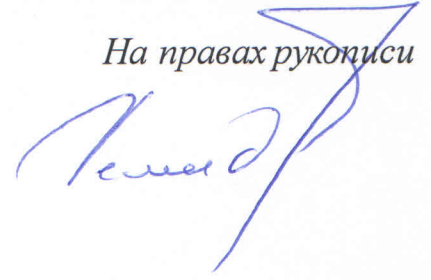


*На правах рукописи*



**ДЕМИДОВ НИКОЛАЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ**

**РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ПАРАМЕТРОВ  
ПАРТИОННОГО СНОВАНИЯ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ПАРТИИ  
СНОВАЛЬНЫХ ВАЛОВ С ОДНОРОДНЫМИ СВОЙСТВАМИ**

05.19.02 – Технология и первичная обработка  
текстильных материалов и сырья

**Автореферат**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Иваново – 2017

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Ивановский государственный политехнический университет» (ИВГПУ) на кафедре автоматики и радиоэлектроники.

**Научный руководитель** **Кулида Николай Алексеевич,**  
доктор технических наук, профессор, первый проректор – директор Текстильного института ФГБОУ ВО «Ивановский государственный политехнический университет»

**Официальные оппоненты:** **Юхин Сергей Семенович,**  
доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой проектирования и художественного оформления текстильных изделий ФГБОУ ВО «Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)», г. Москва

**Сокова Галина Георгиевна,**  
доктор технических наук, доцент, директор Центра управления проектами ФГБОУ ВО «Костромской государственный университет»

Ведущая организация: **ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна»**

Защита состоится «25» мая 2017 года в 10 часов на заседании диссертационного совета Д 212.355.02 на базе ФГБОУ ВО «Ивановский государственный политехнический университет» по адресу: 153000, г. Иваново, пр. Шереметевский, 21, ауд. У-109.

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

Автореферат разослан «\_\_» \_\_\_\_\_ 2017 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета Д 212.355.02,  
д-р техн. наук, профессор



Е.Н. Никифорова



## 1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность избранной темы.** Конкуренентоспособность товара, в том числе и текстильного, определяется в первую очередь затратами на его производство и совокупностью потребительских свойств, характеризующих его качество. Снижение себестоимости производства достигается повышением производительности труда и оборудования, уменьшением издержек производства, использованием для производства более дешевого сырья и др.

В ткацком производстве процесс подготовки основных нитей к ткачеству занимает особое место, поскольку от того, как подготовлены основные нити, во многом зависит и производительность ткацкого станка, и качество вырабатываемой на нем ткани.

В настоящее время зарубежные производители сновального оборудования добились значительных успехов как в совершенствовании технологического процесса, существенно увеличив его производительность, так и в обеспечении высокого качества подготавливаемых основ. Например, швейцарская фирма Benninger, а затем немецкая Karl Mayer кардинально решили проблему снижения неравномерности натяжения наматываемых нитей, применяя системы автоматической стабилизации. Вначале это были системы с управляемыми шайбовыми натяжителями, когда комплекс автоматической стабилизации вырабатывала команды управления для всей группы наматываемых нитей, сравнивая интегральное значение натяжения всех нитей с заданным. Затем была применена система автоматического управления Multitens, позволившая стабилизировать натяжение каждой нити независимо от положения питающей паковки в шпулярнике, скорости снования и других факторов. Однако подобные системы существенно удорожают сновальное оборудование, а использование технологий, реализуемых с его помощью, не всегда экономически целесообразно, особенно в тех случаях, когда к неравномерности натяжения не предъявляются высокие требования.

Несмотря на предложенные решения, вопрос о напряженном состоянии паковок, формируемых на партионных сновальных машинах, остается открытым. Стабилизация натяжения даже каждой отдельно взятой нити не дает возможности формировать паковки с известным напряженным состоянием, что в последующем процессе шлихтования не позволяет кардинально решить вопрос сокращения остатков при сматывании основы со сновальных валов. Видимо, отсутствие специальных средств измерения параметров напряженного состояния текстильных паковок, а также сложность их встраивания в объект не позволили до сих пор контролировать параметры напряженного состояния паковок в процессе их наматывания.

Вопрос косвенного определения напряженного состояния сновальной паковки непосредственно в процессе ее наматывания является недостаточно изученным, а формирование партии однородных сновальных валов для шлихтовальной машины, напряженное состояние паковок которой каким-то



образом идентифицировалось ранее, не осуществлялось, что свидетельствует о недостаточной **степени разработанности избранной темы.**

**Целью настоящего исследования** является разработка методики формирования партии однородных паковок с партионных сновальных машин на основе идентифицированных в процессе намотки кинематических параметров.

**Научная новизна** диссертационной работы состоит в научном обосновании идентификации напряженно-деформированного состояния паковки непосредственно в процессе ее наматывания на основе коэффициента приращения длины нитей в слое и формирования партии сновальных валов с однородными свойствами.

**Теоретическая и практическая значимость работы.** В результате проведенных исследований обосновано использование коэффициента приращения длины нитей в слое для идентификации напряженного состояния паковки партионного снования и применения кластерного анализа для определения однородных по напряженному состоянию сновальных валов при их объединении в партию.

**Практическая значимость работы** состоит в разработке микропроцессорной системы мониторинга кинематических параметров наматывания паковок на партионной сновальной машине, осуществлении мониторинга кинематических параметров непосредственно в процессе снования и формировании партии сновальных валов на основе идентифицированных в процессе наматывания параметров напряженно-деформированного состояния.

Сновальные паковки, сформированные на сновальных машинах с микропроцессорной системой мониторинга кинематических параметров, наряду с такими известными параметрами, как длина и диаметр намотки, имеют параметры, определяемые на основе анализа изменения коэффициента приращения длины нитей в слое и характеризующие напряженное состояние сновальной паковки. Включение последних в состав паспорта сновальной паковки позволяет на основе сравнения совокупности параметров паковок сформировать партию с однородным напряженным состоянием. Сматывание основы на шлихтовальной машине с таких паковок позволяет сократить количество отходов мягкой пряжи.

Существенное отклонение закономерности изменения коэффициента приращения длины нитей в слое по мере наматывания паковки от номинальной, соответствующей ее выбранному напряженному состоянию, свидетельствует о значительных изменениях в технологии снования и может явиться основанием для вмешательства обслуживающего персонала в ход технологического процесса.

**Экономическая эффективность** от использования методики формирования партии сновальных валов для шлихтовальной машины состоит в сокращении остатков пряжи на сновальных валах при разматывании пряжи на шлихтовальной машине.



Все полученные в работе научные и практические результаты опубликованы в научных статьях и материалах научно-технических конференций, широко известны научной общественности, прошли производственную апробацию на текстильном предприятии и используются в образовательной деятельности при подготовке бакалавров по направлению 15.03.04.01 *Автоматизация технологических процессов и производств в текстильной и легкой промышленности* и магистров по направлению 15.04.04 *Автоматизация технологических процессов и производств*, а именно: при чтении лекций по микропроцессорной технике в системах автоматизации технологических процессов и производств, в лабораторных работах дисциплин “Микропроцессорная техника в устройствах автоматики” и “Средства автоматизации и управления”, в курсовом проектировании и при выполнении выпускных квалификационных работ при проектировании систем автоматизации технологических процессов и производств в текстильной и легкой промышленности.

**Методология и методы диссертационного исследования.** В работе использованы теоретические и экспериментальные методы. Теоретические исследования базировались на применении методов математического анализа, методов математической и прикладной статистики, теории погрешностей, методов проектирования и программирования микропроцессорных систем. Экспериментальные исследования проводились на действующем промышленном оборудовании с использованием общепромышленных средств измерений и микропроцессорной техники, обработка результатов эксперимента осуществлялась в соответствии с действующими метрологическими стандартами.

Объектом исследования являлся технологический процесс партионного снования, предметом исследования – наматываемая на партионной сновальной машине паковка и параметры, характеризующие ее напряженно-деформированное состояние.

Разработанная в диссертации методика формирования партии сновальных валов для шлихтовальной машины апробирована в производственных условиях при сновании хлопчатобумажной пряжи 18,5 текс для выработки тканей бельевой группы миткалевой подгруппы.

**Публикации.** Основные результаты выполненных исследований опубликованы в 24 печатных работах, в их числе 5 статей в рецензируемых научных изданиях - журнал «Изв. вузов. Технология текстильной промышленности», 1 свидетельство на полезную модель, 8 статей в сборниках научных трудов и 10 тезисов докладов в сборниках материалов научно-технических конференций различного уровня (г. Москва, г. Иваново, г. Санкт-Петербург, г. Кострома, г. Омск, г. Витебск, г. Димитровград).

Материалы диссертации докладывались, обсуждались и получили положительную оценку на следующих конференциях:

– международной научно-технической конференции “Современные наукоемкие технологии и перспективные материалы текстильной и легкой промышленности (Прогресс)” (Иваново, 2010, 2012, 2013 гг.);



– межвузовской научно-технической конференции аспирантов и студентов “Молодые ученые – развитию текстильной и легкой промышленности (Поиск)” (Иваново, 2011, 2012, 2013, 2015 гг.);

– всероссийской научной студенческой конференции в МГТУ им. А.Н. Косыгина “Текстиль XXI века” (Москва, 2011 г.);

– межвузовской научно-технической конференции молодых ученых и студентов “Студенты и молодые ученые КГТУ – производству” (Кострома, 2011 г.);

– международной научно-технической конференции “Информационная среда вуза” (Иваново, 2013, 2014, 2015 гг.).

**Объем диссертации.** Работа изложена на 195 страницах машинописного текста, состоит из введения, четырех глав и заключения, содержит общие выводы, 50 рисунков, 24 таблицы и перечень использованной литературы из 70 наименований. В приложении даны промежуточные результаты обработки экспериментальных данных, код программы микропроцессорной системы мониторинга сновальных валов, акт производственных испытаний, акт внедрения результатов работы в учебный процесс при подготовке бакалавров и магистров.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обоснована актуальность темы, сформулирована цель исследований, отражены основные результаты работы.

**В первой главе** выполнен анализ современного состояния технологии партионного снования, направлений ее совершенствования, сформулированы цели и задачи исследований.

Анализ новых технических решений в области сновальных машин показывает, что ведущие фирмы-производители текстильного оборудования ведут разработки как в направлении совершенствования узлов машин, систем контроля и управления, так и в области обеспечения техники безопасности и охраны труда. В этих условиях модернизация морально и физически устаревшего оборудования представляется нецелесообразной. При невозможности замены парка устаревшего оборудования для формирования качественных сновальных паковок и партий сновальных валов необходимо решить ряд организационных и технических задач:

1. Обеспечить надежную работу технологического оборудования.
2. Обеспечить достоверность информации о технологических параметрах и параметрах, характеризующих качество формирования сновального вала.
3. Разработать методику формирования партии сновальных валов для дальнейшего процесса шлихтования.

Однородность характеристик сновальных валов, объединяемых в партию для осуществления последующего процесса шлихтования, является одним из важнейших требований, предъявляемых к процессу формирования паковок в партионном сновании. Если в результате наматывания валы имеют



неоднородную структуру, то в процессе их разматывания на шлихтовальной машине образуются отходы из-за неоднородности нитей на валах и возникает высокая неравномерность натяжения нитей, вызывающая снижение качества вырабатываемой ткани. Обеспечить однородность партии сновальных валов возможно, если в процессе наматывания будут идентифицированы параметры напряженно-деформированного состояния (НДС) сновальной паковки и приняты меры по обеспечению воспроизводимых условий процесса наматывания. Контроль напряженного состояния партионной сновальной паковки возможен на основе измерения кинематических параметров наматывания и вычисления характеристик тела намотки с использованием тех или иных математических моделей его НДС. Такой подход в настоящее время считается наиболее перспективным в решении задачи управляемой намотки. Однако отсутствие информации о достоверности оценки характеристик НДС тела намотки на основе их косвенных измерений не позволяет решить задачу информационного обеспечения системы управления.

В решении задачи создания эффективной системы контроля параметров процесса снования наибольшие трудности вызывает разработка приемлемых по конструкции датчиков напряжений и деформаций тела намотки. На нынешнем этапе развития сенсорной техники, к сожалению, промышленных приборов такого назначения не существует, поэтому для решения задачи отслеживания параметров НДС сновального вала приходится применять косвенные методы измерения. В этих условиях принципиальное значение имеет вопрос достоверности получаемой в результате косвенных измерений информации.

Целью исследований является разработка системы мониторинга процесса снования и методики формирования партии сновальных валов для последующего процесса шлихтования.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие основные задачи:

1. Оценить с помощью известной математической модели вычисления межслойного давления в теле намотки погрешность вычисления параметров НДС сновального вала и обосновать возможность идентификации паковок на основе кинематических параметров намотки.

2. Обосновать состав кинематических параметров процесса снования при его мониторинге с целью получения достоверной информации о напряженном состоянии сформированных паковок.

3. Установить связь измеряемых кинематических параметров с основным параметром НДС паковки – послойной объемной плотностью.

4. Разработать микропроцессорную систему контроля кинематических параметров для партионной сновальной машины.

5. Оценить погрешности измерения кинематических параметров и объемной плотности намотки.

6. Выполнить экспериментальные исследования системы контроля кинематических параметров паковок партионной сновальной машины.



7. Разработать методику формирования партии паковок партионного снования с однородной структурой на основе кинематических параметров наматывания.

8. Разработать рекомендации по уменьшению мягких отходов в шлихтовании при использовании методики формирования партий сновальных валов.

**Во второй главе** рассмотрены вопросы идентификации паковок на основе мониторинга кинематических параметров в процессе снования.

Идентификация параметров НДС каждого в отдельности сновального вала является в значительной степени актуальной задачей.

Сложность решаемой задачи вызвана отсутствием достаточно точных и легко встраиваемых сенсоров параметров НДС.

Прямые методы измерения указанных параметров неприемлемы вследствие особенностей объекта измерения и отсутствия соответствующих инструментальных средств. Косвенные способы измерения параметров НДС базируются на использовании различных моделей НДС тела намотки.

Известные методы построения таких моделей основывались на рассмотрении уравнения равновесия бесконечно малого элемента, вырезанного из тела намотки, в котором как намотка, так и сами нити представлялись гуковскими телами.

Известно, что параметры напряженно-деформированного состояния тела намотки цилиндрической формы получаются в результате решения дифференциального уравнения, полученного из условия равновесия бесконечно малого элемента тела намотки. Это уравнение может быть составлено для окружных и радиальных напряжений, либо для давлений  $q$ . В последнем случае уравнение имеет вид

$$\frac{dq}{dr} + \frac{q}{r} = -\frac{\sigma_n - E_m \frac{\delta}{r} \chi - F}{r}, \quad (1)$$

где  $r$  – радиус слоя;  $E_m$  – продольный модуль упругости материала при разгрузке;  $\chi$  – коэффициент заполнения слоя;  $\delta$  – смещение слоя в радиальном направлении;  $F$  – интенсивность силы сопротивления сдвигу слоя единичной ширины в окружном направлении.

Решение уравнения напряженно-деформированного состояния позволяет выполнить оценку погрешностей косвенного измерения его параметров на основе контролируемых в процессе наматывания кинематических переменных.

На основе известных теоретических и экспериментальных работ по исследованию напряженного состояния тел намотки выбраны факторы, оказывающие на давление в слое в рассматриваемом технологическом процессе преобладающее влияние: релаксационный модуль упругости  $E_m$  и намоточное напряжение  $\sigma_n$ . Из кинематических параметров использован радиус намотки  $r$ , который может контролироваться с помощью инкрементальных энкодеров, установленных на сновальном и укатывающем валах.



Погрешность измерения радиуса намотки по соотношению углов поворота сновального и укатывающего валов определена как погрешность косвенного измерения, имеющая максимальное значение в начале намотки.

Полагая, что для измерения угловых перемещений сновального и укатывающего валов используются инкрементные энкодеры одного типа, погрешность измерения радиуса намотки  $\Theta_{r_c}(P)$  определяем выражением

$$\Theta_{r_c}(P) = k \sqrt{\left(\frac{r_y}{\varphi_{c_0}}\right)^2 \left[1 + \left(\frac{\varphi_{y_0}}{\varphi_{c_0}}\right)^2\right] \Theta_{\varphi}^2(P) + \left(\frac{\varphi_{y_0}}{\varphi_{c_0}}\right)^2 \Theta_{r_y}^2(P)}, \quad (2)$$

где  $\Theta_{\varphi}(P)$  – погрешность измерения угла поворота (при доверительной вероятности  $P$ );  $\Theta_{r_y}^2(P)$  – погрешность измерения радиуса укатывающего вала;  $k$  – коэффициент, зависящий от доверительной вероятности  $P$  и числа суммируемых составляющих  $\Theta$ ;  $\varphi_{c_0}$ ,  $\varphi_{y_0}$  – угловая скорость соответственно сновального и укатывающего валов в установившемся режиме.

Полученное выражение позволяет определить пути снижения погрешности измерения радиуса намотки.

Погрешность косвенного измерения длины в нестационарных режимах работы сновальной машины определяется погрешностью измерения радиуса намотки и погрешностью энкодера, используемого для измерения угла поворота сновального вала.

Превалирующее влияние на погрешность оказывает релаксационный модуль упругости, причем его влияние настолько больше по сравнению с радиусом намотки и намоточным напряжением, что влиянием последних можно пренебречь. Например, коэффициент влияния по релаксационному модулю упругости на три порядка превышает коэффициент по намоточному напряжению, а в сравнении с коэффициентом влияния радиуса намотки превышение еще больше.

Из анализа исследований следует, что с уменьшением коэффициента заполнения слоя погрешность измерения давления возрастает. Поэтому повышение точности определения параметров НДС паковки возможно при осуществлении непрерывного контроля релаксационного модуля упругости в процессе наматывания либо мер по стабилизации намоточного натяжения нитей.

Идентификация формируемых на партионной сновальной машине паковок на основе мониторинга кинематических параметров достигается путем вычисления параметров напряженного состояния формируемой паковки, при этом в качестве интегрального параметра часто выступает объемная плотность, которая определяется по известной формуле

$$\gamma = \frac{mLT}{10^6 \cdot \pi H (r^2 - r_0^2)}, \quad (3)$$



где  $L$ ,  $m$ ,  $T$  – длина, количество нитей и их линейная плотность;  $H$ ,  $r_0$  – длина образующей и начальный радиус ствола вала;  $r$  – радиус намотанного вала.

Плотность слоя, равно как и длина нитей, определяется коэффициентом  $c_i$  (коэффициент нарастания толщины слоя намотки, зависящий от диаметра пряжи, рассеяния витков при намотке, уменьшения радиуса паковки вследствие растяжения пряжи, деформирования слоя и других факторов). При одном и том же числе оборотов сновальной паковки  $n_i$  в разных слоях с увеличением  $c_i$  плотность намотки  $\gamma_i$  падает, а длина нитей  $L_i$  растет. На рис. 1 показаны кривые  $\gamma_i(c_i)$  и  $L_i(c_i)$ , отражающие характер указанных зависимостей.

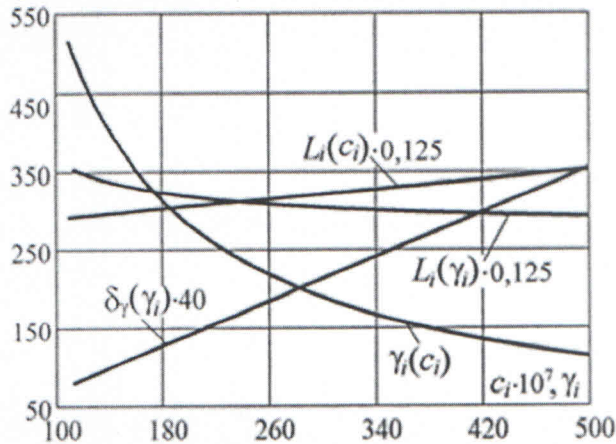


Рис. 1. Взаимосвязь кинематических параметров и характеристик напряженного состояния сновальной паковки

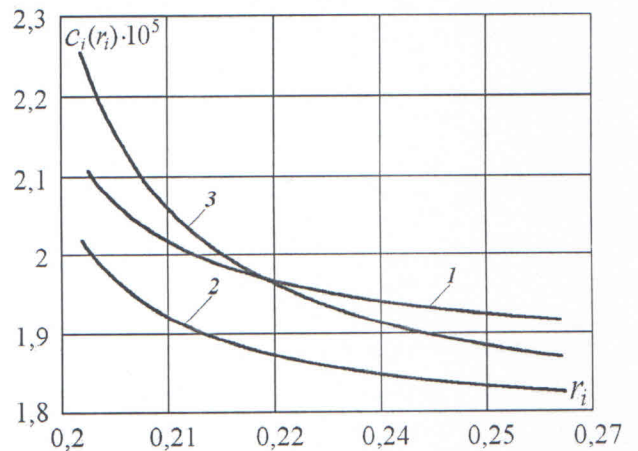


Рис. 2. Зависимость коэффициента нарастания толщины слоя от радиуса намотки

Полученные в работе выражения позволяют оценить точность поддержания плотности намотки, при которой разнородность нитей на валах не превышает заданного уровня.

На рис. 1 показан график функции  $\delta_\gamma(\gamma_i)$ , определяющий разнородность  $\mu_L$  нитей на валах, не превышающую 1%. С ростом плотности допустимые колебания  $\delta_\gamma$  в рассматриваемом случае возрастают с 2 до 10% по линейному закону, т.е. для паковок с невысокой плотностью стабилизация на заданном уровне должна обеспечиваться с более высокой точностью.

Для обеспечения постоянной плотности намотки необходимо, чтобы коэффициент нарастания толщины слоя при намотке  $i$ -го слоя уменьшался в соответствии с закономерностью, представленной на рис. 2, где показаны зависимости коэффициента  $c_i$  от радиуса при плотности намотки 400 и 420 кг/м<sup>3</sup> (соответственно кривые 1 и 2). Здесь же приведена кривая 3, полученная при перемещении  $A_i$  (перемещение  $i$ -го слоя в радиальном направлении), в 2 раза превышающем значение этого параметра для кривых 1 и 2 и плотности 420 кг/м<sup>3</sup>.

Таким образом, уменьшение разнородности нитей на сновальных валах партии достигается стабилизацией объемной плотности намотки,



причем для паковок с небольшой плотностью стабилизация должна обеспечиваться с более высокой точностью.

Постоянная плотность намотки в слоях сновального вала обеспечивается уменьшением коэффициента нарастания толщины слоя с увеличением радиуса намотки по нелинейному закону, близкому к гиперболическому.

**В третьей главе** приводится разработка микропроцессорной системы контроля кинематических параметров партионной сновальной машины.

Для измерения радиуса намотки использован абсолютный энкодер EPM50S8-1024-2F-P-24 фирмы Autonics.

Для преобразования линейного размера (радиуса намотки) в угол поворота энкодера использован узел сопряжения, включающий штангу, на которой с одной стороны закреплены мерные колеса другого инкрементального энкодера для измерения длины наматываемых нитей, а с другой – мультипликатор с абсолютным энкодером. Мультипликатор сочленен с осью штанги и закреплен на станине машины. Расположение датчиков на сновальной машине показано на рис. 3.

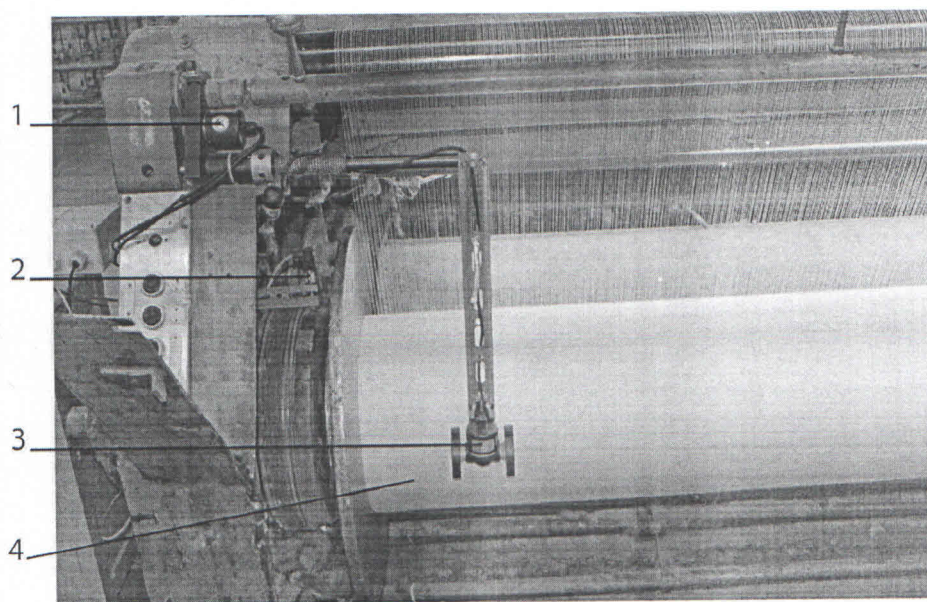


Рис. 3. Расположение датчиков на сновальной машине СП-140:

1 – датчик диаметра намотки, 2 – датчик числа оборотов сновального вала,  
3 – датчик длины нитей, 4 – сновальный вал

Найденная чувствительность  $S$  измерителя радиуса намотки определяет разрешающую способность измерителя, а следовательно, и его погрешность.

Полученное значение разрешающей способности определяет инструментальную погрешность измерителя радиуса намотки. Эта погрешность намного меньше других составляющих погрешности, в том числе и погрешности, обусловленной неидеальностью формы паковки.

Принято решение использовать в проектируемой системе инкрементальные энкодеры с мерными колесами. Максимально достижимое



для этого типа энкодеров разрешение составляет 1 имп./мм, поэтому основная погрешность измерения длины обуславливается условиями взаимодействия мерного колеса со сновальным валом, а также разным напряженным состоянием основных нитей, наматываемых на вал.

Для измерения длины нитей, наматываемых на сновальный вал, использован инкрементальный энкодер ENC-1-1-T-24 фирмы Autonics.

Для измерения угла поворота сновального вала применен выключатель бесконтактный оптический ВБО-М18-76Р-7111С, предназначенный для систем управления технологическими процессами в различных отраслях промышленности.

Для обработки информации, получаемой с датчиков кинематических параметров, с учетом всех требований принят микроконтроллер АТМЕГА 16 фирмы АТМЕЛ с интерфейсом RS-485.

На основе требований к функциональности системы контроля кинематических параметров партионной сновальной машины, задачи обеспечения максимально возможной точности измерения и с учетом затрат на реализацию разработана микропроцессорная система мониторинга кинематических параметров сновальной машины, структурная схема которой применительно к нескольким сновальным машинам показана на рис. 4.

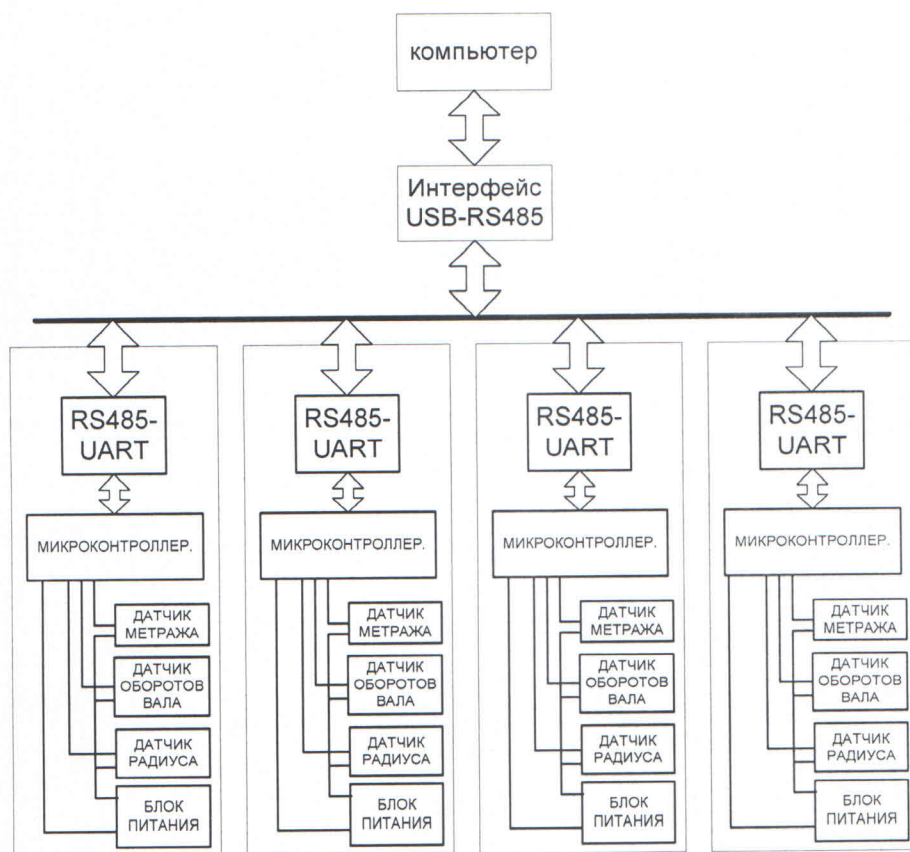


Рис. 4. Структурная схема системы мониторинга кинематических параметров партионной сновальной машины

Информация с датчиков накапливается в микроконтроллере и по



интерфейсу RS-485 передаётся на компьютер, где обрабатывается специальной программой и сохраняется. На основе полученной информации формируется база данных по каждой паковке, рассчитываются параметры, характеризующие напряженное состояние паковки, и далее с помощью статистических процедур решается вопрос о возможности включения паковки в партию сновальных валов для шлихтовальной машины.

Для реализации принятых положений функционирования системы устройства на программном уровне разработан алгоритм работы и принципиальная схема микропроцессорной системы мониторинга параметров НДС сновальных паковок.

В микропроцессорной системе к числу важнейших параметров относится период квантования – отрезок времени между двумя соседними моментами опроса датчиков системы контроля.

Поскольку угловая скорость сновального вала при неизменной линейной скорости снования уменьшается по мере роста радиуса паковки, период квантования для достижения требуемой точности измерения должен изменяться. В алгоритме микропроцессорной системы период квантования следует привязать к числу оборотов сновальной паковки.

Таким образом, в третьей главе определен состав микропроцессорной системы мониторинга кинематических параметров технологического процесса партионного снования, разработаны конструкции измерителей кинематических параметров, определены функция преобразования и чувствительность измерителя радиуса намотки, разработаны структурная схема, алгоритм работы и принципиальная электрическая схема системы мониторинга, определен период квантования микропроцессорной системы.

**В четвертой главе** приводится методика формирования партии сновальных валов с однородной структурой для шлихтовальной машины на основе кинематических параметров наматывания.

Приведен анализ результатов мониторинга кинематических параметров наматывания на сновальной машине СП-140, выполненного в условиях производства на Фурмановской прядильно-ткацкой фабрике № 2 (г. Фурманов, Ивановская обл.). При экспериментальных исследованиях перерабатывалась хлопчатобумажная пряжа 18,5 текс, количество и длина нитей в намотке составляли соответственно 440 и 21500 м.

Полученные экспериментальные результаты по каждому валу после обработки объединялись в сводную таблицу, в которую включались следующие данные: количество оборотов вала, толщина намотки, длина нитей на валу, конечный радиус намотки, плотность намотки, приращение радиуса намотки, коэффициент нарастания толщины намотки, приращение длины нитей в слое, коэффициент приращения длины в слое.

Приращение толщины слоя намотки – параметра, представляющего наибольший интерес с точки зрения оценки напряженно-деформированного состояния паковки, – не может быть достоверно зафиксировано выбранными преобразователями радиуса намотки. Вызвано это тем, что приращение толщины намотки незначительно для достаточно широкого ассортимента



хлопчатобумажной пряжи. Поэтому зависимость этого коэффициента от радиуса намотки носит случайный характер и не позволяет получить какую-либо информацию об изменении интересующего параметра.

В связи с этим предложено использовать в качестве параметра, идентифицирующего напряженно-деформированное состояние паковки, коэффициент нарастания длины нитей в слое, который связан с коэффициентом нарастания толщины намотки.

Экспериментальные исследования позволили обосновать использование коэффициента приращения длины нитей в слое для идентификации напряженно-деформированного состояния сновальных паковок.

На рис. 5 представлены указанные зависимости для значений плотностей 320 и 680 кг/м<sup>3</sup> (соответственно кривые 1 и 2).

Здесь же показаны экспериментальные кривые при намотке трех сновальных валов на машине СП-140, из которых следует, что два вала намотаны с приблизительно одинаковым напряженным состоянием (кривые 3 и 4), а один – с параметрами, изменяющимися в процессе формирования паковки (кривая 5). Два вала намотаны с приблизительно равной плотностью, плотность третьего вала изменяется в процессе намотки: до 6800 оборотов (чуть менее половины намотки) плотность соответствовала первым двум валам и далее плотность по какой-то причине уменьшалась.

Линейный характер теоретических зависимостей  $k_L(n_i)$  (см. рис. 5) свидетельствуют о возможности использования их для аппроксимации экспериментальных данных.

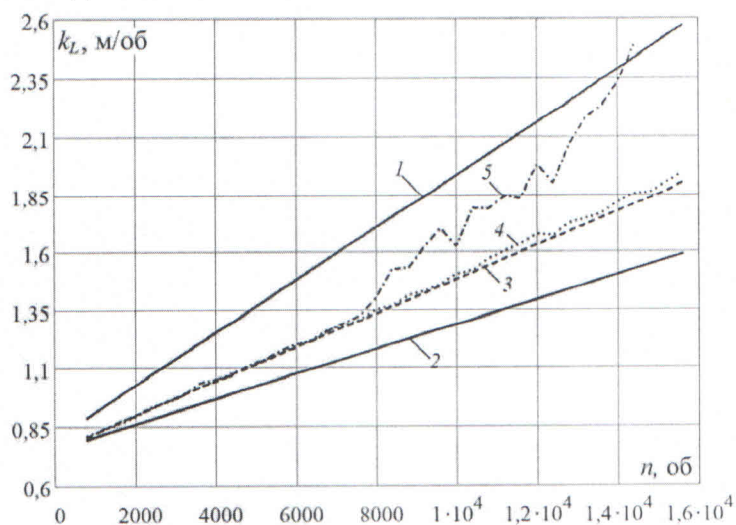


Рис. 5. Зависимость коэффициента приращения длины нитей в слое  $k_L$  от количества оборотов паковки при постоянной плотности намотки

Константы этих зависимостей определяют одну из важнейших характеристик напряженно-деформированного состояния паковки – ее плотность, а отклонения зависимостей от линейных свидетельствуют об изменениях в плотности намотки, поэтому параметры аппроксимирующих линейных зависимостей могут быть использованы в качестве параметров, идентифицирующих напряженное состояние паковки, и применены при



составлении партии сновальных валов с однородной структурой.

Для подтверждения этого получены экспериментальные зависимости изменения коэффициента приращения длины нитей от количества оборотов паковки при наработке 20 сновальных валов на сновальной машине СП-140.

Полученные экспериментальные результаты по каждому валу после обработки объединялись в сводную таблицу, в которую включались данные о фактической длине нитей на валу  $L$ , количестве оборотов вала  $n$ , конечном радиусе намотки  $R_k$  и параметрах  $a$  и  $b$  аппроксимирующей линейной зависимости  $k_L(n_i) = an_i + b$ .

Экспериментальные данные после предварительной процедуры стандартизации использовались в кластерном анализе. Эти параметры выступают в качестве исходных данных для кластерного анализа и формально могут быть включены в множество  $K$ . В нашем случае это длина нитей на паковке  $L$ , число оборотов, которое совершил сновальный вал по завершении наработки  $n$ , конечный радиус паковки  $R_k$  и параметры аппроксимирующей зависимости  $a$  и  $b$ .

Суть рассматриваемого метода кластеризации состоит в том, чтобы на основании данных, содержащихся в множестве  $K$ , разбить множество сновальных валов  $F$  на  $m$  ( $m$  – целое) кластеров так, чтобы каждый сновальный вал  $F_j$  относился только к одному подмножеству разбиения. Сновальные валы, принадлежащие одному и тому же кластеру, должны иметь сходные кинематические параметры, а паковки, принадлежащие разным кластерам, иметь отличные от предыдущих параметры  $L$ ,  $n$ ,  $R_k$   $a$  и  $b$ .

Предварительно исходные данные по 20 экспериментальным сновальным валам и 5 параметрам были занесены в таблицу и далее стандартизированы командой *Standardize*, т.е. по каждому параметру и каждому валу были вычислены отношения разности исходного и среднего значений к значению стандартного отклонения.

После этого выбраны переменные, по которым проведена кластеризация (в нашем случае – все). Количество кластеров выбрано равным количеству партий, т.е. 4. Количество итераций при выполнении кластеризации принято равным 20.

Графически результаты кластерного анализа представлены на рис. 6.

Из рис. 6, а видно, что кластеры 3 и 4 мало отличаются, это же можно сказать и о кластерах 1 и 2. Поэтому можно выполнить еще один вариант кластеризации, распределив наработанные паковки по 2 кластерам (рис. 7, б).

Параметры сновальных валов кластера 2 мало отличаются, а их в этом кластере оказалось 17 из 20, поэтому напряженное состояние этих паковок примерно одинаково, и следует ожидать, что переработка этих паковок в шлихтовальном производстве может быть осуществлена с минимальной неравномерностью натяжения основных нитей на ткацком навое и минимальным количеством отходов. Это и подтвердилось в процессе шлихтования экспериментальных партий.

Поскольку производственная программа предприятия не рассчитана на переработку большого количества пряжи, а сновальные паковки практически



сразу же поступают в шлихтовальное производство, разбиение сновальных валов по 2 кластерам позволяет, не дожидаясь наработки большого количества паковок, определять принадлежность очередного наработанного сновального вала к тому или иному кластеру.

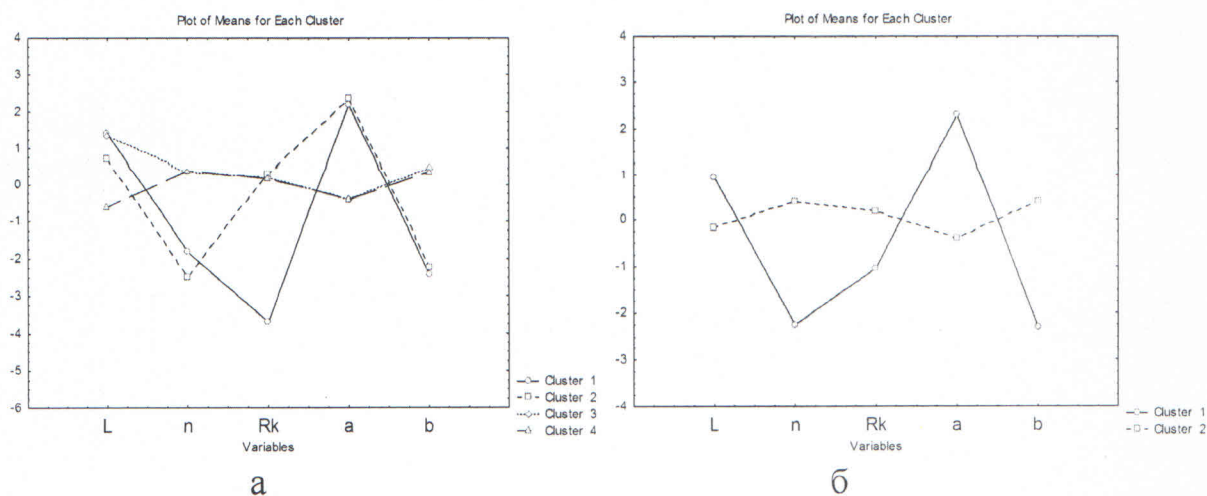


Рис. 6. Распределение сновальных валов по 4 (а) и 2 (б) кластерам

Если вал будет отнесен к кластеру с минимальными отклонениями параметров, его следует включать в одну из партий и сразу же пускать в переработку в шлихтовальное производство. В противном случае вал сразу в производство не направляется, после образования группы из нескольких валов производится новая кластеризация, и на ее основании формируются партии с минимально различными параметрами.

В процессе экспериментальных исследований после формирования партий сновальных валов отслеживался процесс разматывания наработанных сновальных валов на шлихтовальной машине ШБ-11-140. Партии из 5 сновальных валов составлялись в соответствии с разработанной методикой. Разматывание сновальных валов на стойке шлихтовальной машины осуществлялось в штатном режиме ее работы, т.е. без корректировки величины тормозного момента сновальных валиков.

Для сравнения контролировалось количество отходов при принятой на производстве штатной процедуре формирования партий.

Среднее значение отходов в партиях, сформированных по предложенной методике, составило 1,04 кг, в остальных – 3,018 кг, с дисперсиями соответственно 0,115 и 1,173 кг<sup>2</sup>. Снижение количества мягких отходов составило 65%. В соответствии с критерием Стьюдента различие средних в обоих вариантах шлихтования является значимым.

Реализация предложенной методики формирования партии сновальных валов для шлихтовальной машины в условиях производства экономически целесообразна при наличии на производстве современных партионных сновальных машин с микропроцессорными системами управления и системами сбора информации о параметрах технологических процессов, реализованных в АСУ ТП.



## Итоги выполненного исследования

В результате анализа современного состояния технологии формирования на партионной сновальной машине тождественных паковок установлено, что несмотря на предпринимаемые попытки решить проблему наматывания на партионных сновальных машинах структурно однородных паковок не удалось, по этой причине существенного сокращения потерь пряжи в шлихтовании в виде мягких отходов не произошло. За рубежом задача решается путем стабилизации натяжения наматываемых нитей и давления укатывающего вала – факторов, оказывающих решающее влияние на напряженное состояние сновальной паковки. Из-за существенного роста стоимости оборудования, оснащенного подобными системами стабилизации, для выработки тканей, не требующих высокой равномерности натяжения нитей, применение высокоавтоматизированного оборудования становится экономически невыгодным. Попытки применения систем управления напряженным состоянием наматываемых паковок, предпринятые отечественными разработчиками, не завершились успехом, поскольку многие вопросы, связанные с проектированием такой системы, не проработаны в необходимом объеме. Вместе с тем существует возможность решения проблемы на основе мониторинга кинематических параметров процесса наматывания паковок, установления подходящих кинематических параметров их напряженного состояния и составления партии сновальных паковок с допустимыми отклонениями характеристик напряженного состояния.

В работе предложена методика формирования партии сновальных валов для шлихтовальной машины на основе мониторинга кинематических параметров наматывания паковок партионного снования. Проработка всего комплекса вопросов, связанных с осуществлением мониторинга кинематических параметров наматывания паковок, их анализом, установлением закономерностей их изменения по мере наматывания и формирования партии сновальных валов с тождественными характеристиками формы и напряженного состояния, позволила получить следующие выводы и рекомендации:

1. Оценка погрешности вычисления межслойного давления сновальной паковки на основе анализа изменения радиуса намотки показала, что на точность такого вычисления превалирующее влияние оказывает релаксационный модуль упругости наматываемых нитей, причем его влияние возрастает с уменьшением коэффициента заполнения слоя.

2. Установлено влияние коэффициента нарастания толщины слоя намотки на ее плотность и длину нитей в слое – с увеличением этого коэффициента плотность намотки падает, а длина нитей растет.

3. Постоянная плотность намотки в слоях сновального вала обеспечивается уменьшением коэффициента нарастания толщины слоя с увеличением радиуса намотки по нелинейному закону, близкому к гиперболическому.



4. Для обеспечения разносторонности нитей на валах, не превышающей заданного значения, колебания плотности намотки в слоях не должны превышать некоторого допустимого значения. С увеличением плотности допустимые ее колебания для достижения заданной разносторонности возрастают по линейному закону.

5. Разработаны структурная схема, алгоритм работы, принципиальная электрическая схема, конструкции измерителей кинематических параметров микропроцессорной системы мониторинга кинематических параметров партионного снования. Установлена взаимосвязь погрешности измерения радиуса намотки и его приращения в отдельном слое намотки, на основе которой определен период квантования микропроцессорной системы.

6. На основе экспериментальных исследований в производственных условиях установлена невозможность достоверного определения закономерности изменения радиуса сновального вала и связанного с ним коэффициента приращения толщины слоя намотки для идентификации напряженного состояния сновальной паковки.

7. Предложено использовать коэффициент приращения длины нитей в слое для идентификации напряженно-деформированного состояния сновальной паковки и получены теоретические зависимости коэффициента приращения длины нитей в слое от числа оборотов паковки, обеспечивающие неизменность объемной плотности намотки.

8. Разработана методика формирования партии сновальных валов для шлихтовальной машины, включающая идентификацию напряженно-деформированного состояния наработанных валов и их последующий отбор в партию с помощью кластерного анализа.

9. Формирование партии сновальных валов на основе идентифицированных в процессе намотки параметров и кластеризации паковок позволило сократить количество остатков пряжи на валах при их разматывании на шлихтовальной машине на 65 %.

**Рекомендации, перспективы дальнейшей разработки темы.** Методику формирования партии сновальных валов для шлихтовальной машины на основе идентифицированных кинематических параметров паковок рекомендуется использовать в подготовительном отделе ткацкого производства для сокращения отходов мягкой пряжи и обеспечения одинаковых условий сматывания пряжи на стойке сновальных валов шлихтовальной машины.

Дальнейшее развитие исследований целесообразно в направлении использования данных мониторинга кинематических параметров для управления процессом наматывания основы на партионных сновальных машинах и формирования паковок с контролируемым напряженным состоянием. Перспективным является также уточнение математических моделей напряженно-деформированного состояния сновальных паковок на основе современных моделей деформирования вязкоупругих тел и сил, действующих на паковку в процессе намотки.



### Основные публикации

Статьи в журнале «Известия вузов. Технология текстильной промышленности»:

1. Кулида, Н.А. Погрешность оценки напряженно-деформированного состояния сновальной паковки на основе кинематических параметров наматывания / Н.А. Кулида, Н.А. Демидов // Изв. вузов. Технология текст. пром-сти. – 2011. – № 2. – С. 100 – 107. (лично автором 4 с.)

2. Кулида, Н.А. Повышение точности косвенных измерений кинематических параметров намотки пряжи на партионной сновальной машине / Н.А. Кулида, Н.А. Демидов // Изв. вузов. Технология текст. пром-сти. – 2012. – № 1. – С. 157 – 160. (лично автором 4 с.)

3. Демидов, Н.А. Микропроцессорная система контроля кинематических параметров партионного снования / Н.А. Демидов // Изв. вузов. Технология текст. пром-сти. – 2012. – № 4. – С. 159 – 161.

4. Кулида, Н.А. Определение плотности намотки сновальных валов на основе кинематических параметров процесса / Н.А. Кулида, Н.А. Демидов, А.В. Круглов // Изв. вузов. Технология текст. пром-сти. – 2013. – № 2. – С. 77 – 81. (лично автором 2 с.)

5. Кулида, Н.А. Методика отбора сновальных валов в партию на основе идентифицированных кинематических параметров их наматывания / Н.А. Кулида, Н.А. Демидов, А.В. Круглов // Изв. вузов. Технология текст. пром-сти. – 2014. – № 1. – С. 151 – 156. (лично автором 2 с.)

### Патенты

6. Свидетельство на полезную модель RU 129215 U1 МПК7 G01B3/12. Устройство для измерения длины длинномерного гибкого материала на цилиндрической паковке / Соловьев А.С., Кулида Н.А., Демидов Н.А. – Оpubл.20.06.2013. Бюл. № 17.

### Материалы научно-технических конференций

7. Демидов, Н.А. Точность косвенных измерений кинематических параметров намотки партионной сновальной паковки / Н.А. Демидов // Теоретические знания в практические дела: сборник статей XI Всероссийской научно-инновационной конференции аспирантов, студентов и молодых ученых с элементами научной школы. – Омск: Филиал РосЗИТЛП в г. Омске, 2010. – Ч. 2. – С.146 – 148.

8. Кулида, Н.А. Современные методы математического описания тел намотки / Н.А. Кулида, Н.А. Демидов // Современные наукоемкие технологии и перспективные материалы текстильной и легкой промышленности (Прогресс – 2010): сборник материалов международной науч.-техн. конф. – Иваново: ИГТА, 2010. – Ч.1. – С. 70 – 72. (лично автором 0,5 с.)

9. Демидов, Н.А. Влияние факторов формирования партионной сновальной паковки на параметры ее напряженно-деформированного состояния / Н.А. Демидов, Н.А. Кулида // Молодые ученые – развитию текстильной и легкой промышленности (Поиск – 2011): сборник материалов



межвузовской науч.-техн. конф. аспирантов и студентов. – Иваново: ИГТА, 2011. – Ч.2. – С. 40 – 41. (лично автором 0,5 с.)

10. Шарова, А.Ю. Экспериментальные исследования напряженно-деформированного состояния тела намотки / А.Ю. Шарова, Л.В. Линькова, Н.А. Демидов // Текстиль XXI века: тезисы докладов X Всероссийской научной студенческой конференции. – М.: МГТУ им. А.Н. Косыгина, 2011. – С. 35 –36. (лично автором 0,5 с.)

11. Демидов, Н.А. Управляемая намотка пряжи на партионной сновальной машине / Н.А. Демидов // Вестник молодых ученых Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна: сб. науч. тр. В 4 ч. Ч. 1: Естественные и технические науки. – СПб.: СПГУТД, 2011. – С. 96 – 101.

12. Демидов, Н.А. Измерение характеристик напряженно-деформированного состояния текстильной паковки / Н.А. Демидов, Н.А. Кулида // Студенты и молодые ученые КГТУ – производству: материалы 63-й межвуз. науч.-техн. конф. молодых ученых и студентов. – Кострома: КГТУ, 2011. – Т. 2. – С. 87 – 88. (лично автором 0,5 с.)

13. Демидов, Н.А. О геометрической модели изменения радиуса при намотке текстильных материалов на цилиндрическую паковку / Н.А. Демидов, Н.А. Кулида // Новое в технике и технологии текстильной и легкой промышленности: материалы международной научной конференции. – Витебск: ВГТУ, 2011. – С. 42 – 44. (лично автором 2 с.)

14. Кулида, Н.А. Идентификация параметров напряженно-деформированного состояния паковки в партионном сновании / Н.А. Кулида, Н.А. Демидов // Современные тенденции развития информационных технологий в текстильной науке и практике: сборник материалов докладов всероссийской науч.-техн. конф. – Димитровград, 2012. – С. 61 – 64 (лично автором 1,5 с.)

15. Демидов, Н.А. Микропроцессорная система мониторинга процесса наматывания паковки на партионной сновальной машине / Н.А. Демидов, Н.А. Кулида // Молодые ученые – развитию текстильной и легкой промышленности (Поиск – 2012): сборник материалов межвузовской науч.-техн. конф. аспирантов и студентов. – Иваново: ИГТА, 2012. – Ч. 2. – С. 4 – 5. (лично автором 0,5 с.)

16. Кулида, Н.А. Показатели однородности паковок, сформированных на партионной сновальной машине / Н.А. Кулида, Н.А. Демидов, А.В. Круглов // Современные наукоемкие технологии и перспективные материалы текстильной и легкой промышленности (Прогресс – 2012): сборник материалов международной науч.-техн. конф. – Иваново: ИГТА, 2012. – Ч.2. – С.41 – 43. (лично автором 0,5 с.)

17. Демидов, Н.А. Применение микропроцессорной системы для контроля структурной однородности сновальных валов / Н.А. Демидов, А.В. Круглов, Н.А. Кулида // Молодые ученые – развитию текстильной и легкой промышленности (Поиск – 2013): сборник материалов межвузовской



науч.-техн. конф. аспирантов и студентов. – Иваново: ИГТА, 2013. – Ч.2. – С. 21 – 22. (лично автором 0,5 с.)

18. Кулида, Н.А. Мониторинг кинематических параметров партионного снования для идентификации паковок / Н.А. Кулида, Н.А. Демидов, А.В. Круглов // Современные наукоемкие технологии и перспективные материалы текстильной и легкой промышленности (Прогресс – 2013): сборник материалов международной науч.-техн. конф. – Иваново: ИВГПУ, 2013. – Ч. 2. – С. 203 – 204. (лично автором 0,7 с.)

19. Кулида, Н.А. Использование кластерного анализа при формировании партии сновальных валов в шлихтовании / Н.А. Кулида, Н.А. Демидов // Информационная среда вуза: сборник материалов XX международной науч.-техн. конф. – Иваново: ИВГПУ, 2013. – С. 361 – 365. (лично автором 2 с.)

20. Кулида, Н.А. Определение плотности намотки сновального вала с учетом реальной формы паковки / Н.А. Кулида, Н.А. Демидов, А.В. Круглов // Информационная среда вуза: сборник материалов XXI международной науч.-техн. конф. – Иваново: ИВГПУ, 2014. – С. 283 – 285. (лично автором 1 с.)

21. Круглов, А.В. Повышение точности определения плотности намотки паковок партионного снования / А.В. Круглов, Н.А. Демидов, Н.А. Кулида // Молодые ученые – развитию текстильно-промышленного кластера (Поиск – 2015): сборник материалов межвузовской науч.-техн. конф. аспирантов и студентов с международным участием. – Иваново: ИВГПУ, 2015. – Ч. 2. – С. 38 – 40. (лично автором 0,5 с.)

22. Кулида, Н.А. Погрешность определения объема намотки при отклонениях формы сновального вала от заданной / Н.А. Кулида, Н.А. Демидов, А.В. Круглов // Информационная среда вуза: сборник материалов XXII международной науч.-техн. конф. – Иваново: ИВГПУ, 2015. – С. 820 – 826. (лично автором 2 с.)

23. Кулида, Н.А. Мониторинг партионного снования для формирования партии паковок в шлихтовании / Н.А. Кулида, Н.А. Демидов, А.В. Круглов // Информационная среда вуза: сборник материалов XXII международной науч.-техн. конф. – Иваново: ИВГПУ, 2015. – С. 827 – 831. (лично автором 2 с.)

24. Кулида, Н.А. Формирование партии однородных сновальных валов для шлихтования на основе мониторинга параметров наматывания / Н.А. Кулида, Н.А. Демидов // Физика волокнистых материалов: структура, свойства, наукоемкие технологии и материалы (SMARTEX-2016) [Текст]: сб. материалов XIX Междунар. науч.-практ. форума - Иваново: ИВГПУ, 2016. – ч. 1. – С. 182 – 188. (лично автором 3 с.)

Подписано в печать 13.02.2017.

Формат 1/16 60×84. Бумага офсетная. Плоская печать.

Объем 1,16 усл. печ. л. Тираж 100 экз. Заказ № 12134

Лицензия ЛР №049975 от 29.06.1999.

АО «Ивановский издательский дом»

153000, г. Иваново, ул. Степанова, д.5.

e-mail: 301411@rambler.ru. Тел. 8(4932) 30-14-11