

*На правах рукописи*



**КАТАМАНОВ АЛЕКСЕЙ АНДРЕЕВИЧ**

**ПОВЫШЕНИЕ РЕСУРСА НИТЕПРОВОДЯЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ  
ОСНОВОВЯЗАЛЬНЫХ МАШИН ПРИМЕНЕНИЕМ  
ПАРАФИНИРОВАНИЯ С ПРИСАДКАМИ СТЕАРАТОВ МЕТАЛЛОВ**

Специальность 05.02.13 - Машины, агрегаты и процессы  
(лёгкая промышленность)

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание учёной степени  
кандидата технических наук

Иваново – 2019

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Ивановский государственный политехнический университет» (ФГБОУ ВО «ИВГПУ») на кафедре технологических машин и оборудования Института текстильной индустрии и моды.

Научный руководитель: **Егоров Сергей Анатольевич**, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры технологических машин и оборудования ФГБОУ ВО «Ивановский государственный политехнический университет», г. Иваново

Официальные оппоненты: **Годлевский Владимир Александрович**, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры экспериментальной и технической физики ФГБОУ ВО «Ивановский государственный университет», г. Иваново

**Хозина Елена Николаевна**, кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры технологических машин и оборудования ФГБОУ ВО «Российский государственный университет имени А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)», г. Москва

Ведущая организация: ФГБОУ ВО «Костромской государственный университет», г. Кострома

Защита состоится « 20 » июня 2019 года в 14 часов на заседании диссертационного совета Д 212.355.02 на базе ФГБОУ ВО «Ивановский государственный политехнический университет» по адресу: 153000 г.Иваново. Шереметевский пр., д. 21, ауд. У-109.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГБОУ ВО «Ивановский государственный политехнический университет»: [www.ivgpi.com](http://www.ivgpi.com).

Автореферат разослан « \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2019 года.

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
Д 212.355.02, доктор технических  
наук, профессор



Никифорова  
Елена Николаевна

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы диссертационной работы.** Проблема снижения износа и повышения ресурса металлических элементов вязальных машин, в основном игл, в настоящее время является актуальной для текстильной промышленности. В современных условиях остро встает вопрос применения специальных химических веществ, как методов защиты элементов трикотажных машин от повышенного износа текстильными волокнами, в процессе их вязания. Одним из основных методов снижения трения и износа в контакте «нить-металл» является парафинирование, т.е. нанесение на нить химического вещества на основе парафинов. Применение присадок к парафину уменьшает износ элементов трикотажных машин. Повышенный износ является одним из основных факторов, влияющих на простой и экономическую эффективность текстильного оборудования. Уменьшить расходы на ремонт и обслуживание машин возможно, за счёт снижения износа рабочих органов основовязальных машин. Актуальным является повышение ресурса нитепроводящих элементов текстильных машин за счёт использования новых присадок к химическим веществам на основе парафинов, позволяющих добиться реализации в определённой степени эффекта безызносности.

**Степень научной разработанности избранной темы.** Данные вопросы изучались А.В. Труевцевым, А.С. Далидовичем, В.П. Щербаковым, В.М. Лазаренко, Л.А. Кудрявиным, В.Н. Гарбаруком, Ф.А. Моисеенко и другими. Ими установлено, что ресурс нитепроводящих деталей текстильных машин определяется материалом нитепроводников, наличием покрытий на них, геометрией нитепроводников, давлением в контакте «нить – металл», свойствами нитей, а также наличием на нити смазочных веществ.

С учётом использования промышленно выпускаемых нитепроводников, давление в контакте нить-металл зависит от натяжения нити. Натяжение нитей может достигать десятков сН даже с наличием парафинов на поверхности, т.к. на процесс влияет состояние нити (неровнота, влажность, пушение, наличие инородных тел), условия сматывания нити с паковки, а также состояние нитепроводников (наличие лунок износа, заусенцы, острые края, загрязнение).

Снизить пиковые нагрузки на нитепроводники при различных режимах работы текстильных машин предлагается путём снижения трения в контакте нить-металл применением парафинирования нити сплавами с содержанием стеаратов металлов.

**Целью работы** является повышение ресурса нитепроводящих элементов основовязальных машин за счет применения присадок стеаратов металлов переходных групп к парафинам при парафинирования нити в процессе её перемотки.

Для достижения цели поставлены и решены следующие **научные задачи**:

1. Изучено современное состояние вопросов снижения износа нитепроводящих элементов, в результате которого установлено, что одним из основных способов, применяемых на основовязальных машинах, является парафинирование нитей.

2. Разработаны метод, технические и программные средства для измерения параметров трения при контакте нити с нитепроводящими элементами машин с использованием маятникового трибометра, на которых воспроизводятся условия взаимодействия нити с нитепроводящими элементами основовязальных машин.

3. Получены экспериментальные зависимости параметров трения от кинематических и динамических характеристик нити для прогнозирования ресурса элементов основовязальных машин.

4. Выявлено влияние включения стеаратов металлов при парафинировании нитей на ресурс металлических нитепроводников различного состава и коэффициент трения нити с нитепроводящими элементами основовязальных машин с использованием разработанного нами маятникового трибометра.

5. Определено оптимальное соотношение составляющих парафинового сплава со стеаратами металлов обеспечивающих повышение ресурса нитепроводящих деталей основовязальных машин.

**Объект исследования** - система “нить - нитепроводящий элемент” основовязальных машин.

#### **Научная новизна работы:**

Предложен метод измерения параметров трения нити с нитепроводящими элементами основовязальных машин, реализованный на основе маятникового трибометра, доказано повышение ресурса нитепроводящих элементов основовязальных машин путем парафинирования нитей с применением стеаратов металлов переходных групп, реализующих металлоплакирование.

1. Разработана математическая модель контакта «нить - нитепроводящий элемент» для определения зависимости момента трения маятникового трибометра от технологических параметров, определяющих взаимодействие нити с нитепроводящими элементами, позволяющая прогнозировать параметры процесса трения нити с нитепроводящими элементами на основовязальных машинах.

2. Разработана имитационная математическая модель маятникового трибометра, позволившая определить его амплитудно-частотные характеристики и расчетные значения статического и динамического коэффициентов трения контакта «нить - нитепроводящий элемент», как входных параметров для конструирования устройств регистрации трения в основовязальных машинах.

3. Разработаны методики измерения параметров трения маятниковым трибометром с использованием цифрового датчика угла наклона маятника, их регистрации и создания информационной базы данных параметров трения.

4. На примере основовязальной машины ОВ-160 методом «чёрного ящика» показана возможность повышения ресурса игл машины применением парафинирования пряжи с присадками стеаратов металлов.

5. Разработан новый состав сплава для парафинирования нитей на основе парафина с присадками стеаратов металлов, реализующий эффект безызносности и повышающий ресурс нитепроводящих деталей в 1,5 раза.

6. На примере хлопчатобумажной пряжи линейной плотности 25 текс получена зависимость износа от компонентного состава парафинового сплава, позволяющая прогнозировать ресурс нитепроводящих деталей основовязальных машин.

**Теоретическая значимость работы** для теории проектирования и эксплуатации машин лёгкой промышленности заключается в получении математических моделей для прогнозирования ресурса нитепроводящих элементов на основовязальных машинах, которые учитывают состав присадок к парафиновым сплавам.

#### **Практическая значимость работы:**

1. Разработаны и апробированы системы измерения параметров трения в контакте пары трения «нить - нитепроводящий элемент» маятниковым трибометром с использованием, как аналогового, так и цифрового датчика угла наклона маятника, аппаратного и программного обеспечения.

2. Разработана лабораторная установка для проведения трибологических испытаний в контакте «нить-металл», позволяющая производить исследования поискового характера, различных сплавов для парафинирования нитей и оценку работоспособности измерительных устройств.

3. Произведены исследования сплавов различного состава для парафинирования нитей на основе стеаратов металлов переходных групп, с целью поиска оптимального соотношения компонентов.

4. Разработан измерительный комплекс контроля параметров трения в основовязальной машине ОВ-160 применительно к условиям контакта «нить - нитепроводящий элемент». Новизна технического решения подтверждена патентом РФ на полезную модель №152958: «Устройство для измерения коэффициента трения текстильного материала»;

5. Разработанные лабораторные стенды для исследования процесса трения внедрены в учебный процесс по дисциплине «Основы триботехники» по направлению подготовки магистров 15.03.02 «Технологические машины и оборудование».

**Методология и методы диссертационного исследования.** В диссертационной работе проанализированы имеющиеся в российской и зарубежной научно-технической литературе сведения о процессе, причинах и

мерах противодействия износу металлических элементов в трикотажных машинах. Работа содержит результаты теоретических и экспериментальных исследований. В теоретических исследованиях использованы методы дифференциального и интегрального исчисления, теория упругих колебаний, механики гибкой нити. Экспериментальные исследования проводились методами потенциометрии и обработки цифровых сигналов. Данные испытания, а так же планирование эксперимента проводилось с использованием методов математической статистики.

**Положения, выносимые на защиту:**

1. Компьютерная модель маятникового трибометра, позволяющая прогнозировать изменение параметров процесса трения во времени и конструировать устройства регистрации трения.

2. Методики и системы измерения параметров трения маятниковым трибометром с использованием цифрового датчика угла наклона маятника, а также программное обеспечение, реализующее регистрацию.

3. Лабораторные стенды, моделирующие процесс движения нити в основовязальной машине, необходимые для проведения трибологических испытаний в контакте «нить - нитепроводящий элемент», позволяющие производить исследования, поискового характера, различных сплавов для парафинирования нитей и оценку работоспособности измерительных устройств.

4. Разработанный состав для парафинирования нитей на основе стеаратов металлов, реализующий эффект безызносности и повышающий ресурс нитепроводящих деталей основовязальных машин.

5. Система измерения параметров трения в контакте «нить - нитепроводящий элемент», установленная на основовязальной машине ОВ-160.

**Степень достоверности и апробация результатов работы.** Основные положения диссертационной работы докладывались и получили положительную оценку: МНТК «Молодые учёные – развитию текстильно-промышленного кластера» (ПОИСК-2014), МНТК «Инновационные технологии развития текстильной и лёгкой промышленности» Москва 2014 г, МНТК «Молодые учёные – развитию текстильно-промышленного кластера» (ПОИСК-2015), МНПФ «Физика волокнистых материалов: структура, свойства, наукоёмкие технологии и материалы» (SMARTEX-2016), ВНИПК «Молодёжь и новые информационные технологии», Череповец, 2016 г, ВНИПК «Надёжность и долговечность машин и механизмов», Иваново 2017, МНТК «Молодые учёные – развитию текстильно-промышленного кластера» (ПОИСК-2017), ВНИПК «Надёжность и долговечность машин и механизмов», Иваново 2018, «Молодые учёные – развитию Национальной технологической инициативы» (ПОИСК-2018), МНПФ «Физика волокнистых материалов: структура, свойства, наукоёмкие технологии и материалы» (SMARTEX-2018), Международный семинар по теории механизмов и машин им. академика И.И. Артоболевского (РАН) (Костромской филиал).

**Основные результаты** выполненных исследований опубликованы в 19 печатных работах, в том числе 3 статьи в журналах из Перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание учёной степени кандидата наук, 1 патент РФ, 1 свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ, 2 учебно-методические разработки и 12 статей в других изданиях.

**Объём и структура работы.** Диссертация состоит из введения, 5 глав, общих выводов, списка использованных источников, приложений и изложена на 175 страницах машинописного текста, включая 74 рисунков и 18 таблиц.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обоснована актуальность темы исследования, сформулированы цели и задачи. Раскрыты элементы научной новизны и практическая значимость работы.

**В первой главе** анализируется современное состояние вопросов вязания трикотажа, повышение производительности и качества трикотажных полотен. Анализируются способы стабилизации натяжения нити, вопросы снижения трения и изнашивания в контакте металл-металл и нить-металл, современное состояние вопроса измерения трения в трибосопряжениях.

По данным вопросам проведен ряд исследований. К ним относятся работы учёных: А.В. Труевцева, А.С. Далидовича, В.П. Щербакова, В.М. Лазаренко, Л.А. Кудрявина, В.Н. Гарбарука, Ф.А. Моисеенко, М.И. Худых, Г.М. Травин, Г.К. Букалов, А.К. Прокопенко и др.

В результате изучения данных, приведённых в работах российских и зарубежных учёных, материалах научных конференций, патентной и конструкторской документации, определены существующие проблемы в области повышения ресурса металлических элементов и стабильности натяжения нитей в основовязальных трикотажных машинах. Определены направления совершенствования узлов основовязальных трикотажных машин.

Большинством исследователей отмечается, что ресурс нитепроводящих деталей трикотажных машин определяется материалом нитепроводников, наличием покрытий на них, геометрией нитепроводников, давлением в контакте нить-металл, свойствами нитей, а также наличием на нити смазочных веществ.

При анализе литературы установлено, что некоторые смазочные материалы, содержащие в своём составе органические соли меди, могут образовывать при определённых условиях сервоитные плёнки, значительно снижающие трение и износ.

С учётом выявленных направлений, для достижения цели поставлены следующие задачи научно - технического исследования:

- разработка метода и методики измерения параметров трения при контакте нить-металл с использованием маятникового трибометра;

- разработка технических и программных средств для измерения параметров трения;
- испытание химических составов для парафинирования нитей на основе стеаратов металлов;
- проведение оптимизации состава парафинового сплава, с целью нахождения оптимального соотношения составляющих компонентов.

**Во второй главе** приведены вывод уравнения движения элемента нити по нитепроводнику, математическая модель трибоконтакта, используемая при моделировании физических устройств, моделирование физических устройств контроля натяжения нити, физическая модель для лабораторных испытаний и разработка функциональной схемы измерительной системы для основывальной машины ОВ-160.

Проектирование и расчет механизмов трикотажных машин основывается на контактном взаимодействии нити с нитепроводниками, роликами, нитенатяжителями, шкивами и др. В процессе взаимодействия гибкой нити с металлической поверхностью при переходе от одного органа к другому изменяется натяжение нити и сила трения в контакте. Поэтому, попадая в зону формирования петли, нить имеет случайное значение натяжения, сформированного за цикл:

$$T = \left(T_0 - \frac{\mu_0 u_0^2}{1 + \varepsilon}\right) e^{f\varphi} + \mu_0 C^2 (1 + \varepsilon)$$

где  $T$  - натяжения гибкой нити,  $T_0$  - предыдущее натяжение нити, угол охвата нитью нитепроводника  $\varphi$ , коэффициента трения скольжения  $f$ ,  $l$  – произвольная дуга огибания нитепроводника, изменяется от начала касания нитью нитепроводника (точки начала отсчета  $0$ ), до произвольного нормального сечения  $M$ ,  $u$  – скорость скольжения по направляющей,  $\varepsilon$  – относительное удлинение нити,  $\mu_0$  – линейная плотность нити в нерастянутом состоянии.

Формула показывает сложную зависимость натяжения от вязкоупругих свойств нити, квадратичную зависимость от скорости движения, прямо пропорциональную зависимость от нагрузки, экспоненциальную зависимость от величины охвата нитепроводника нитью и коэффициента трения. Таким образом, изменяя перечисленные параметры можно изменять натяжение.

Для исследования процессов происходящих в узле трения были разработаны статическая и динамическая модели машины трения. Статическая модель позволяет рассчитать угол отклонения маятника машины трения в зависимости от вида смазочного материала, длины плеча маятника и нагрузки на узел. В разработанных моделях возможно построение графиков зависимостей угла отклонения маятника от длины плеча маятника, силы сжатия образцов и характеристик смазочных материалов.

Для подробного изучения работы машин трения статической модели недостаточно. Требуется модель с возможностью наблюдения за динамикой процесса работы машины. Для её создания потребовалось более подробно



рассмотреть переходные процессы, происходящие в машине и математически описать их. Получены аппроксимирующие функции разгона и торможения маятника машин в численной и аналитической формах.

На основании полученных зависимостей построены компьютерные модели в виде программ на языке Visual Basic. Компьютерная модель позволяет произвести изучение влияния физических параметров машины и смазочного вещества на выходную физическую величину – угол наклона маятника. Динамическая модель позволяет рассмотреть колебательный процесс движения маятника машины трения.

В дальнейшем, результаты исследования математических имитационных моделей были использованы при моделировании физических устройств регистрации и контроля трения нитей. Были изготовлены устройства для измерения момента трения и коэффициента трения. На основе этих устройств были собраны машины трения для испытания смазочных материалов и материалов узлов трения основовязальных машин. Получен патент на полезную модель на устройство для измерения коэффициента трения текстильного материала.

Был разработан, что подтверждено свидетельством, программный комплекс для измерения момента трения. Программный комплекс предназначен для функционирования системы измерения момента трения. Он осуществляет управление системой измерения с целью первоначальной обработки сигналов с цифрового датчика и передачи их в компьютер с помощью СОМ-порта, а также обеспечивает окончательную обработку полученной информации на персональном компьютере, её графическое представление в удобной для работы форме и сохранение в виде файла для дальнейших исследований). Алгоритм работы микроконтроллерного блока разработанного программного комплекса показан на рис.1.

При включении питания контроллера происходит его первичная инициализация. После её завершения проверяется наличие связи с компьютером и получение исходных данных для измерения: N- количество измерений и T- пауза между измерениями. Основной цикл работы состоит из получения информации об изменении положения датчика, её обработки и передачи в компьютер. Регулируемая временная задержка осуществляет паузу между измерениями. Двигатель установки запускается в начале измерения, а отключается при прохождении половины измерений. Параллельно с основным циклом работает небольшая процедура обработки прерывания, которая позволяет получать информацию с датчика. После окончания цикла измерений, в присутствии питания, ожидается получение новых исходных данных. Программа для микроконтроллера разработана в среде MicroC на основе алгоритма системы измерения.

Для управления работой системы измерения, приёма и обработки данные с цифрового датчика разработана программа для операционной системы Windows. Внешний вид окна программы показан на рис.2.

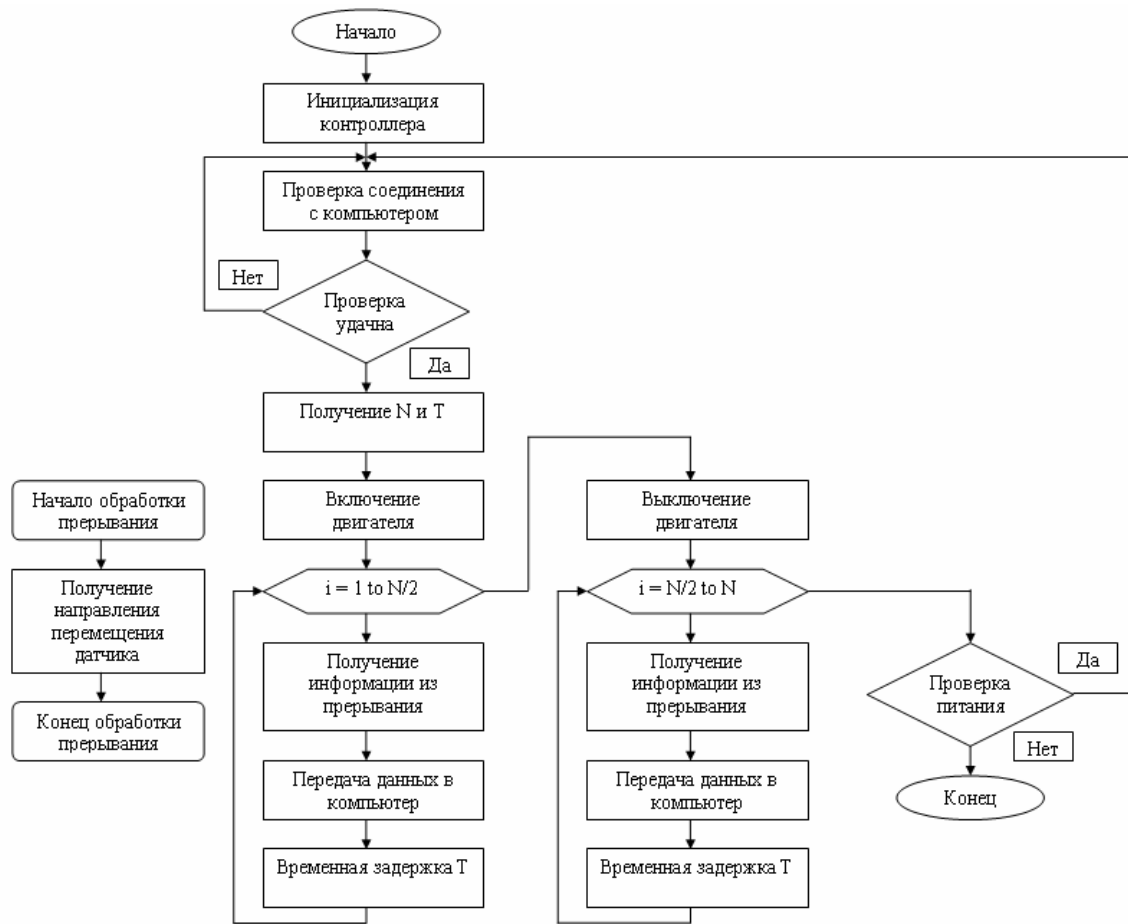


Рис. 1 - Алгоритм работы микроконтроллерного блока разработанного программного комплекса

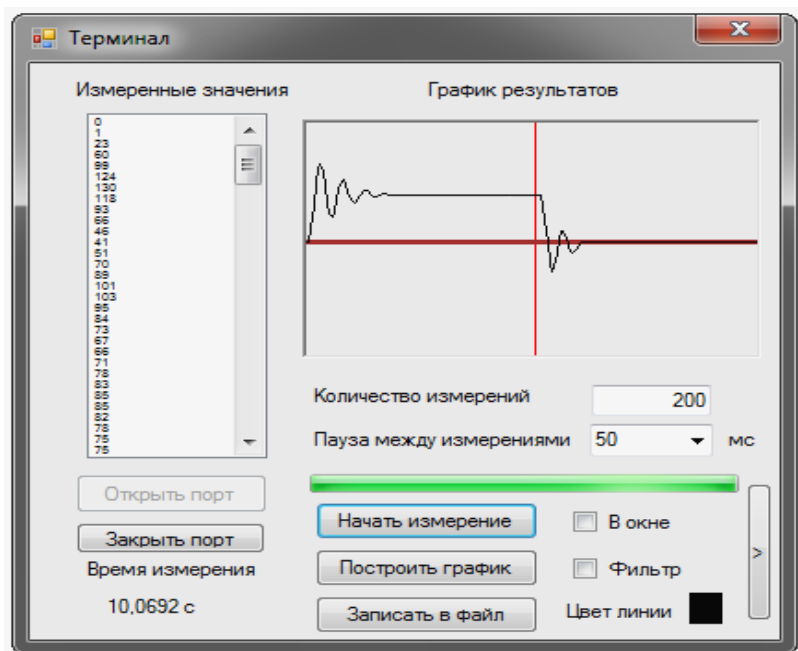


Рис. 2 - Внешний вид окна программы управления работой системы измерения

Для проверки работоспособности в различных режимах работы и получения графиков изменения процесса трения, происходящие при работе машины в присутствии различных смазочных веществ, были проведены лабораторные исследования.

На фоне достаточно простой и надёжной конструкции основовазальной машины ОВ-160, в ней обнаружен недостаточный контроль за равномерностью и процессом трения нитей в процессе передачи её со сновального вала к вязальному узлу. Для решения данной задачи машина была представлена в виде черного ящика. Был выявлен выход и параметр, который контролировался в процессе работы. Это коэффициент трения нити о нитепроводники.

На следующем этапе моделирования был установлен вход системы (нитенатягивающее устройство) и определен параметр – угол поворота, посредством которого можно осуществлять изменение работы системы. Далее было проведено моделирование обратной связи между выходом и входом системы и определен регулятор, который позволяет осуществлять обратную отрицательную связь. Это суммирующее устройство.

На основе документации и разработанной модели черного ящика была разработана структурная схема системы измерения и регулирования равномерности движения и параметров трения нити, которая позволяет снизить неравномерность процесса трения (рис. 3).

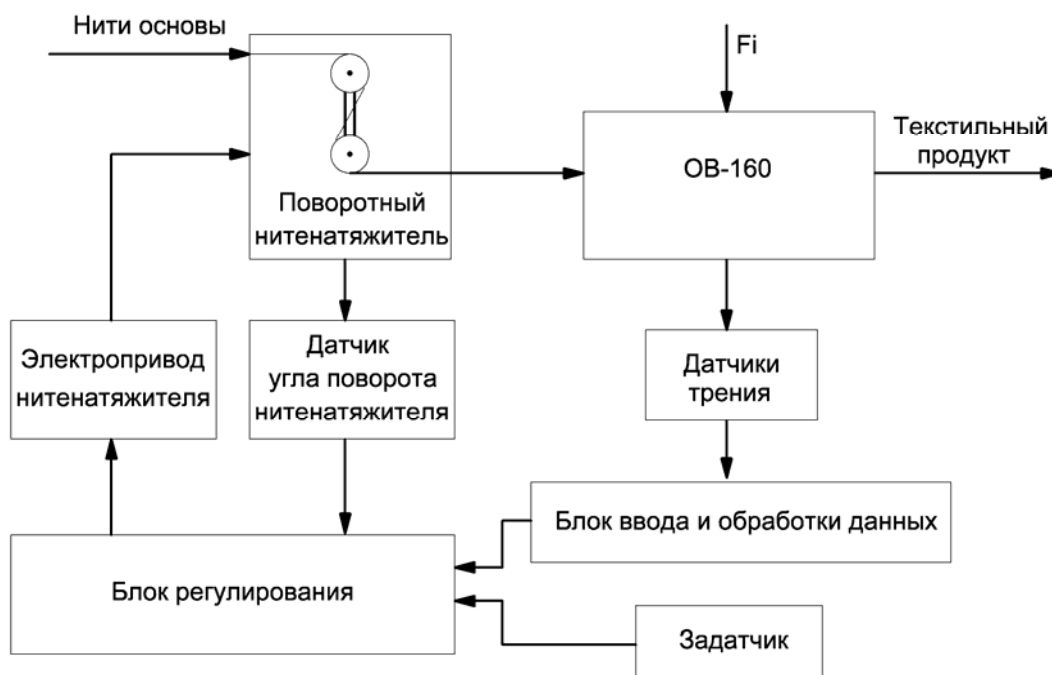


Рис. 3 - Структурная схема системы измерения и контроля

Измерительная система состоит из нескольких датчиков трения нитей и блока ввода и усреднения поступивших данных. Усреднённые значения с датчиков поступают на блок регулирования, который на основе этой информации и математического закона регулирования управляет

электроприводом поворотного нитенатяжителя. Математическая обработка полученной информации проведена микроконтроллером с соответствующим программным обеспечением. Электропривод выполнен на основе шагового двигателя.

**В третьей главе** описаны разработанные системы измерения и приводятся результаты их испытаний.

В ходе работ по решению поставленных задач исследования были выявлена необходимость разработки систем измерения параметров трения нитей.

На основе проведённого моделирования, с целью повышения точности замеров параметров трения, была разработана измерительная система на основе аналогового датчика. Датчик аналогового сигнала служит для преобразования изменения физической величины в изменение напряжения.

Входной преобразователь аналогового сигнала согласует напряжения поступающее с датчика в напряжение необходимое для правильной и эффективной работы АЦП. АЦП преобразует входящее в него напряжение в соответствующий ему цифровой код. Преобразователь уровней логических сигналов служит для согласования уровней сигналов АЦП с уровнями сигналов СОМ порта компьютера.

При испытании разработанной системы измерения, у неё были обнаружены существенные недостатки: нелинейность зависимости выходного сигнала датчика от физической величины, необходимость периодической корректировки нуля шкалы измерения и низкая разрешающая способность АЦП.

Дальнейшим развитием измерительной системы стала структурная схема новой системы измерения, показанная на рис. 4.

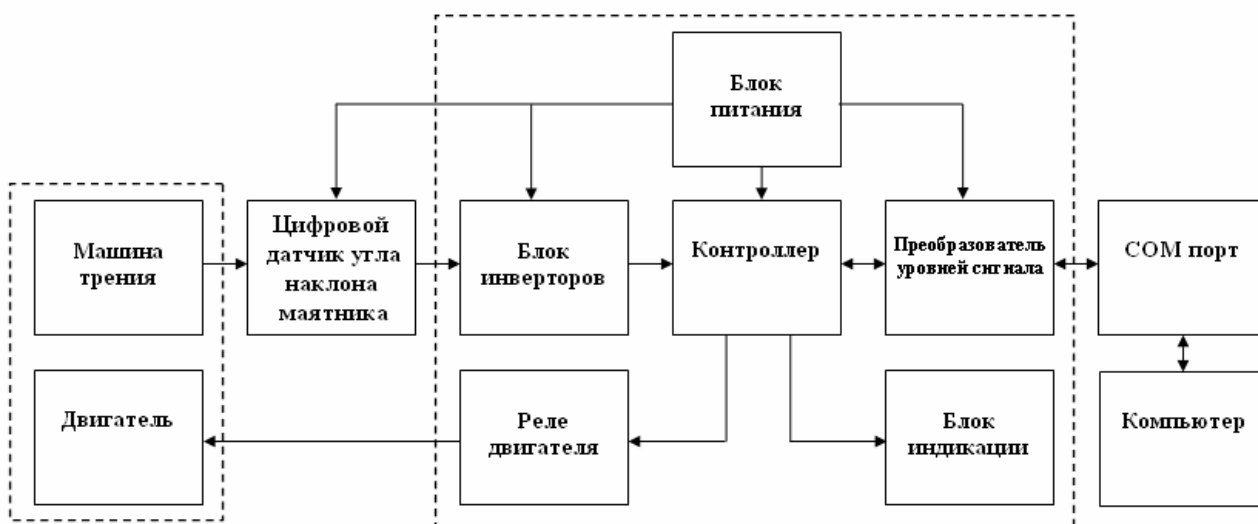


Рис.4 - Структурная схема измерительной системы на основе цифрового датчика угла наклона маятника машины

В этой системе измерения используется цифровой датчик угла наклона маятника машины - инкрементный энкодер. В данном устройстве механическое перемещение маятника преобразуется в электрические сигналы, дающие информацию об угле поворота и направлении движения. Цифровой сигнал с энкодера, после инвертирования, подаётся на вход микроконтроллера. Микроконтроллер подключен к персональному компьютеру с помощью СОМ порта, по которому осуществляется передача данных. В процессе проведения измерения, включение двигателя установки на определённое время осуществляется с помощью реле, подключенного к выходу контроллера. Режимы работы установки отображаются блоком индикации.

Были произведены исследования параметров трения с помощью обеих разработанных систем измерения. Обработанные результаты представлены в виде графиков зависимости коэффициента трения от нагрузки. Произведён анализ графиков с целью определения режимов трения.

**В четвёртой главе** рассмотрены технологические переходы производства трикотажного полотна и выбран технологический переход для нанесения смазочного материала, произведена разработка и проверка в лабораторных условиях установки для исследования процесса трения нитей, а так же рассмотрен вопрос оптимизации смазочного состава для парафинирования.

Ранее было обосновано применение парафиновых составов для снижения трения и стабилизации натяжения при выработке трикотажных полотен.

Рассмотрим технологические переходы производства трикотажного полотна: контроль качества сырья, расфасовка сырья, перемотка пряжи, снование нитей, вязание полотна, сортировка сурового полотна, маркировка полотна, комплектование партии (рис.5). В качестве технологического перехода для нанесения смазочного материала был выбран процесс перемотки. Эффект от нанесения смазочного материала наблюдаем в процессе вязания полотна.



Рис. 5 - Технологические переходы производства трикотажного полотна

Для лабораторного исследования процессов происходящих при трении текстильных материалов и элементов технологического оборудования в присутствии различных смазывающих химических веществ, была разработана лабораторная установка. Внешний вид показан на рис. 6.

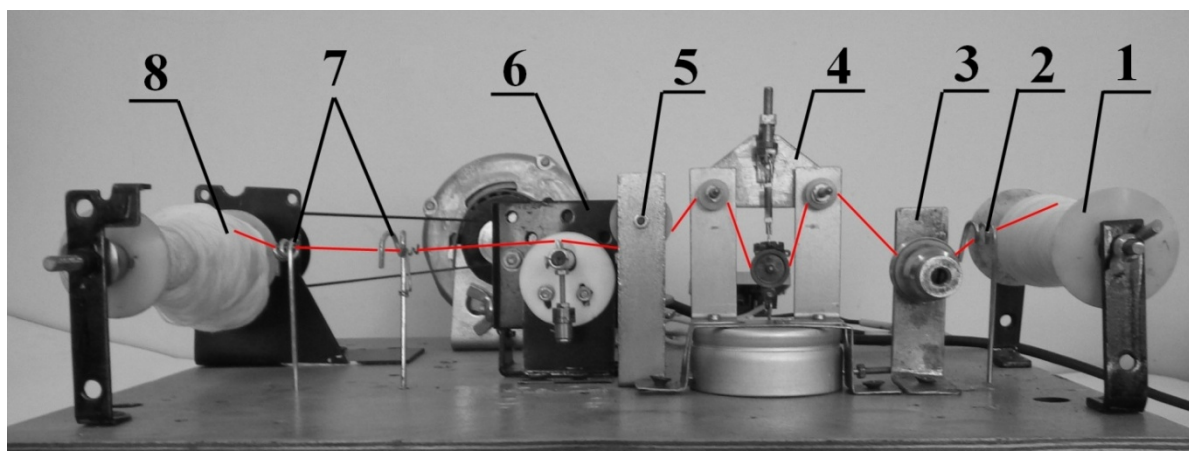


Рис. 6 - Внешний вид лабораторной установки для испытаний на трение и износ в контакте нить-металл,  
где: 1 - подающая катушка, 2 - нитенаправитель, 3 - нитенатяжитель, 4 - датчик натяжения, 5 - направляющий ролик, 6 - маятниковый трибометр, 7 - нитеукладчик, 8 - приёмная катушка

Основой узла измерения трения является маятниковый трибометр. Исследуемая нить, перематываемая с подающей катушки на приёмную, проходит через маятниковый трибометр, маятник которого отклоняется на угол, зависящий от момента трения нити и нитепровода. Установка оснащена цифровым датчиком угла поворота маятника (инкрементным энкодером) промышленного изготовления.

В ходе проведённых испытаний, были проведены исследования влияния смазывающих веществ (на парафиновой основе с присадками) на трение текстильных материалов. Были проведены исследования составов для парафинирования нитей с добавками стеаратов олова, кобальта, никеля, свинца и меди. Выявлены зависимости их концентрации с моментом трения и износом. Выявлена необходимость оптимизации составов, содержащих соли меди, никеля и кобальта.

Благодаря проведению многофакторного эксперимента была выявлена зависимость износа от содержания присадок стеаратов металлов в парафине:

$$y = 70,41 - 63,33x_1 - 26x_2 + 25,33x_3$$

где  $X_1$  – осерненный стеарат меди,  $X_2$  – глицерин,  $X_3$  – стеарат никеля.

В эксперименте использована хлопковая нить 25 текс и нитепроводник из стали 20Х, скорость перемотки 600м/мин, нагрузка не превышала 0,6Н.

При помощи симплекс-планирования получено условно оптимальное соотношение присадок к парафиновому сплаву, которые реализуют эффект металлоплакирования:  $X_1=1,34$ ;  $X_2=0,5$ ;  $X_3=0,56$ . Результаты симплекс-планирования эксперимента в графической форме показаны на рис. 7.

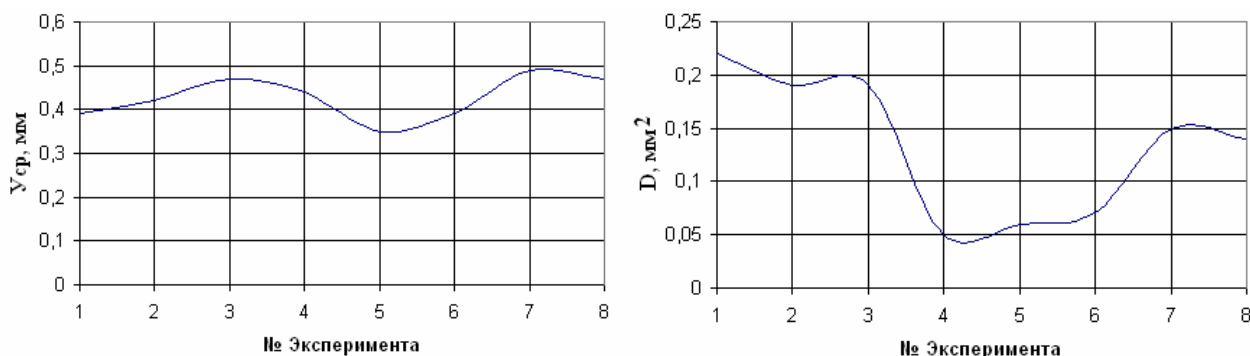


Рис. 7 - Результаты симплекс-планирования эксперимента

В результате трибоактивации в месте реального контакта будет протекать реакция замещения атомов никеля атомами железа с образованием стеарата железа. В свою очередь атомы никеля будут образовывать твердый раствор на поверхности. Образующаяся новая фаза будет являться катализатором процесса выделения меди из стеарата и роста кристаллической решётки, содержащей медь, железо и серу с предполагаемой формулой  $\text{CuFeS}_2$ .

**В пятой главе** показано применение разработанной системы измерения и управления в производственных условиях и произведён расчёт экономической эффективности от внедрения нового смазочного состава.

Были рассмотрены траектории прохождения нитей основы и полученного полотна в машине ОВ-160. На основе полученных данных разработана схема установки измерительных устройств для машины ОВ-160 (рис.8).

Для подтверждения работоспособности и эффективности применения разработанной системы измерения и контроля на основязальной машине, были проведены производственные испытания. В ходе проведённых испытаний, были проведены исследования влияния смазывающих веществ (на восковой основе с присадками) на трение текстильных материалов в основязальной машине ОВ-160. Замеры произведены с помощью разработанной измерительной системы в двух точках машины: на нити передней и задней основы. Смазывающие вещества были нанесены в процессе перемотки нитей.

Был произведён расчёт экономической эффективности от внедрения новой смазочной композиции, выражающийся в уменьшении затрат на замену игл, за счет повышения их срока службы.

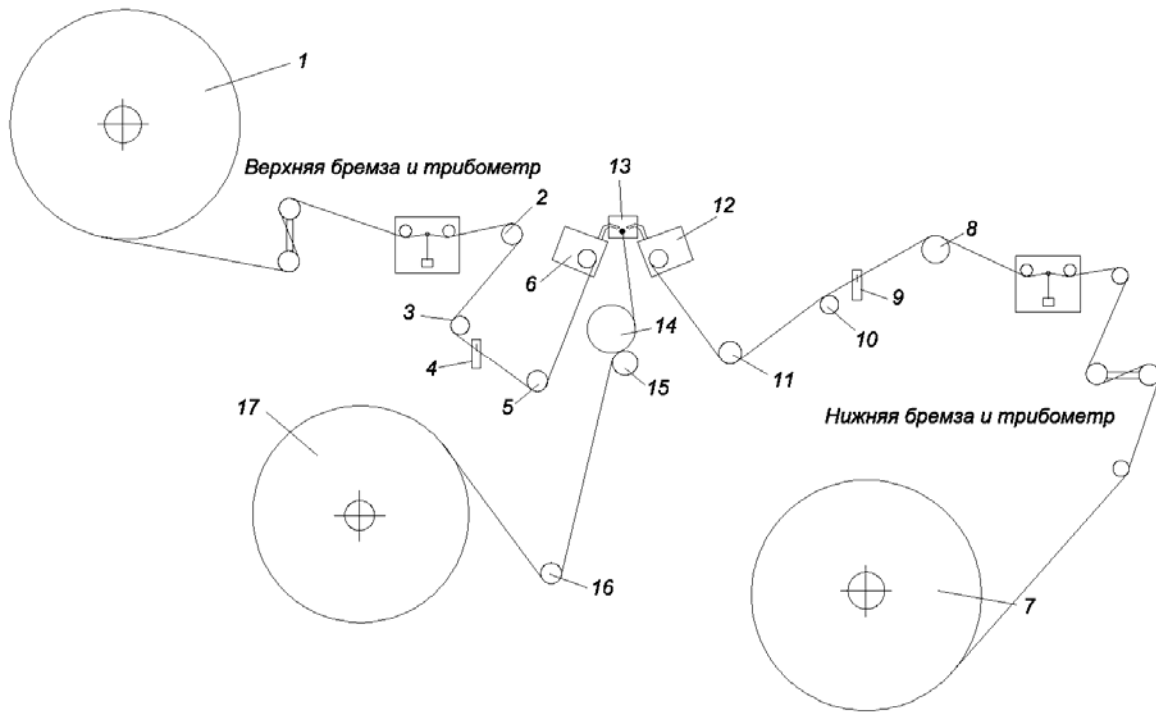


Рис.8 - Схема установки трибометров и нитенатяжителей на машину ОВ-160

### Итоги выполненного исследования

1. На основе анализа современного состояния процесса вязания трикотажа установлено, что для повышения ресурса нитепроводящих деталей основязальных машин необходимо обеспечить снижение трения в контакте «нить – нитепроводящий элемент».

2. Разработана структурная схема измерительной системы для машины ОВ-160, позволяющая контролировать натяжение в процессе движения нитей и анализировать процесс трения нити о нитепроводники, с целью совершенствования конструктивных и технологических параметров машины.

3. Разработана адекватная математическая имитационная модель узла трения и её программная реализация, позволяющие изучить влияние физических параметров машины и смазочного вещества на выходную физическую величину – угол наклона маятника машины трения.

4. Создан ряд экспериментальных стендов для исследования процесса трения в контакте «нить - нитепроводящий элемент», которые были использованы для оценки работоспособности разрабатываемых измерительных устройств и исследования различных сплавов для парафинирования нитей.

5. Экспериментально исследован ряд парафиновых сплавов с содержанием стеаратов металлов переходных групп для парафинирования нитей в процессе их перемотки, с целью достижения эффекта безызносности. Ресурс рабочих органов повышен в 1,5 раза.

6. Получена линейная модель зависимости износа стальных нитепроводников х/б нитью линейной плотностью 25 текс от химического



состава присадок к парафиновому сплаву, позволяющая прогнозировать снижение износа нитепроводников при парафинировании нити сплавами с разработанными присадками стеаратов металлов.

7. Определён симплекс-методом оптимальный состав сплава для обработки нитей перед вязанием на основовязальных машинах и выбран оптимальный состав на основе парафина с содержанием компонентов осерненный стеарат меди, глицерин, стеарат никеля: 1,34:0,5:0,56.

8. Произведен расчет ожидаемого экономического эффекта от внедрения разработанного парафинового сплава на основовязальной машине ОВ-160. Годовой экономический эффект, выразившийся в уменьшении эксплуатационных расходов и повышении срока службы нитепроводников, составил 424 тыс. руб. на 1 машину.

### **Рекомендации, перспективы дальнейшей разработки темы**

Проведённые исследования могут служить основой:

- для разработки новых составов для парафинирования нитей с присадками на основе стеаратов металлов переходных групп;
- для формирования базы данных по коэффициенту трения для широкого ассортимента текстильных нитей;
- для разработки новых экспериментальных стендов для исследования процесса трения в контакте нить-металл, с использованием различных смазочных материалов;
- для постановки новых лабораторных работ по дисциплине «Основы триботехники» и др.

### **Основные научные публикации по теме диссертационного исследования**

Статьи в журнале «Известия вузов. Технология текстильной промышленности» (входит в международную базу цитирования Scopus):

1. Катаманов, А.А. Модернизация системы автоматизированного сбора данных машины трения/ А.А. Катаманов, С.А. Егоров, А.В. Иванов// Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности - № 3 (351). - 2014. - С. 97 - 100 - 0,25 п.л./0,15 п.л.

2. Катаманов, А.А. Разработка и исследование модели машины трения/ Р.Р. Алешин, А.А. Катаманов, А.В. Иванов, С.А. Егоров, Е.К. Викторов// Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности - № 6 (360). - 2015. - С. 153 – 156 - 0,25 п.л./0,15 п.л.

3. Катаманов, А.А. Электромеханическая микроконтроллерная система управления натяжением основы на основовязальных машинах/ Е.К. Викторов, С.Ю. Павлычев, А.А. Катаманов, С.А. Егоров// Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности - № 6 (360).- 2015.- С. 161-163 - 0,19 п.л./0,1 п.л.

## Патенты и свидетельства:

4. Патент на полезную модель №152958 Российская федерация. Устройство для измерения коэффициента трения текстильного материала/ Павлычев С.Ю., Катаманов А.А., Егоров С.А.; заявитель и патентообладатель ИВГПУ; опубл. 1.05.2015 Бюл. №32.- 3 с.

5. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2016611559 Российская федерация. Программный комплекс для измерения момента трения/ Катаманов А.А., Егоров С.А., Павлычев С.Ю.; заявитель и правообладатель ИВГПУ; опубл. 4.02.2016.- 3 с.

## Материалы научно-технических конференций:

6. Катаманов, А.А. Модернизация маятникового трибометра / А.А. Катаманов, С.А. Егоров, А.В. Иванов // Молодые ученые - развитию текстильно-промышленного кластера (ПОИСК-2012).- Иваново, 2012.- С. 13 - 14.

7. Катаманов, А.А. Компьютерное моделирование маятникового трибометра / А.А. Катаманов, С.А. Егоров, С.Ю. Павлычев // Молодые ученые - развитию текстильно-промышленного кластера (ПОИСК-2014).- Иваново, 2014.- С.18.

8. Катаманов, А.А. Система управления натяжением основы на основовязальных машинах / Е.К. Викторов, С.Ю. Павлычев, А.А. Катаманов, С.А. Егоров // Дизайн, технологии и инновации в текстильной и легкой промышленности (ИННОВАЦИИ - 2015). Сборник материалов международной научно-технической конференции.- Московский государственный университет дизайна и технологии. 2015.- С.250 - 252.

9. Катаманов, А.А. Конструкция маятникового трибометра с автоматическим измерением момента / И.С. Лебедев, А.А. Катаманов, А.В. Иванов // Современные инструментальные системы, информационные технологии и инновации. Сборник научных трудов XII-ой Международной научно-практической конференции: в 4-х томах, 2015. - С.353-356.

10. Катаманов, А.А. Разработка системы считывания технологических параметров машины трения / А.А. Катаманов, А.В. Иванов, С.А. Егоров, Е.К. Викторов // Дизайн, технологии и инновации в текстильной и легкой промышленности (ИННОВАЦИИ - 2015). Сборник материалов международной научно-технической конференции. - Московский государственный университет дизайна и технологии, 2015.- С. 253 - 256.

11. Катаманов, А.А. Применение цифрового энкодера для исследования процесса трения текстильных материалов // Прогрессивные технологии и процессы. Сборник научных статей 2-й Международной молодежной научно-практической конференции в 3-х томах.- 2015.- С.46-47.

12. Катаманов, А.А. Применение цифрового датчика угла поворота для измерения коэффициента трения текстильных материалов / А.А. Катаманов, С.А. Егоров // Молодые ученые - развитию текстильно-промышленного кластера (ПОИСК-2015).- Иваново. 2015.- С.46-47.

13. Катаманов, А.А. Испытание компонентов смазочных материалов для парафинирования трикотажных нитей / А.А. Катаманов, Р.Р. Алешин // Физика волокнистых материалов: структура, свойства, наукоемкие технологии и материалы (SMARTEX-2016) Т. 2. № 1.- Иваново, 2016.- С. 103 - 110.

14. Катаманов, А.А. Автоматизированный сбор данных для машины трения / А.А. Катаманов, С.А. Егоров // Молодежь и новые информационные технологии. Всероссийская научно-практическая конференция молодых ученых в рамках Программы развития деятельности студенческих объединений Череповецкого государственного университета «РАЙОН IT».- Череповец, 2016.- С. 110-114.

15. Катаманов, А.А. Разработка смазочных материалов для парафинирования нитей / А.А. Корниенко, А.А. Катаманов, Н.Е. Егорова // Современные материалы, техника и технологии.- 2016, № 5(8).- С. 107 - 111.

16. Катаманов, А.А. Смазочные материалы для парафинирования нитей / А.А. Корниенко, А.А. Катаманов, Н.Е. Егорова // НАДЕЖНОСТЬ И ДОЛГОВЕЧНОСТЬ МАШИН И МЕХАНИЗМОВ, сборник материалов VIII Всероссийской научно-практической конференции.- 2017.- С.316 - 319.

17. Катаманов А.А. Изучение колебательного процесса маятниковой машины трения / А.А. Катаманов, С.А. Егоров // Молодые ученые - развитию текстильно-промышленного кластера (ПОИСК-2017) № 2.- Иваново, 2017.- С. 264.

18. Катаманов, А.А. Управление натяжением на основовязальной машине / А.А. Катаманов, С.А. Егоров // НАДЕЖНОСТЬ И ДОЛГОВЕЧНОСТЬ МАШИН И МЕХАНИЗМОВ, сборник материалов IX Всероссийской научно-практической конференции.- 2018.- С.486 - 489.

19. Катаманов А.А. Модернизация основовязальной машины ОВ-160 / А.А. Катаманов, С.А. Егоров // Молодые ученые - развитию Национальной технологической инициативы (ПОИСК-2018) .- Иваново, 2018.- С. 250.

Подписано в печать 09.04.2019.

Формат 60x84  $\frac{1}{16}$ . Плоская печать.

Усл. печ. л. 1,16. Уч.-изд. л. 1,11. Тираж 100 экз. Заказ № 3771

ФГБОУ ВО «Ивановский государственный политехнический университет»

Редакционно – издательский отдел УИРиК

153000, г. Иваново, Шереметевский проспект, 21