, В.Г. Мельников; заявитель и патентообладатель Иван. гос. хим.-технол. ун-т. – № 2005116063; заявл. 26.05.2005; опубл. 10.10.2006. Бюл. № 28.– 4 с.

34. **А. с. 1742379 СССР, МПК<sup>7</sup> Д 06 Р 3/14, Д 06 М 15/055, 13/217.** Способ антистатической отделки окрашенных камвольных тканей / Т. Ю. Степанова, Б. Н. Мельников, Л. П. Лосева, И. А. Леднева, Р. А. Бакланова; заявитель и патентообладатель Иван. хим.-технол. ин-т и ИПТШО. – № 4736092; заявл. 08.09.1989; опубл. 22.02.1992. Бюл. №23. – 4с.