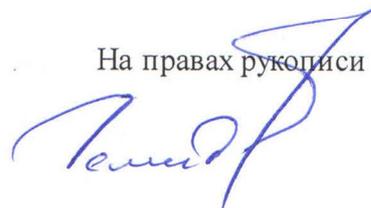


**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Ивановский государственный политехнический университет»**

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

**ДИССЕРТАЦИЯ**  
**на соискание ученой степени кандидата технических наук**

Научный руководитель –  
доктор технических наук,  
профессор Н.А. Кулида

Иваново - 2017

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПАРТИОННОГО СНОВАНИЯ И НАПРАВЛЕНИЯ ЕЕ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ	12
1.1. Партионное снование и оборудование для его осуществления	12
1.2. Параметры современных партионных сновальных машин и сновальных паковок	21
1.3. Пути совершенствования партионных сновальных машин и повышения качества формируемых паковок	25
1.4. Цели и задачи исследований	33
2. ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПАКОВОК НА ОСНОВЕ МОНИТОРИНГА КИНЕМАТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ	37
2.1. Математическая модель для определения напряженно-деформированного состояния текстильных цилиндрических паковок	38
2.2. Погрешности косвенного определения параметров напряженно-деформированного состояния тела намотки	40
2.3. Определение плотности намотки сновальных валов на основе кинематических параметров процесса	54
3. РАЗРАБОТКА МИКРОПРОЦЕССОРНОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ КИНЕМАТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПАРТИОННОЙ СНОВАЛЬНОЙ МАШИНЫ	61
3.1. Обоснование состава и технических характеристик микропроцессорной системы	61
3.2. Структурная схема системы мониторинга кинематических параметров партионной сновальной машины	71
3.3. Разработка конструкции микропроцессорной системы мониторинга кинематических параметров сновальной машины и выбор периода квантования	76
4. МЕТОДИКА ФОРМИРОВАНИЯ ПАКОВОК ПАРТИОННОГО СНОВАНИЯ С ОДНОРОДНОЙ СТРУКТУРОЙ НА ОСНОВЕ КИНЕМАТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НАМАТЫВАНИЯ	87
4.1. Анализ результатов мониторинга кинематических параметров	89
4.2. Обоснование использования коэффициента приращения длины нитей в слое для идентификации напряженно-деформированного состояния сновальных паковок	97
4.3. Применение кластерного анализа при формировании партии сновальных валов для шлихтовальной машины	101
4.4. Методика формирования партии сновальных валов с однородной структурой	107
4.5. Реализация методики формирования партии сновальных валов с однородной структурой в условиях производства	111
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	114
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	118
ПРИЛОЖЕНИЯ	127

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность избранной темы.** Конкурентоспособность 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 система 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.

Аналогичное заключение можно сделать и относительно шлихтовального оборудования. Применяемые на шлихтовальных машинах швейцарской фирмы Benninger системы стабилизации натяжения нитей, сматываемых со сновальных валов, позволяют ликвидировать отклонения натяжения на каждом валу, если используются системы натяжения для каждой отдельно взятой паковки, или решить эту проблему для всей совокупности нитей, когда применяется стабилизация натяжения всех сматываемых со сновальных валов нитей. Однако в тех случаях, когда ассортимент вырабатываемых тканей не требует высокой равномерности натяжения, применение такого оборудования вызывает рост себестоимости производства ткани, а следовательно, снижение его конкурентоспособности.

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.

В конце 80-х годов прошлого века Гордеевым В.А. с соавторами было предложено косвенно контролировать напряженное состояние формируемой на партионной сновальной машине паковки, измеряя кинематические параметры процесса. Реализация этого предложения в то время была затруднена из-за отсутствия подходящих технических средств, поскольку вручную измерять некоторые параметры, например радиус намотки, было

возможно, только когда сновальная машина останавливалась, например при обрыве нити. Позже в ИвНИТИ (Кутьин Ю.К. с соавторами) была разработана система автоматического управления для обеспечения постоянной объемной плотности намотки. Однако, как показали наши исследования, измерения малых приращений такого кинематического параметра процесса намотки, как радиус, связаны с высокой погрешностью из-за особенностей взаимодействия датчика со сновальным валом, а реализация системы управления с воздействием от укатывающего вала связана с решением ряда специальных вопросов, в первую очередь согласованием вырабатываемых управляющих воздействий с нагрузкой привода сновального вала. Эти вопросы были недостаточно полно проработаны в системе управления ИвНИТИ, поэтому данное направление не получило широкого распространения, в том числе и в разработках систем управления сновальными машинами зарубежных производителей. Дальнейшее развитие вопросы проектирования систем электропривода сновальных машин получили в работах Глазунова В.Ф. с соавторами.

Таким образом, вопрос косвенного определения напряженного состояния сновальной паковки непосредственно в процессе наматывания является недостаточно изученным, а формирование партии однородных сновальных валов для шлифовальной 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.

Для достижения поставленной цели в работе **решены следующие научные и технические задачи:**

1. Выполнена оценка погрешности вычисления межслойного давления сновальной паковки на основе кинематических параметров наматывания. Осуществлено ранжирование факторов, влияющих на точность косвенного измерения.

2. На основе принятой в работе модели изменения радиуса сновального вала установлено влияние коэффициента нарастания толщины слоя намотки на ее плотность и длину нитей в слое. Определены условия, при которых обеспечивается постоянная плотность намотки в слоях паковки.

3. Определены границы колебаний плотности намотки и пределы их изменения для обеспечения разнотолщинности нитей на валах, не превышающей заданного значения.

4. Определен состав и технические характеристики элементов микропроцессорной системы мониторинга кинематических параметров технологического процесса партионного снования, разработаны конструкции измерителей кинематических параметров (радиуса намотки, длины наматываемых нитей и угла поворота сновального вала). Определены функция преобразования и чувствительность измерителя радиуса намотки.

5. Установлена взаимосвязь погрешности измерения радиуса намотки и его приращения в отдельном слое намотки, на основе которой определен период квантования микропроцессорной системы. Обоснован выбор периода квантования микропроцессорной системы для достижения заданной точности измерения рассматриваемого кинематического параметра.

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. 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 сновальных 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 хлопчатобумажной пряжи на валах при их разматывании на шлихтовальной машине на 65 %.

**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 (по классификатору ОКП 831220 – Ткани готовые хлопчатобумажные бельевой группы миткалевой подгруппы).

**Положения, выносимые на защиту:**

1. Установленное влияние различных факторов на точность косвенного измерения по кинематическим параметрам процесса наматывания физических величин, характеризующих напряженно-деформированное состояние сновальных паковок.

2. Условия формирования сновальной паковки с постоянной объемной плотностью для принятой модели изменения толщины намотки и

найденные границы изменения плотности намотки для достижения заданной разносторонности нитей на валах партии.

3. Состав, конструкции и технические характеристики элементов системы мониторинга кинематических параметров процесса снования.

4. Экспериментально установленная невозможность достоверного измерения малых приращений радиуса намотки из-за особенностей объекта измерения и условий взаимодействия датчика с поверхностью паковки.

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

**Степень достоверности и апробация результатов исследования.** Все выполненные в работе теоретические исследования базировались на корректном использовании методов математического анализа, теории вероятностей и математической статистики. Результаты исследований подвергнуты многократным проверкам, их содержание не противоречит имеющимся эмпирическим данным и результатам апробации в производственных условиях. Решение практически всех задач выполнено с применением ЭВМ, при этом использованы известные и проверенные программные продукты, а также алгоритмы и программы, разработанные автором на основе корректного использования методов алгоритмизации и программирования прикладных задач. Методики экспериментальных исследований достаточно полно проработаны как в метрологическом аспекте, так и в плане корректного использования имеющегося опыта создания и совершенствования оборудования подготовительных отделов ткацких производств. Материалы диссертации докладывались, обсуждались и получили положительную оценку на 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.).

**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).

# 1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПАРТИОННОГО СНОВАНИЯ И НАПРАВЛЕНИЯ ЕЕ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ

## 1.1. Партионное снование и оборудование для его осуществления

Подготовка основных нитей к ткачеству заключается в ассемблировании (объединении) большого количества нитей в одну паковку – ткацкий навой. Это объединение начинается с перемотки и партионного снования и заканчивается шлихтованием. Подобная технологическая цепочка отдельных операций используется при производстве хлопчатобумажных, льняных тканей, смесовых тканей и др., при этом в зависимости от способа замены паковок шпулярника партионной сновальной машины различают прерывное и непрерывное партионное снование /1/. По ряду причин преимущественное распространение получило прерывное снование, поэтому в работе рассматривается этот способ.

К партионному снованию предъявляется ряд требований, которые можно условно разделить на общепромышленные и специальные. К общепромышленным относятся требования высокой машинной производительности, низких энергетических затрат на осуществление процесса, высокого качества выходного продукта и высокой производительности труда оператора оборудования. Выполнение отдельных общепромышленных требований зависит от выполнения ряда специальных требований. В частности, высокое качество выходного продукта означает, что формируемые на партионной сновальной машине паковки должны иметь строго цилиндрическую форму, причем цилиндр должен быть круглым, длина нитей на всех сновальных валах партии должна быть одинаковой и соответствовать расчетному значению. Образующая цилиндра должна быть прямой линией, т.е. на поверхности сновального вала должны отсутствовать выступы и впадины, вследствие которых появляется такой вид порока намотки, как бугристость. Для того чтобы при размотке сновальных валов на

шлихтовальной машине были исключены обрывы нитей, при намотке сновальных валов должна быть обеспечена строго параллельная намотка, т.е. отсутствовало бы так называемое перекрещивание нитей. Ширина полотна нитей должна строго соответствовать ширине сновального вала, чтобы плотность намотки в области фланцев была такой же, как и в середине вала /2/.

Длина нитей, намотанных на сновальные валы партии, должна быть, как отмечалось выше, одинаковой и соответствовать расчетному значению. До сих пор считалось, что причиной неодновременного разматывания сновальных валов на стойке шлихтовальной машины является низкая точность измерения длины нитей на сновальной машине /3/. Действительно, измерение длины нитей с помощью мерильного вала не выдерживает никакой критики, что и показано в многочисленных исследованиях /4, 5/, поэтому были предложены два принципиально не различающихся способа измерения длины нитей. На отечественных сновальных машинах в условиях производства осуществлялась модернизация этого механизма и измерение проводилось с помощью мерильного колеса, закрепляемого на специальной штанге и взаимодействующего с поверхностью сновального валика /6/.

Другое решение состояло в том, что в качестве мерильного колеса использовался укатывающий вал, а поскольку в нестационарных режимах работы сновальной машины сновальный и укатывающий валы движутся несинхронно, в этих режимах измерение осуществлялось косвенно – по измеренным углу поворота сновального вала и его текущему радиусу /7/. Однако следует иметь в виду, что если сновальные валы сформированы с различной плотностью намотки, то одинаковая длина нитей, намотанных на сновальные валы партии, не гарантирует одновременность схода нитей в шлихтовании.

Не менее важным специальным требованием является высокое быстродействие системы останова машины при обрыве нитей. Если этот параметр не соответствует требованиям, то тормозной путь машины, который

в этом случае определяется как длина нитей, намотанных на сновальный вал с момента возникновения обрыва и до полной остановки машины, приводит к тому, что оборванный конец нити заматывается на вал и его трудно отыскать оператору. Если оборванный конец не находится оператором, то на шлихтовальной машине при разматывании образуются хомуты или задиры, что снижает производительность процесса и качество ткацкого навоя. С ростом скорости требование высокого быстродействия еще более возрастает.

На выполнение рассмотренных общепромышленных и специальных требований и были направлены усилия разработчиков современного сновального оборудования. Например, на сновальных машинах известных зарубежных фирм «Шляфгорст» (Германия) и «Беннингер» (Швейцария) время торможения удалось снизить до 0,16-0,21 с, а тормозной путь при скорости снования 1000 м/мин – до 2,7-3,5 м. При расстоянии от шпулярника до сновального вала около 4 м гарантируется нахождение конца оборванной нити на поверхности сновального вала /8/. Для останова машины при обрыве нити используется электромеханическая система сигнализации. Для предотвращения засорения сигнальных крючков на всех машинах устанавливаются системы пылепухоудаления, которые исключают засорение нитенатяжителей и, кроме того, предотвращают навивку нитей с пухом на вал.

Несинхронный останов мерильного, укатывающего и сновального валов приводит к существенному увеличению угаров пряжи в шлихтовании и перетиранию пряжи на поверхности сновального вала. На современных сновальных машинах синхронность торможения валов достигается с помощью быстродействующих тормозов различного принципа действия. Увеличение массы пряжи на сновальных валах при увеличенных диаметрах фланцев валов предъявляет повышенные требования к тормозной системе машины, которая должна предотвратить заматывание на вал конца оборванной нити. Новые направления в совершенствовании сновального оборудования позволили обеспечить:

- оптимальную плотность намотки валов, которая может варьироваться в достаточно широких пределах – от повышенной плотности до невысокой плотности намотки валов, предназначенных для крашения;

- точную проводку нитей;
- отсутствие перекрещенных нитей на партионно-сновальном валу;
- цилиндрическую намотку нитей на валы;
- отсутствие проскальзывания между прижимным валом и паковкой;
- высокую точность измерения длины нитей;
- отсутствие врезания нитей в гребенку;
- уменьшение количества накрученных концов нитей;
- высокую производительность намотки;
- надежный контроль процесса;
- автоматическую вытяжку воздуха и удаление мешающей пыли;
- защиту обслуживающего персонала от пыли и сквозняка.

Улучшенные показатели качества снования удалось достигнуть за счет новых технических решений конструкции сновальной машины, организации технологического процесса и улучшения условий труда работников. В /9/ приведены результаты анализа конструктивных особенностей партионной сновальной машины ZM-F1800/1000DNC фирмы «Karl Mayer»:

1. На машине достигнута возможность сновать все виды нитей и пряжи от 7,5 до 170 текс с плотностью намотки от 0,3 до 0,7 г/см<sup>3</sup>.

2. Достигнута высокая производительность машины и труда за счет большой скорости снования, доходящей до 1000 м/мин, что обеспечивается мощной и надёжной системой экстренного торможения.

3. Обеспечена низкая обрывность нити на высокой скорости снования за счет новой конструкции шпулярника, в частности нитенатяжителей /10/.

4. На машине применена микропроцессорная система автоматической установки и контроля параметров процесса.

5. Разработаны различные приспособления, позволяющие уменьшить время перезаправки партии и время ликвидации обрыва.

Микропроцессорная система управления сновальной машиной обрабатывает информацию о ходе технологического процесса и формирует базу данных по показателям: по дате, продолжительности смены, персональному номеру сновальщицы, артикулу, номеру партии, общей длине основы в партии, обрывности нитей, времени, затрачиваемому на снование, на смену валика, на устранение обрывов, на заправку шпулярика. Также возможно автоматически устанавливать такие параметры снования, как скорость, натяжение и длину нитей на валу. При останове и пуске нити между гребенкой и направляющим валом могут перекрещиваться, при шлихтовании это зачастую приводит к обрывам нитей. Автоматическое устройство для устранения перекрещивания следит за тем, чтобы порядок нитей восстанавливался сразу после пуска.

Периодически по всей ширине работает эффективный обдув гребенки. Интервалы и интенсивность обдува устанавливаются индивидуально. Благодаря особой технике возникает достаточная турбулентность воздуха. Несмотря на незначительный расход воздуха, гребенка остается свободной от пыли.

Для точной проводки нитей и равномерного расположения нитей сегменты раздвижной гребенки имеют одну длину. Это обеспечивает короткие свободные расстояния между гребенкой и направляющим валом и тем самым наложение нитей без перекрещивания. Горизонтальным движением гребенки создается равномерное наложение нитей на сновальный вал. В результате получается гладкая поверхность намотки. Вертикальные движения повышают срок службы зубьев гребенки.

Следует отметить, что в конструкции отечественных сновальных машин также предусмотрена возможность горизонтальных возвратно-поступательных движений разделительного рядка для равномерного распределения нитей на поверхности сновального вала. Однако из-за неудовлетворительного быстродействия устройства остановка машины при обрыве нити, когда оборванный конец нити при высоком значении тормозного

пути зарабатывается в паковку и оператор его не находит, на производстве механизм разделительного рядка отключают. Это еще раз свидетельствует о необходимости системного решения задач повышения эффективности партионного снования.

Дисковые гидравлические тормоза, размещенные по обеим сторонам паковки, обеспечивают быстрое, симметричное и линейное тормозное воздействие, что снижает количество намотанных оборванных концов нитей.

Для качественной намотки валов современные машины оборудованы дозирующей системой распределения давления, которая гарантирует сильно уменьшенную, но равномерную силу прижима укатывающего валика. Точное измерение длины нитей осуществляется путем измерения оборотов сновального и прижимного вала. Погрешность измерения, которая может возникнуть при разгоне или останове, корректируются таким образом, что конечные величины длин снования всегда остаются в заданных пределах.

Обратим внимание, что решение задачи обеспечения высокой точности измерения длины нитей /11/, намотанных на сновальный вал, тесно связано с определением влияния параметров напряженно-деформированного состояния сновальной паковки на указанный параметр. Дело в том, что в процессе намотки длина нитей измеряется в деформированном состоянии, причем в теле намотки вследствие перемещения слоев деформация нитей может изменяться, поэтому само по себе высокоточное измерение длины нитей может не обеспечить одновременное разматывание сновальных валов на шлихтовальной машине.

Ряд технических решений направлен на облегчение работы и поддержание рабочего процесса. На современных сновальных машинах по обеим сторонам расположены однорельсовые элементы, которые облегчают закатывание сновального вала в машину. Вал автоматически центрируется и зажимается. Система наблюдения следит за работой зажима и после автоматического контроля зажима вала разрешает пуск машины. Валы с номинальными диаметрами фланцев поднимаются с пола пинолями,

выдвигающимися с обеих сторон. Для валов с меньшими диаметрами фланцев машина может быть дополнительно оснащена вилами для загрузки и выгрузки. Для простого закладывания нитей гребенка раздвигается. Боковая настройка гребенки под вал, а также выставление точной ширины снования происходят автоматически.

Скорости снования до 1200 м/мин поддерживаются постоянными при помощи электроники. Машины оснащены современным асинхронным трехфазным приводом. Даже в самом нижнем диапазоне числа оборотов достигаются нужные приводные моменты. Привод надежен в эксплуатации и не требует ухода. Благодаря обдуву поверхности он нечувствителен к загрязнениям.

Простое наблюдение за процессом осуществляется с использованием современных микропроцессорных систем. Обслуживающий персонал при вводе и выводе данных пользуется ясными графическими символами. Встроенная система диагностики дает указания причин ошибок обслуживания или сбоев и способов для их устранения. Дополнительно может быть поставлен принтер. С его помощью могут печататься протоколы на сновальный вал и на партию для дальнейшего контроля процесса. В качестве опции имеется стандартный интерфейс, позволяющий передавать данные в вышестоящую систему.

Фирмой «Беннингер» разработана противопылевая система КЛИНВАК, которая соответствует международным предписаниям по безопасности и предотвращает попадание пуха и пыли на партионно-сновальный вал /12/. Система также защищает персонал от текстильной пыли, опасной для здоровья, и одновременно предупреждает несчастные случаи. Таким образом, предотвращаются включения пыли в намотку пряжи, улучшается качество снования, что в свою очередь положительно проявляется в шлихтовании. Система в состоянии удалять пыль грубых волокон даже при высокой скорости снования. Для удаления содержащего пыль воздуха предусмотрена специальная установка проветривания. Система удаления пыли работает в

автоматическом режиме. При запуске машины защитная крышка автоматически закрывается. Идущий от шпулярника с содержанием пыли воздух проводится в вытяжную воронку, которая переходит в расположенный выше вытяжной колпак. Вытяжная воронка покрывает гребенку и направляющий вал партионно-сновальной машины. Воздушный поток к тому же вытягивает прилипшие к поверхности нитей отдельные волокна. У направляющего вала нити проходят через узкую щель, прежде чем они попадают в закрытую зону намотки на навой. Создающееся в этой щели пониженное давление предотвращает внедрение частичек пыли в зону намотки. Канал по всей ширине навоя удаляет любой пух с пола зоны намотки. При останове машины крышка автоматически открывается. Поднятие вверх крышки вместе с вытяжной воронкой и крышкой зоны намотки делает возможным беспрепятственный доступ к зоне гребенки и намотки партионно-сновальной машины (рис. 1.1).

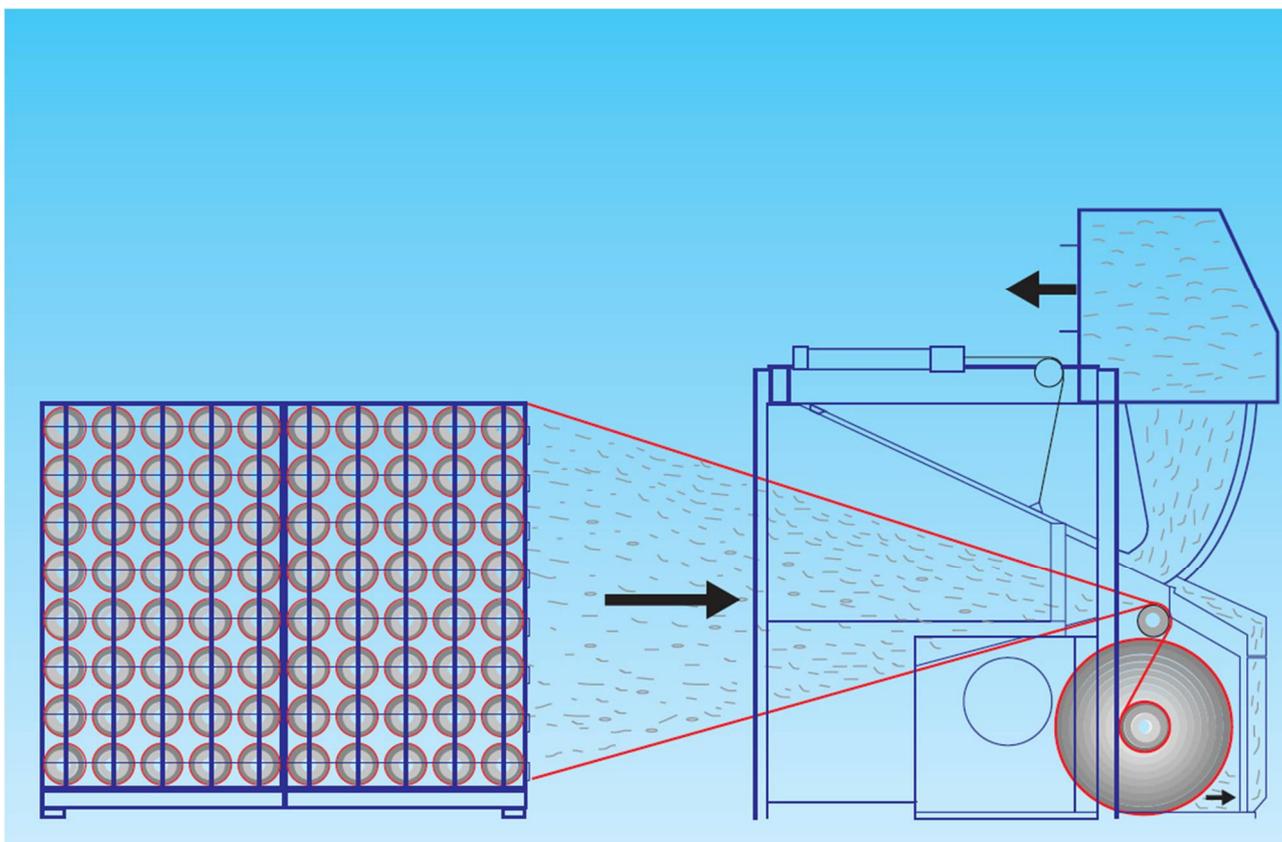


Рис. 1.1. Противопылевая система КЛИНВАК фирмы «Беннингер»  
(Швейцария)

Обрывы нитей в зоне гребенки неизбежно ведут к накручиванию (заработке) концов нитей, в результате чего образуются так называемые «потерянные» нити. Они являются причинами дефектов шлихтования – намотки нитей в корыте или даже обрывов множества нитей. Для устранения накрученного обрыва нити необходимая длина основы может быть отмотана со сновального вала с помощью накопителя пряжи ФИЛАККУ /13/. Синхронно с обратным ходом валы накопителя вводятся снизу и сверху поля нитей и перемещаются навстречу друг другу. Таким образом, отмотанная длина основы накапливается с безупречным натяжением нитей. Дополнительные зажимные устройства, которые часто приводят к повреждению нитей, не используются. При выводе из накопителя минимальное опережающее движение навоя отвечает за небольшое "дотягивание" нитей из шпулярника. Тем самым сохраняются достигнутый порядок нитей и их натяжение. Точное управление валами накопителя предотвращает пики натяжения и провисание нитей. Нитенакопитель ФИЛАККУ может использоваться со всеми V-образными и параллельными шпулярниками. Установленные как бегунки валы накопителя гарантируют свободный доступ к полю нитей, например, для быстрого устранения обрыва нити. При обычном сновании валы накопителя находятся вне поля нитей и не препятствуют свободному проходу нитей со шпулярника к машине при неограниченно высоких производственных скоростях (рис.1.2).

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 комфортных и безопасных условий труда. Поэтому 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 обоснованных организационных и технических задач:

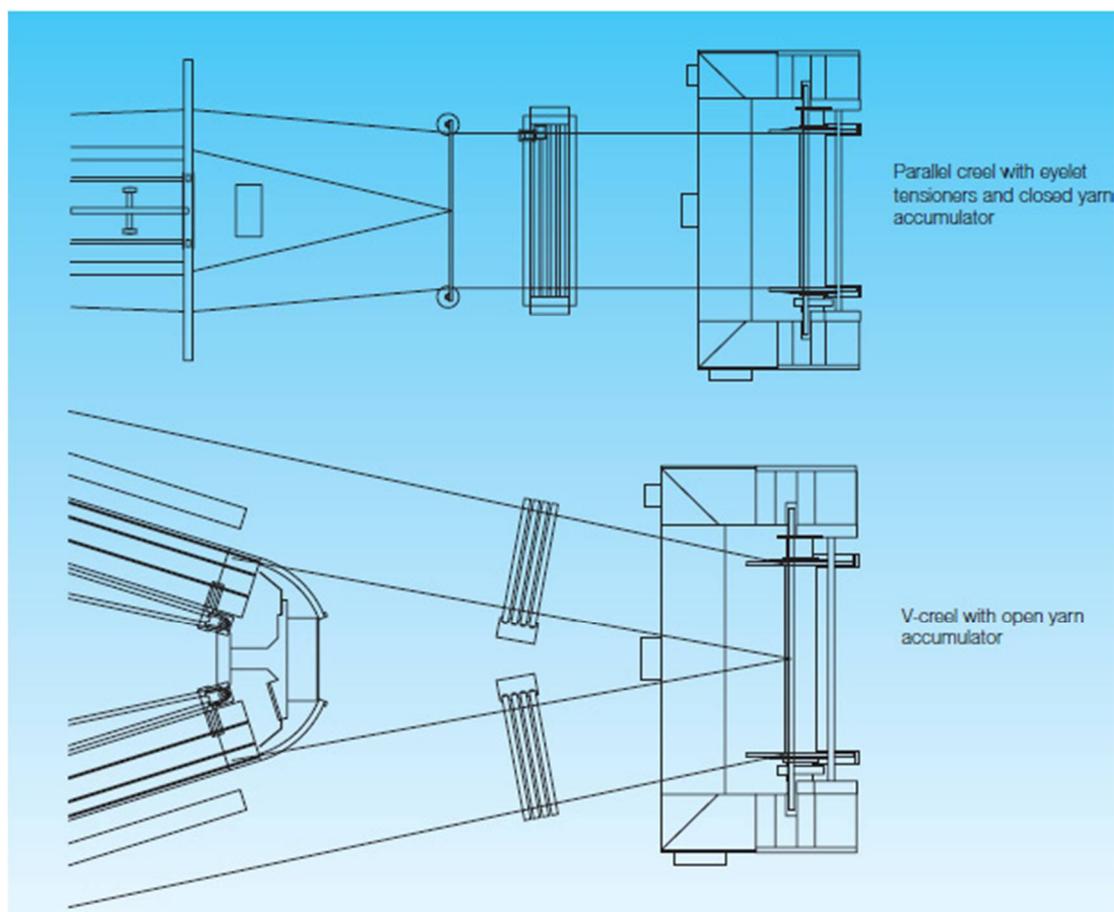


Рис. 1.2. Накопитель пряжи ФИЛАККУ фирмы «Беннингер» (Швейцария)

1. Обеспечить надежную работу технологического оборудования, периодически выполнять диагностику машин, узлов и систем управления.
2. Обеспечить достоверность информации о технологических параметрах и параметрах, характеризующих качество формирования сновального вала.
3. Осуществить формирование сновальных паковок с высокой степенью однородности структурных параметров в партии.
4. Добиться высокой производительности процесса снования при достижении высокого качества наматываемых паковок.

## 1.2. Параметры современных партионных сновальных машин и сновальных паковок

Известно, что в ткацком производстве снование осуществляется тремя способами: партионным, ленточным и секционным в зависимости от вида пряжи и принятой технологии производства. Наиболее производителен партионный способ снования, поэтому он нашел более широкое применение при подготовке основных нитей к ткачеству. Как отмечалось ранее, сущность партионного способа снования заключается в навивании общего числа основных нитей, необходимых для формирования ткани, на отдельные сновальные валы, составляющие партию. На сновальный вал при партионном способе снования навивается только часть нитей, необходимых для формирования ткацкого навоя.

Основные пороки снования:

– нахлестка – порок, при котором оборванный конец нити при сматывании с бобины не связывается с концом нити на сновальном валу, а заматывается на нем; зацеп – оборванный конец одной нити привязывается к концу другой нити на сновальном валу. Эти пороки, являющиеся результатом неудовлетворительной работы тормозной системы машины и невнимательности оператора, при шлихтовании вызывают образование жгутов на сновальном валу;

– неправильная форма намотки на сновальный вал – результат неправильного расположения нитей в направляющем рядке и неправильной его разводки, врезания нитей в края сновального вала при неправильной установке рядка относительно фланцев сновального вала, слабого крепления фланцев и их перекоса, слабины и различного натяжения нитей при неправильной наладке натяжных приборов, слабины края при неправильном прижиме сновального вала к поверхности сновального барабана;

– неправильная длина снования при ошибке установки счетчика в начале снования или его разладке.

Обрывы пряжи при сновании снижают производительность сновальных машин, увеличивают количество отходов и узлов в пряже. Отходы пряжи при сновании образуются в результате ликвидации обрывов пряжи, заправки новой паковки, перезаправки. Количество отходов зависит от способа снования, качества пряжи, ее линейной плотности, качества поступающих в снование паковок и обычно составляет 0,02-0,15 % массы пряжи, поступающей в снование /14/.

Сновальные паковки, формируемые на сновальной машине, должны отвечать требованию изоморфности, т.е. быть тождественными по форме и структуре. 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 разнородности 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 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 напряженно-деформированного состояния (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.

Проблема сокращения отходов при наматывании ткацкого навоя на шлихтовальной машине продолжает оставаться актуальной. Связано это с различными причинами. Обнаружено, что счетчик длины нитей партионной сновальной машины, соединенный с мерильным валом, неэффективен, поскольку в нестационарных режимах возникает большая погрешность измерения /15/. Поэтому текстильные предприятия вынуждены вносить в конструкцию отечественных сновальных машин изменения, отказываясь от использования мерильного вала и применяя специальный счетчик с мерильным колесом, контактирующим непосредственно со сновальным валом. Зарубежные производители, в частности швейцарская фирма Benninger, а в последующем и немецкая Karl Mayer, для измерения длины использовали укатывающий вал, а при пусках и остановах машины, когда укатывающий вал отводился от сновального, измерение осуществлялось косвенно путем вычисления длины нитей по измеренным радиусу намотки и углу поворота сновального вала. Все это позволило сократить количество угаров, но до конца решить задачу не удалось, поскольку процессы наматывания и последующего разматывания валов протекают под влиянием значительного числа факторов, влияющих на напряженно-деформированное состояние тела намотки, а следовательно, и длину нитей в намотке. Предприняты также усилия, направленные на построение системы управления процессом наматывания нитей на партионной сновальной машине /16/. Предлагалось контролировать темп роста радиуса намотки, обеспечивая его постоянство в пределах отдельного слоя намотки путем изменения давления укатывающего вала. Считалось, что при разматывании таких валов на шлихтовальной машине с постоянной угловой скоростью удастся сократить отходы, однако в полной мере это сделать не удалось. Предполагается, что причина неудовлетворительного решения задачи состоит в попытке оценивания такого сложного объекта, каким является тело намотки, ограниченным числом параметров (длиной нитей, радиусом намотки и ее объемной плотностью). По этой причине паковки с

приблизительно одинаковыми перечисленными параметрами в действительности являются структурно разнородными. Неоднородность давления в отдельных слоях, вызванная изменяющимися условиями наматывания, обуславливает разную объемную плотность слоев намотки, а следовательно, и разную длину нитей. Поэтому для повышения точности идентификации паковки целесообразно осуществлять мониторинг параметров намотки, на его основе сравнивать характеристики НДС валов, формируемых в партию, и далее прогнозировать вероятную разнородность нитей на валах.

### 1.3. Пути совершенствования партионных сновальных машин и повышения качества формируемых паковок

Совершенствование сновальных машин и повышение качества получаемых паковок в настоящее время осуществляется по разным направлениям:

1. Техническое переоснащение сновальных машин.
2. Разработка средств контроля технологических параметров процесса снования и параметров намотки пряжи на сновальной машине.
3. Обеспечение условий намотки сновальных паковок с однородными геометрическими и структурными параметрами.
4. Повышение производительности оборудования.

Одним из направлений технического переоснащения партионных сновальных машин отечественного производства является замена привода машины /17-20/ и использование частотно-управляемого асинхронного двигателя для перемещения укатывающего вала для осуществления управляемой намотки сновальной паковки.

Для снижения количества “потерянных” концов в /21/ предложена система автоматического управления тормозом сновального вала. Особенность системы состоит в том, что она позволяет устранить влияние

изменяющегося коэффициента трения на тормозной путь сновальной машины и, таким образом, сделать длину оборванного конца нити не зависящей от момента инерции сновального вала.

К другим направлениям технического переоснащения сновального оборудования следует отнести:

- сокращение времени останова сновальных валов и достижение синхронного останова мерильного, укатывающего и сновального валов;
- увеличение вместимости ставки и массы пряжи на сновальных валах;
- дальнейшую механизацию и автоматизацию ручных операций;
- применение дифференциального уплотнения намотки;
- разработку эффективных систем управления сновальным оборудованием.

Среди важнейших характеристик процесса в первую очередь рассматриваются производительность, неравномерность натяжения нитей, количество “потерянных” концов и другие, а также группа параметров и характеристик сформированной паковки: диаметр сновального вала, длина намотанных нитей и их свойства, плотность намотки и характер ее распределения по радиусу, уровень межслойных давлений и остаточных натяжений в витках нитей и другие.

До сих пор основное внимание при решении задач повышения эффективности партионного снования уделялось повышению точности измерения длины нитей, уменьшению количества “потерянных” концов, проектированию нитенатяжных приборов, снижающих неравномерность натяжения нитей, и др. /22/. Кроме того, доказана возможность повышения производительности процесса за счет выбора оптимальной скорости снования /23, 24/, сокращения потерь пряжи в процессе шлихтования путем формирования идентичных паковок /25/. Однако процесс ассемблирования большого количества нитей в одну паковку не должен сопровождаться ухудшением физико-механических свойств самих нитей. Если, например, в результате снования разрывная прочность пряжи снижается, то это влечет за

собой повышение обрывности основных нитей на ткацком станке и, как следствие, снижение производительности. Поэтому при разработке эффективных систем управления процессом намотки нитей на сновальную паковку необходимо учитывать и ее напряженно-деформированное состояние.

Следует отметить, что в практике разработки партионных сновальных машин как в России, так и за рубежом этому вопросу уделялось недостаточно внимания. Вызвано это, видимо, прежде всего отсутствием приемлемых методов контроля параметров паковки. Те средства измерения, которые применялись при экспериментальном изучении процесса наматывания нити на паковку /26-28/, не могут быть рекомендованы для промышленного применения, так как используют дорогостоящие датчики, которые к тому же небезопасны для обслуживающего персонала. Кроме того, пока нет достаточной ясности в том, какие управляющие воздействия являются наиболее эффективными при решении задачи управляемой намотки нитей. Не отрицая важности решения задач, связанных с повышением производительности снования, созданием условий сокращения отходов и т.д., отметим необходимость учета изменения параметров пряжи после партионного снования, которое определяется характеристиками НДС сформированной паковки. Поэтому при разработке перспективных систем контроля и управления процессом наматывания нитей на сновальную паковку необходимо решить несколько задач:

- создать эффективную систему слежения (мониторинга) за основными параметрами процесса снования и формируемой сновальной паковки;
- разработать адекватные математические модели НДС и процесса формирования сновального вала;
- разработать рациональную структуру системы контроля параметров намотки нитей на сновальный вал.

При проектировании системы контроля параметров намотки, помимо информационного обеспечения, выбора принципа и структуры контроля, требуется обосновать рациональный перечень контролируемых параметров

процесса, который бы позволил при наименьших затратах на осуществление контроля получить максимальную информативность процесса. Наивысшая эффективность технологического процесса достигается при осуществлении управляемой намотки. Предпринимаемые отечественными разработчиками попытки решения этой задачи не в полной мере учитывали особенности объекта управления, в котором в зависимости от способа реализации управляющих воздействий, свойства объекта управления различались.

Управлять параметрами НДС намотки возможно двумя путями: натяжением наматываемых нитей либо изменением давления укатывающего вала. При реализации любого способа возникает задача идентификации объекта управления, который представляет собой в этом случае систему из сновального и укатывающего валов совместно с двигателем привода, причем сновальный вал имеет переменный момент инерции, обуславливающий нестационарность объекта и системы в целом. При математическом описании объекта рассмотрены уравнения Лагранжа второго рода, в которых в качестве обобщенных координат приняты угол поворота ротора электродвигателя и линейное перемещение укатывающего вала. В результате получено дифференциальное уравнение с переменными коэффициентами, после приведения которого к стандартному виду, принятому в теории автоматического управления, установлено, что объект может быть отнесен к квазистационарным, для которого найдена параметрическая передаточная функция /29/.

Основные направления разработки средств контроля технологических параметров процесса снования и параметров намотки пряжи на сновальной машине:

- Разработка способов и устройств для измерения длины снования.
- Повышение точности косвенного измерения длины нитей на сновальном валу.

- Разработка информационной системы вычисления параметров, определяющих напряженно-деформированное состояние намотки, на основе косвенных измерений.

- Разработка алгоритма автоматизированного прогнозирования технологического процесса снования нитей.

Задачей процесса партионного снования является наматывание тождественных сновальных паковок, т.е. паковок с одинаковым напряженным состоянием, которое характеризуется минимальным различием таких параметров сформированной партии паковок, как радиус намотки, длина нитей и количество оборотов паковок за время наматывания.

Однако процесс наматывания происходит под влиянием большого количества факторов, определяющих напряженное состояние сновальной паковки. Поэтому при их изменении наблюдается изменение и параметров НДС паковок, которое с целью их определения следует каким-то образом контролировать. Решение этой задачи с помощью прямых методов измерения затруднительно из-за сложности встраивания сенсоров параметров НДС, например, сенсоров давления в тело намотки. Поэтому приоритет в решении данной задачи должен отдаваться косвенным методам измерения.

Для реализации этого подхода должны использоваться математические модели напряженного состояния сновальной паковки. В этой связи следует отметить работы Сухарева В.А. с соавторами, в которых не только изучено распределение параметров НДС по радиусу намотки, но и исследовано влияние различных факторов на напряженное состояние намотки (податливости оправки, изгибной жесткости нити, реологических свойств нити, усилия прижима фрикционного цилиндра и других), а также решены задачи формирования паковок с требуемым распределением параметров напряженного состояния. Большой вклад в изучение рассматриваемой проблемы внес Степанов В.А. Однако, как и в работах Сухарева В.А., тело намотки и наматываемая на паковку нить в большинстве случаев принимались упругими. Экспериментальные исследования, выполненные

нами при формировании цилиндрической паковки крестовой намотки, показывают, что в течение нескольких часов после намотки радиусы отдельных слоев и всей намотки в целом продолжают уменьшаться, что свидетельствует о необходимости использования более сложных моделей деформирования текстильных материалов. Однако при решении частных задач, связанных с определением влияния точности измерения кинематических параметров на параметры НДС паковки, можно ограничиться рассмотрением моделей тел намотки, основанных на представлении тел намотки и наматываемых нитей как упруго-деформируемых объектов. При математическом моделировании формирования рулона ткани, выполненном в Ивановском государственном энергетическом университете, использован метод механической аналогии, и рулон ткани представлен в виде последовательно сочлененных элементарных масс и упругостей. Как и в вышеуказанных работах, для описания деформации тела намотки использован обобщенный закон Гука.

Известны методы описания формирования тел намотки, которые базируются на использовании линейных вязкоупругих моделей однородно стареющих изотропных тел и учитывают силы инерции вращательного движения паковки и непрерывное присоединение дополнительного материала, т.е. наращивание тела намотки. Ограничения, принимаемые при построении таких моделей, касаются в основном малой толщины слоев, присоединяемых в процессе наращивания, и равномерного утолщения слоя по окружности, в результате которого слой и вся паковка сохраняют осесимметричную форму. Кроме того, принимается, что жесткость наматываемого на паковку материала существенно ниже жесткости тела намотки, т.е. тело намотки принимается абсолютно жестким. Таким образом, современные методы исследования основываются на использовании более сложных моделей напряженного состояния нитей и тела намотки и характеризуются учетом сил инерции и непрерывного присоединения материала к телу намотки /30/.

Одной из задач партионного снования является формирование паковок с однородной структурой. Партия, составленная из паковок с высокой степенью однородности, позволяет в шлихтовании получать высококачественные ткацкие навои и сокращать остатки пряжи на сновальных валах. Поэтому необходимо разработать методику формирования партии сновальных валов, которая при разматывании идентичных паковок на стойке шлихтовальной машины обеспечит одновременный сход нитей при доработке партии.

Следует различать структурную неоднородность каждой отдельно взятой паковки и неоднородность паковок в партии. Для характеристики однородности партии сновальных валов в настоящее время используется ряд показателей, основными из которых являются линейная плотность нитей, их количество и длина, объемная плотность намотки и диаметр вала. Длина нитей на валу измеряется в процессе наматывания, диаметр намотки – по окончании процесса, а объемная плотность контролируется косвенно путем взвешивания наработанного вала и вычисления объема намотки. Однако перечисленных показателей недостаточно для того, чтобы характеризовать однородность партии паковок. Валы с одинаковыми перечисленными показателями могут иметь разнородную структуру. Структурная неоднородность паковки может быть порождена дефектами намотки. Известно, что форма партионной паковки, вследствие различных причин, может отличаться от формы круглого цилиндра. Специфический дефект намотки пряжи, в виде так называемой бугристости, обуславливает структурную неоднородность вдоль образующей сновального вала, а дефекты намотки, вызванные разной слоевой объемной плотностью, эксцентриситетом сновального вала и другими дефектами, обуславливают структурную неоднородность паковки в радиальном направлении. Для характеристики степени однородности может использоваться интегральный показатель напряженно-деформированного состояния паковки – ее объемная плотность. Причем, учитывая, что этот показатель меняется как в осевом, так

и в тангенциальном направлении, в общем случае требуется указывать закономерность изменения объемной плотности в обоих направлениях. Количественно степень однородности сновальной паковки целесообразно оценивать методами математической статистики. Однородность паковки в радиальном направлении предложено оценивать с помощью микропроцессорной системы /31/, включающей инкрементальные энкодеры угла поворота паковки и длины нитей. Во время намотки паковки осуществляется мониторинг процесса, в результате формируется массив данных о закономерности изменения радиуса, угла поворота паковки и длины намотанных нитей. Полученные данные экспортируются в компьютер, где осуществляется их статистическая обработка. С помощью модели напряженно-деформированного состояния, учитывающей деформации и перемещения слоев паковки и физико-механические характеристики нитей и тела намотки, определяется объемная плотность слоев. Для каждой паковки из партии составляется паспорт, включающий помимо перечисленных показателей сведения о закономерности изменения послойной объемной плотности в радиальном направлении и статистические параметры неоднородности сновального вала. Однородность структуры паковки в целом предложено оценивать дисперсией объемной плотности. Чем она выше, тем разнородней структура намотки паковки. Помимо дисперсии может вычисляться коэффициент вариации и градиент неоднородности структуры, а также и другие статистические характеристики объемной плотности. Возможен также анализ такого показателя структуры намотки, как коэффициент заполнения слоя намотки, представляющий собой отношение объемной плотности слоя к плотности пряжи.

Анализ закономерности изменения послойной объемной плотности и соотнесение ее с условиями наматывания (натяжением нитей, давлением укатывающего вала, вариацией линейной плотности нитей и т.д.) позволяют выявить существенные факторы, влияющие на однородность намотки. На основе анализа зависимости длины нитей в слое от его объемной плотности и

условий разматывания вала на шлихтовальной машине может быть установлена причина остатков пряжи на валах партии при их разматывании. С другой стороны, изучение закономерности изменения послойной объемной плотности в зависимости от диаметра намотки, анализ статистических показателей структурной однородности позволяют дать рекомендации по включению паковки в партию, что обеспечивает минимизацию отходов пряжи /32/.

#### 1.4. Цели и задачи исследований

Параметры как самого процесса снования, так и сформированной паковки в значительной степени влияют в итоге на качество и себестоимость вырабатываемой ткани. Важнейшими характеристиками процесса являются производительность, неравномерность натяжения нитей, количество “потерянных концов”, диаметр сновального вала, длина намотанных нитей и их свойства, плотность намотки и характер ее распределения по радиусу, уровень межслойных давлений и остаточных натяжений в витках нитей. 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.

Измерение радиуса намотки возможно различными способами. Наиболее приемлемым с точки зрения метрологических характеристик и влияния на паковку является косвенный способ измерения: по соотношению углов поворота сновального и укатывающего валов /15/, которые могут быть измерены с помощью инкрементальных энкодеров осевого типа. Если возникают трудности конструктивного характера при сопряжении

инкрементального энкодера с укатывающим валом, возможно применение энкодера с мерильным колесом, посредством которого измеряется длина окружности сновального вала и, таким образом, радиус намотки. Если погрешность измерения кинематических параметров процесса окажется неприемлемой, например, вследствие низкой разрешающей способности энкодеров, то могут быть использованы другие методы измерения. Например, можно рекомендовать способ, основанный на подсчете импульсов фиксированной частоты от кварцевого генератора за промежуток времени между двумя импульсами энкодера /33/.

Измерение длины наматываемых на сновальный вал нитей с помощью мерильного вала и связанного с ним счетчика сопряжено со значительными погрешностями. Неоднократно предпринимались попытки усовершенствования этого узла машины, однако требуемого снижения погрешности достичь не удалось. По этой причине на многих отечественных текстильных предприятиях штатный счетный механизм партионных сновальных машин заменялся на специальное мерильное колесо, соединенное со счетчиком и взаимодействующее со сновальным валом. Это позволило снизить погрешность до допустимых для практики значений. Однако при повышении скорости снования резко возрастают динамические нагрузки, связанные с быстроедействующим остановом машины при обрывах нитей. В таких условиях фрикционное взаимодействие мерильного узла с поверхностью вала может оказывать сильное истирающее воздействие, вызывающее снижение прочности нитей. Поэтому система измерения длины нитей, например на партионной сновальной машине фирмы Benninger, построенная на использовании в качестве мерильного колеса укатывающего вала, предполагает его отвод от сновального вала при торможении машины. На этот период измерение длины нитей осуществляется косвенно путем вычисления произведения угла поворота сновального вала и радиуса намотки.

При сложном сопряжении осевых энкодеров со сновальным и укатывающим валами на существующем оборудовании можно рекомендовать энкодеры с мерильными колесами типа ENC. Максимально достижимое для этого типа энкодеров разрешение составляет 1 имп./мм, поэтому основная погрешность измерения длины обуславливается условиями взаимодействия мерильного колеса с валом, а также разным напряженным состоянием основных нитей, наматываемых на вал.

Как уже отмечалось, в связи с отсутствием промышленных сенсоров контроля параметров НДС паковки в настоящее время большое внимание уделяется косвенным способам определения параметров НДС паковки /34/. При этом используются уравнения равновесия бесконечно малого элемента тела намотки /34, 35/, которые с учетом граничных условий могут иметь аналитическое решение. В этих условиях принципиальное значение имеет вопрос достоверности получаемой в результате косвенных измерений информации. Поэтому актуальны исследования влияния различных факторов на погрешность измерения межслойного давления в намотке с помощью модели, полученной проф. Гордеевым В.А. с соавторами /34/, которая строилась на предположении нелинейной зависимости деформации тела намотки от напряжения, но потом эта нелинейность представлялась в виде двух спрямленных участков, аппроксимируемых линейными функциями. Кроме того, в модели напряженно-деформированного состояния оправка принималась абсолютно жесткой, а из всех сил, действующих на бесконечно малый элемент тела намотки, во внимание принимались радиальные и окружные усилия. Изменением напряжений и деформаций вдоль образующей тела намотки, которая принималась в форме цилиндра, пренебрегали. Эти допущения, а также вариативность параметров наматываемой пряжи и тела намотки обуславливали погрешность, величину которой и необходимо оценить. На основе мониторинга параметров намотки возможно также составлять партию сновальных валов, обеспечивая

минимальную разностность нитей, что позволит сократить количество мягких угаров при шлихтовании.

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.

## 2. ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПАКОВОК НА ОСНОВЕ МОНИТОРИНГА КИНЕМАТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

При сновании основной пряжи на партионной сновальной машине формируется паковка – сновальный вал, параметры НДС которого во многом определяют эффективность процесса. При решении задач повышения эффективности партионного снования основное внимание уделялось вопросам увеличения производительности процесса и сокращения потерь пряжи в процессе шлихтования за счет формирования так называемых идентичных паковок /23, 24, 36-38/, а характеристики НДС намотки и возможность контроля этих параметров непосредственно в процессе наматывания теоретически и экспериментально изучались недостаточно.

Имеется ряд примеров экспериментального и теоретического определения основных параметров – плотности намотки, межслойных давлений, остаточных натяжений в витках нитей и других, при этом экспериментальные измерения указанных параметров осуществлялись с помощью специальных датчиков, которые при формировании паковок зарабатывались в тело намотки /39/. Экспериментальные методы использовались только при изучении процесса наматывания и по различным причинам не могут быть рекомендованы для промышленного применения /40/.

В связи с широкими возможностями, открывающимися при использовании микропроцессорной техники, представляет определенный интерес нахождение параметров формируемой сновальной паковки на основе измерения кинематических параметров процесса снования: угла поворота сновального вала, радиуса намотки и длины намотанных нитей в слое /41/. Кроме того, при оценке параметров НДС учитываются линейная плотность пряжи, количество нитей в ставке, время наматывания слоя, физико-механические параметры пряжи и формируемого тела намотки, в частности параметры, характеризующие упругие и релаксационные свойства пряжи,

коэффициенты, определяющие податливость тела намотки и ствола сновального вала, и другие. Их общее число превышает два десятка. Погрешности прямых измерений перечисленных параметров и их изменение в процессе наматывания влияют на точность решения поставленной задачи, а следовательно, и точность оценки напряженно-деформированного состояния сновальной паковки. В связи с этим закономерно встает вопрос о достоверности косвенно измеряемых параметров НДС сновальной паковки, об их доверительных границах и чувствительности к изменению тех или иных контролируемых параметров и констант, используемых при вычислениях.

## 2.1. Математическая модель для определения напряженно-деформированного состояния текстильных цилиндрических паковок

Формирование паковок на партионной сновальной машине сопровождается влиянием различных факторов, обуславливающих изменение параметров их напряженного состояния в процессе намотки как одного вала, так и всей партии сновальных валов. В этой связи идентификация параметров НДС каждого в отдельности сновального вала является в значительной степени актуальной для осуществления высокоэффективного снования.

Сложность решаемой задачи вызвана отсутствием достаточно точных и легко встраиваемых сенсоров параметров НДС. Известные технические решения основывались на применении специальных преобразователей давления, которые, как уже отмечалось, зарабатывались в тело намотки и предназначались для измерения межслойного давления исключительно в экспериментальных целях. Для полной идентификации важно контролировать не только межслойное давление, но и остаточные натяжения или остаточные эквивалентные напряжения в витках нитей. Известные 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 НДС тела намотки цилиндрической формы /35/ определяются в результате решения дифференциального уравнения, полученного из условия равновесия бесконечно малого элемента тела намотки. Это уравнение может быть составлено для окружных и радиальных напряжений /35/ либо для давлений  $q$  /34/. В последнем случае уравнение имеет вид

$$\frac{dq}{dr} + \frac{q}{r} = -\frac{\sigma_n - E_m \frac{\delta}{r} \chi - F}{r}, \quad (2.1)$$

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 дифференциального уравнения, описывающего НДС паковки, получено в /34/ и имеет вид:

$$q(r) = C_{1,j} r^{z_1} + C_{2,j} r^{z_2} + \Phi, \quad (2.2)$$

где  $z_{1,2} = 0,5f - 1 \pm \sqrt{(0,5f - 1)^2 - m}$  – корни характеристического уравнения  $z^2 + (2 - f)z + m = 0$ ;  $m = 1 - f - \lambda_i \chi E_m$ ;  $\lambda_i$  – коэффициент податливости слоя в радиальном направлении;  $\sigma_{nj}$  – намоточное напряжение с учетом релаксации;  $\chi$  – коэффициент заполнения слоя, равный отношению плотностей слоя и нити;

$$C_{1,j} = \frac{Dr_j^{z_2} + A_2 r_0^{z_2} [\Phi - q(r_j)]}{r_0^{z_1} r_j^{z_2} A_1 - r_j^{z_1} r_0^{z_2} A_2}, \quad (2.3)$$

$$C_{2,j} = \frac{q(r_j) - \Phi - C_{1,j} r_j^{z_1}}{r_j^{z_2}}, \quad (2.4)$$

$$\Phi = \frac{\sigma_{ij}}{\lambda_j \chi E_{mj} + f - 1}, \quad (2.5)$$

$$A_1 = f - 1 - \alpha_1 + \frac{E_{mj} \chi \lambda_n}{r_0}, \quad (2.6)$$

$$A_2 = f - 1 - \alpha_2 + \frac{E_{mj} \chi \lambda_n}{r_0}, \quad (2.7)$$

$$D = \frac{\sigma_{ij} \chi_j E_{mj} (\lambda_j r_0 - \lambda_n)}{r_0 (\lambda_j \chi E_{mj} + f - 1)}, \quad (2.8)$$

где  $\lambda_j$ ,  $\lambda_n$  – соответственно коэффициенты податливости слоя и тела намотки;  $f$  – коэффициент трения между слоями.

Решение уравнения напряженного состояния (2.2) с учетом (2.3) – (2.8) позволяет выполнить оценку погрешностей косвенного измерения его параметров на основе контролируемых в процессе наматывания кинематических переменных.

## 2.2. Погрешности косвенного определения параметров напряженно-деформированного состояния тела намотки

Рассмотрим решение задачи определения погрешности косвенного измерения давления  $q$  в  $i$ -м слое тела намотки с использованием дифференциального уравнения равновесия бесконечно малого элемента тела намотки, приведенного к линейному неоднородному уравнению Эйлера (2.1), которое имеет аналитическое решение (2.2).

В соответствии с [42] погрешность косвенного измерения при нелинейной зависимости измеряемого параметра от аргументов определяется

путем разложения нелинейной функции в ряд Тейлора, при этом возможность использования ряда для оценивания погрешности определяется путем сравнения остаточного члена разложения с выражением

$$0,8 \sqrt{\sum_{i=1}^m \left( \frac{\partial f}{\partial a_i} \right)^2} \cdot S^2(\tilde{a}_i), \quad \text{где } S^2(\tilde{a}_i) \text{ – среднее квадратическое отклонение}$$

случайных погрешностей результата измерения  $a_i$ -го аргумента. Однако, учитывая, что текущий радиус намотки, длина нитей, угол поворота сновального вала определяются в процессе намотки, т.е. измерения указанных величин производятся однократно, а в стандарте этот случай не рассматривается, для оценки погрешности измерения давления в слое используем методику из монографии /43/.

В соответствии с указанной методикой обработки, в которой косвенные измерения при однократных прямых измерениях аргументов названы обыкновенными, вначале оценим возможность использования линеаризованной нелинейной зависимости путем сравнения остаточного члена разложения с линейным. Для этого первоначально выберем количество аргументов нелинейной функции. Основываясь на известных теоретических и экспериментальных работах по исследованию напряженного состояния тел намотки /30, 34, 35/, выберем факторы, оказывающие на давление в слое в рассматриваемом технологическом процессе превалирующее влияние: релаксационный модуль упругости  $E_m$  и намоточное напряжение  $\sigma_n$  /44/. Из перечисленных кинематических параметров используем радиус намотки  $r$ , который может контролироваться с помощью инкрементальных энкодеров, установленных на сновальном и укатывающем валах /15/. Ряд Тейлора для давления  $q$  как функции трех переменных имеет вид:

$$q(r + \Delta r, E_m + \Delta E_m, \sigma_n + \Delta \sigma_n) = q(r, E_m, \sigma_n) + \frac{1}{1!} \left[ \frac{\partial q(r, E_m, \sigma_n)}{\partial r} \Delta r + \frac{\partial q(r, E_m, \sigma_n)}{\partial E_m} \Delta E_m + \frac{\partial q(r, E_m, \sigma_n)}{\partial \sigma_n} \Delta \sigma_n \right] + R_2, \quad (2.9)$$

где  $R_2$  – остаточный член разложения, равный

$$R_2 = \frac{1}{2!} \left[ \frac{\partial}{\partial r} \Delta r + \frac{\partial}{\partial E_m} \Delta E_m + \frac{\partial}{\partial \sigma_m} \Delta \sigma_m \right]^2 q(r + v_1 \Delta r, E_m + v_2 \Delta E_m, \sigma_m + v_3 \Delta \sigma_m), \quad (2.10)$$

где  $0 < v_{1,3} < 1$ .

Для сравнения  $R_2$  с линейным членом разложения необходимо оценить погрешности измерения аргументов или интервалы возможного их варьирования при изменении условий снования.

Погрешность измерения радиуса намотки по соотношению углов поворота сновального и укатывающего валов определена в /15/ как погрешность косвенного измерения, имеющая максимальное значение в начале намотки. Аналогичное заключение справедливо и для случая, когда для измерения радиуса намотки используется инкрементальный энкодер с мерильным колесом.

Для измерения кинематических параметров наматывания (радиуса намотки и длины наматываемых нитей) целесообразно использовать инкрементные энкодеры – датчики угловых и линейных перемещений и определять радиус намотки по известной формуле

$$r_c(\varphi_c) = \varphi_y(r_c) r_y / \varphi_c(r_c),$$

где  $r$  – радиусы,  $\varphi$  – углы поворота (индексы  $c$  и  $y$  относятся соответственно к сновальной паковке и укатывающему валу (мерильному колесу)).

В случае использования укатывающего вала длина наматываемых на сновальный вал нитей пропорциональна углу его поворота. Однако из-за его инерционности в нестационарных режимах работы машины возникает погрешность, обусловленная проскальзыванием, которая зависит от обрывности нитей и накапливается по мере наработки сновального вала. Поэтому в режимах пуска и останова машины возможно использование технического решения, предложенного фирмой Benninger, когда измерение длины нитей в переходных режимах осуществляют по углу поворота сновального вала и для вычисления длины в эти периоды используют

выражение:  $l(\varphi_c, r_c) = r_c \varphi_c$ .

Поскольку радиус намотки и длину наматываемых нитей измеряют косвенно, закономерно возникает вопрос о достоверности получаемых результатов. 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

$$\Theta_{r_c}(P) = k \sqrt{\left(\frac{r_y}{\varphi_{c_0}}\right)^2 \left[1 + \left(\frac{\varphi_{y_0}}{\varphi_{c_0}}\right)^2\right] \Theta_{\varphi}^2(P) + \left(\frac{\varphi_{y_0}}{\varphi_{c_0}}\right)^2 \Theta_{r_y}^2(P)}, \quad (2.11)$$

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  $\Theta/38$ ;  $\varphi_{c_0}$ ,  $\varphi_{y_0}$  – угловая скорость соответственно сновального и укатывающего валов в установившемся режиме.

Полученное выражение позволяет определить пути снижения погрешности измерения радиуса намотки. В частности, поскольку в суммарной погрешности  $\Theta_{r_c}(P)$  превалирует составляющая  $\left(\frac{\varphi_{y_0} r_y}{\varphi_{c_0}^2}\right)^2 \Theta_{\varphi}^2(P)$ , связанная с погрешностью измерения угла поворота сновального вала, то при прочих равных условиях точность выбранного энкодера является определяющей в измерении радиуса намотки.

Погрешность энкодера зависит от его класса точности. Например, для энкодера типа ЛИР-119 (производитель – специальное конструкторское бюро измерительных систем СКБ ИС) 7-го класса точности погрешность составляет  $150'' (7,27 \cdot 10^{-4} \text{ рад.})$ , а для наивысшего 3-го класса она равна  $5'' (2,42 \cdot 10^{-5} \text{ рад.})$ . С помощью выражения (2.11) можно определить допустимую погрешность энкодера по заданной точности измерения радиуса намотки /45/.

Погрешность измерения длины нитей, наматываемых на сновальный вал, в стационарном режиме работы машины определяется погрешностью

энкодера и упругим скольжением укатывающего вала. Поскольку в нестационарных режимах целесообразно измерение длины осуществлять косвенно, то суммарная погрешность должна определяться с учетом и этой составляющей. В работе /15/ проанализирована отмеченная погрешность и при использовании энкодеров погрешность косвенного измерения длины находят исходя из обрывности нитей при сновании. Если она составляет  $B$  обрывов на 1 млн. м одиночной нити, число обрывов на 1 сновальный вал составит  $b = Bml \cdot 10^{-6}$ , где  $m$  – число нитей на валу,  $l$  – длина снования. В нестационарных режимах работы машины длина нитей вычисляется по формуле

$$l_n = \sum_{i=1}^b r_{c_i} [\varphi_{c_i}^n(r_{c_i}) + \varphi_{c_i}^o(r_{c_i})],$$

где  $r_{c_i}$  – радиус намотки в  $i$ -й момент обрыва;  $\varphi_{c_i}^o(r_{c_i})$ ,  $\varphi_{c_i}^n(r_{c_i})$  – угол поворота сновального вала соответственно при останове (от начала торможения до остановки вала) и пуске машины (от начала разгона до достижения заданной скорости снования). Углы поворота  $\varphi_{c_i}^o(r_{c_i})$  и  $\varphi_{c_i}^n(r_{c_i})$  определяются моментом инерции сновального вала и зависят от эффективности тормозной системы и динамических свойств привода машины. Принимая

$$\varphi_{c_i}^o(r_{c_i}) = \varphi_{c_0}^o + a_o (r_{c_i} - r_0)^2, \quad \varphi_{c_i}^n(r_{c_i}) = \varphi_{c_0}^n + a_n (r_{c_i} - r_0)^2,$$

где  $\varphi_{c_0}^o$ ,  $\varphi_{c_0}^n$  – углы поворота в рассматриваемые периоды работы машины при  $r_{c_i} = r_0$ , т.е. в начале наработки сновального вала,  $a_o$ ,  $a_n$  – постоянные коэффициенты, находим

$$l_n = \sum_{i=1}^b r_{c_i} [\varphi_{\Sigma} + (r_{c_i} - r_0)^2 a_{\Sigma}],$$

$\varphi_{\Sigma} = \varphi_{c_0}^o + \varphi_{c_0}^n$ ,  $a_{\Sigma} = a_o + a_n$  – некоторые константы.

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. Принимая погрешность измерения радиуса намотки вследствие доминирующего влияния аддитивной составляющей в суммарной погрешности, постоянной по радиусу намотки, находим

$$\begin{aligned} \Theta_{ln}(P) &= k \sqrt{\left(\frac{dl_n}{dr_c}\right)^2 \Theta_{rc}^2(P) + \left(\frac{dl_n}{d\varphi_c}\right)^2 \Theta_{\varphi_c}^2(P)} = \\ &= k \sqrt{\left[\sum_{i=1}^b \varphi_{\Sigma} + a_{\Sigma}(r_{ci} - r_0)(3r_{ci} - r_0)\right]^2 \Theta_{rc}^2(P) + \left(\sum_{i=1}^b r_{ci}\right)^2 \Theta_{\varphi_c}^2(P)}, \end{aligned} \quad (2.12)$$

где  $\Theta_{\varphi_c}(P)$  – погрешность измерения угла поворота сновального вала.

Рассматриваемая погрешность зависит от того, как распределены обрывы по длине наматываемых нитей и какое их число. С ростом обрывности  $B$  и смещением ее к концу наработки вала она увеличивается.

К рассмотренной погрешности косвенного измерения радиуса намотки следует присоединить изменения радиуса  $r$ , вызванные вариативностью линейной плотности пряжи. Известно /46/, что условный диаметр пряжи связан соотношением:

$$d_n = 2\sqrt{T/(\pi\rho)},$$

где  $d_n$  – условный диаметр пряжи, мм;  $T$  – линейная плотность, текс;  $\rho$  – плотность вещества волокон, кг/м<sup>3</sup>.

Действительно, если представить пряжу длиной  $L$  в виде кругового цилиндра, то ее масса определяется выражением:

$$m = \rho \frac{\pi d_n^2}{4} L.$$

Линейная плотность пряжи

$$T = m/L, \text{ мг/м}$$

или

$$T \cdot 10^{-6} = m/L, \text{ кг/м}.$$

Отсюда

$$T \cdot 10^{-6} = \rho \frac{\pi d_n^2}{4} L / L = \rho \frac{\pi d_n^2}{4},$$

диаметр пряжи

$$d_n = 2 \cdot 10^{-3} \sqrt{\frac{T}{\pi \rho}}, \text{ м.}$$

Изменения условного диаметра пряжи, вызванные отклонениями ее линейной плотности, в первом приближении можно определить из выражения:

$$\Delta_{d_n} = \frac{\partial d_n(T)}{\partial T} \Delta T = 0,01 \delta_T \sqrt{T / (\pi \rho)},$$

$$\Delta_{d_n} = \frac{\partial d_n(T)}{\partial T} \Delta T = 2 \frac{1}{2} \left( \frac{T}{\pi \rho} \right)^{-\frac{1}{2}} \frac{1}{\pi \rho} \frac{\delta_T T}{100} = \sqrt{\frac{\pi \rho}{T}} \frac{T}{\pi \rho} \frac{\delta_T}{100} = 0,01 \delta_T \sqrt{T / (\pi \rho)}.$$

Относительное изменение условного диаметра

$$\delta_{d_n} = \frac{\Delta_{d_n} \cdot 100}{d_n} = \frac{0,01 \delta_T \sqrt{T / (\pi \rho)} \cdot 100}{2 \sqrt{T / (\pi \rho)}} = \frac{\delta_T}{2} = 0,5 \delta_T. \quad (2.13)$$

В свою очередь радиус намотки определяется количеством слоев  $m$  и размером поперечного сечения пряжи в направлении радиуса намотки, который зависит от условного диаметра пряжи. Принимая

$$r = r_0 + k_c d_n m,$$

где  $r_0$  – радиус ствола сновального вала, мм;  $k$  – коэффициент, учитывающий деформирование пряжи в поперечном направлении и рассеяние витков при намотке, находим

$$r = r_0 + k_c d_n m = r_0 + 2 k_c m \sqrt{T / (\pi \rho)}.$$

Изменение радиуса намотки аналогично предыдущему определяем из выражения

$$\Delta_r = \frac{\partial r(T)}{\partial T} \Delta T = 0,01 k_c m \delta_T \sqrt{T / (\pi \rho)}.$$

Отсюда относительное изменение радиуса

$$\delta_r = \frac{k_c \delta_T m \sqrt{T / (\pi \rho)}}{r_0 + 2k_c m \sqrt{T / (\pi \rho)}} \quad (2.14)$$

достигает максимального значения, приблизительно равного  $\delta_T/2$  в конце намотки, поскольку

$$\lim_{m \rightarrow \infty} \frac{k_c \delta_T m \sqrt{T / (\pi \rho)}}{r_0 + 2k_c m \sqrt{T / (\pi \rho)}} = \frac{\delta_T}{2}.$$

Таким образом, при оценке максимального значения изменения радиуса намотки из-за вариативности линейной плотности пряжи в первом приближении его можно считать равным половине относительного изменения линейной плотности перематываемой пряжи или относительному изменению ее условного диаметра.

Компонента погрешности, обусловленная изменением релаксационного модуля упругости наматываемых нитей и погрешностью его прямых измерений, может быть исследована на основе экспериментальных данных. Основными причинами изменения модуля упругости при наматывании основных нитей считается изменение их натяжения, скорости деформации и температурно-влажностных условий. Оценим влияние натяжения на релаксационный модуль упругости.

Известно /47/, что натяжение нитей при сновании подвержено влиянию многих факторов, в числе главных из которых принято считать скорость и линейную плотность пряжи, а также форму и геометрические размеры питающей паковки. Если линейная скорость задана техническим регламентом процесса и при сновании не должна изменяться, то размеры питающей паковки обуславливают изменение натяжения, закономерность которого зависит от линейной плотности пряжи и ее состава. Например, при сновании хлопчатобумажной пряжи 25 текс на скорости 400 м/мин. изменение среднего значения натяжения в вершине конической бобины достигает 61% /47/, при этом натяжение к концу срабатывания бобины увеличивается.

Экспериментальных данных о влиянии натяжения на релаксационный

модуль упругости хлопчатобумажной пряжи в литературе нами не обнаружено. В первом приближении используем зависимость модуля жесткости хлопчатобумажной пряжи 25 текс от натяжения  $F_n$ :

$$E = 10^6 \cdot A_1 F_n^n \rho / T,$$

где  $A_1$  и  $n$  – постоянные коэффициенты, полученные при обработке экспериментальных данных;  $\rho$ , кг/м<sup>3</sup> и  $T$ , текс – параметры, определенные ранее.

Эта формула взята из статьи /48/, где модуль упругости определяется через коэффициент жесткости  $c'$  метрового отрезка пряжи  $E = 10^3 \cdot c' \rho / T$ . Она получена следующим образом. Если принять обозначения и размерности из /48/, то

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{K/S}{\lambda/L} = \frac{KL}{\lambda S} = c \frac{L}{S} = c' \frac{\rho}{T},$$

поскольку коэффициент жесткости метрового отрезка нити равен  $c' = cL$ , а площадь сечения определяется из соотношения:

$$T = \frac{m}{L} = \frac{\rho V}{L} = \frac{\rho S L}{L} = \rho S.$$

Если  $T$  имеет размерность текс, а плотность  $\rho$  – Мг/м<sup>3</sup>, то

$$S = \frac{\frac{\text{г}}{\text{км}}}{\frac{\text{Мг}}{\text{м}^3}} = \frac{10^{-3} \frac{\text{г}}{\text{м}}}{10^6 \frac{\text{г}}{\text{м}^3}} = 10^{-9} \text{ м}^2,$$

т.е.

$$S = 10^{-9} \cdot \frac{T}{\rho}, \text{ м}^2.$$

Отсюда

$$E = 10^9 \cdot c' \frac{\rho}{T}, \text{ Н/м}^2$$

или

$$E = 10^3 \cdot c' \frac{\rho}{T}, \text{ МН/м}^2.$$

Если же размерности плотности  $\rho$  принять  $\text{кг/м}^3$ , то

$$E = 10^6 \cdot c' \frac{\rho}{T}.$$

В /48/, табл. 1/ для упругого состояния пряжи

$$c' = A_1 K_c^{n_1}.$$

Отсюда

$$E = 10^6 \cdot c' \frac{\rho}{T} = 10^6 \cdot A_1 K_c^{n_1} \frac{\rho}{T},$$

что с учетом принятых нами обозначений совпадает с вышеприведенной формулой. Изменение модуля упругости находится аналогично рассмотренному выше:

$$\Delta_E = \frac{\partial E(F_n)}{\partial F_n} \Delta F_n = 10^6 \cdot T^{-1} A_1 n F_n^{n-1} \rho \Delta F_n = 10^4 \cdot T^{-1} A_1 n F_n^n \rho \delta_F,$$

где  $\delta_F = \frac{\Delta F_n \cdot 100}{F_n}.$

Отсюда относительное изменение модуля упругости

$$\delta_E = \frac{\Delta_E \cdot 100}{E} = n \delta_F, \quad (2.15)$$

где  $n$  – показатель степени, для хлопчатобумажной пряжи 25 текс равный 0,5 /48/.

Изменение натяжения при сновании, как отмечено выше, зависит от скорости и линейной плотности нитей. Поскольку в процессе снования натяжение нитей не контролируется, то логично рассматривать изменение натяжения при срабатывании паковки при неизменной скорости снования относительно некоторого выбранного среднего значения как предельное изменение намоточного напряжения.

Для вычисления остаточного члена разложения (2.10) найдем

производные для функции (2.2)  $q(r) = C_{1,j}r^{z_1} + C_{2,j}r^{z_2} + \Phi$ , где постоянные интегрирования  $C_{1,i}$  и  $C_{2,i}$  находятся из граничных условий для  $i$ -го слоя намотки. При нахождении производных учтем, что постоянные интегрирования являются для рассматриваемого слоя константами, однако при их вычислении в косвенном измерении используются все три параметра  $(r, E_m, \sigma_n)$ , погрешность измерения и вариативность которых обуславливают погрешность косвенного измерения давления. Учитывая, что константа  $\Phi$  не зависит от  $r$ , получим:

$$\frac{\partial q}{\partial r_i} = C_{1,i}z_1r_i^{z_1-1} + C_{2,i}z_2r_i^{z_2-1} + r_i^{z_1} \frac{\partial C_{1,i}}{\partial r_i} + r_i^{z_2} \frac{\partial C_{2,i}}{\partial r_i}, \quad (2.16)$$

где

$$\frac{\partial C_{1,i}}{\partial r_i} = DL^{-1}z_2r_i^{z_2-1} - L^{-2} \{Dr_i^{z_2} + A_2r_0^{z_2} [\Phi - q(r_i)]\} (z_2r_0^{z_1}r_i^{z_2-1}A_1 - z_1r_i^{z_1-1}r_0^{z_2}A_2);$$

$$\frac{\partial C_{2,i}}{\partial r_i} = -(z_1 - z_2)C_{1,i}r_i^{z_1-z_2-1} - [q(r)_i - \Phi]z_2r_i^{-(z_2+1)} - r_i^{z_1-z_2} \frac{\partial C_{1,i}}{\partial r_i};$$

$$L = r_0^{z_1}r_i^{z_2}A_1 - r_i^{z_1}r_0^{z_2}A_2.$$

Производная по релаксационному модулю упругости  $E_m$ :

$$\frac{\partial q}{\partial E_m} = \frac{\partial q}{\partial C_{1,i}} \cdot \frac{\partial C_{1,i}}{\partial E_m} + \frac{\partial q}{\partial C_{2,i}} \cdot \frac{\partial C_{2,i}}{\partial E_m} + \frac{\partial q}{\partial z_1} \cdot \frac{\partial z_1}{\partial E_m} + \frac{\partial q}{\partial z_2} \cdot \frac{\partial z_2}{\partial E_m} + \frac{\partial \Phi}{\partial E_m}, \quad (2.17)$$

где в свою очередь

$$\begin{aligned} \frac{\partial C_{1,i}}{\partial E_m} &= \frac{\partial C_{1,i}}{\partial D} \cdot \frac{\partial D}{\partial E_m} + \frac{\partial C_{1,i}}{\partial A_1} \cdot \frac{\partial A_1}{\partial E_m} + \frac{\partial C_{1,i}}{\partial A_2} \cdot \frac{\partial A_2}{\partial E_m} + \frac{\partial C_{1,i}}{\partial \Phi} \cdot \frac{\partial \Phi}{\partial E_m} + \\ &+ \frac{\partial C_{1,i}}{\partial z_1} \cdot \frac{\partial z_1}{\partial E_m} + \frac{\partial C_{1,i}}{\partial z_2} \cdot \frac{\partial z_2}{\partial E_m}, \end{aligned} \quad (2.18)$$

$$\frac{\partial C_{2,i}}{\partial E_m} = \frac{\partial C_{2,i}}{\partial C_{1,i}} \cdot \frac{\partial C_{1,i}}{\partial E_m} + \frac{\partial C_{2,i}}{\partial \Phi} \cdot \frac{\partial \Phi}{\partial E_m} + \frac{\partial C_{2,i}}{\partial z_1} \cdot \frac{\partial z_1}{\partial E_m} + \frac{\partial C_{2,i}}{\partial z_2} \cdot \frac{\partial z_2}{\partial E_m}, \quad (2.19)$$

$$\frac{\partial q}{\partial C_{1,i}} = r_i^{z_1} + r_i^{z_2} \frac{\partial C_{2,i}}{\partial C_{1,i}}, \quad \frac{\partial q}{\partial C_{2,i}} = r_i^{z_2},$$

$$\frac{\partial q}{\partial z_1} = r_i^{z_1} \frac{\partial C_{1,i}}{\partial z_1} + C_{1,i} r_i^{z_1} \ln r_i + r_i^{z_2} \frac{\partial C_{2,i}}{\partial z_1}, \quad \frac{\partial q}{\partial z_2} = r_i^{z_2} \frac{\partial C_{2,i}}{\partial z_2} + C_{2,i} r_i^{z_2} \ln r_i,$$

$$\frac{\partial \Phi}{\partial E_m} = - \frac{\sigma_n \lambda_c \chi}{(\lambda_c \chi E_m + f - 1)^2},$$

$$\frac{\partial C_{1,i}}{\partial D} = \frac{r_i^{z_2}}{L}, \quad \frac{\partial D}{\partial E_m} = \frac{\chi(f-1)(\lambda_c r_0 - \lambda_n)}{r_0(\lambda_c E_m \chi + f - 1)^2},$$

$$\frac{\partial C_{1,i}}{\partial A_1} = - \frac{\{Dr_i^{z_2} + A_2 r_0^{z_2} [\Phi - q(r_i)]\} r_0^{z_1} r_i^{z_2}}{L^2},$$

$$\frac{\partial A_1}{\partial E_m} = \frac{\partial A_2}{\partial E_m} = \frac{\lambda_n \chi}{r_0},$$

$$\frac{\partial C_{1,i}}{\partial A_2} = \frac{A_1 [\Phi - q(r_i)] r_0^{z_1+z_2} + Dr_i^{z_1+z_2} r_0^{z_2}}{L^2},$$

$$\frac{\partial C_{1,i}}{\partial \Phi} = \frac{A_2 r_0^{z_2}}{L}, \quad \frac{\partial \Phi}{\partial E_m} = - \frac{\sigma_n \lambda_c \chi}{(\lambda_c E_m \chi + f - 1)^2},$$

$$\frac{\partial C_{2,i}}{\partial C_{1,i}} = -r_i^{z_1-z_2}, \quad \frac{\partial z_1}{\partial E_m} = 0,5 \lambda_c \chi (\lambda_c \chi E_m)^{-0,5}, \quad \frac{\partial z_2}{\partial E_m} = -0,5 \lambda_c \chi (\lambda_c \chi E_m)^{-0,5},$$

$$\frac{\partial C_{2,i}}{\partial \Phi} = -r_i^{-z_2}.$$

В полученных выражениях  $\lambda_c$  – коэффициент податливости слоя с учетом его плотности.

Производная по намоточному напряжению  $\sigma_n$  равна:

$$\frac{\partial q}{\partial \sigma_n} = \frac{\partial \Phi}{\partial \sigma_n} = \frac{\partial}{\partial \sigma_n} \left( \frac{\sigma_n}{\lambda_c \chi E_m + f - 1} \right) = \frac{1}{(\lambda_c \chi E_m + f - 1)}. \quad (2.20)$$

Для вычисления остаточного члена  $R_2$  в соответствии с (2.10) необходимо найти вторые производные для функции  $q(r_i, E_m, \sigma_n)$ :

$$R_2 = \frac{1}{2} \left[ \frac{\partial^2 q}{\partial r_i^2} (\Delta r_i)^2 + \frac{\partial^2 q}{\partial E_m^2} (\Delta E_m)^2 + \frac{\partial^2 q}{\partial \sigma_n^2} (\Delta \sigma_n)^2 + 2 \frac{\partial^2 q}{\partial E_m \partial r_i} \Delta r_i \Delta E_m + \right. \\ \left. + 2 \frac{\partial^2 q}{\partial \sigma_n \partial E_m} \Delta \sigma_n \Delta E_m + 2 \frac{\partial^2 q}{\partial \sigma_n \partial r_i} \Delta \sigma_n \Delta r_i \right]. \quad (2.21)$$

В соответствии с (2.16)

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 q}{\partial r_i^2} = & C_{1,i} r_i^{z_1-2} (z_1^2 - z_1) + C_{2,i} r_i^{z_2-2} (z_2^2 - z_2) + 2z_1 r_i^{z_1-1} \frac{\partial C_{1,i}}{\partial r} + 2z_2 r_i^{z_2-1} \frac{\partial C_{2,i}}{\partial r} + \\ & + r_i^{z_1} \frac{\partial^2 C_{1,i}}{\partial r^2} + r_i^{z_2} \frac{\partial^2 C_{2,i}}{\partial r^2}. \end{aligned} \quad (2.22)$$

Используя выражение (2.17), находим

$$\frac{\partial^2 q}{\partial E_m^2} = \frac{\partial^2 q}{\partial C_{1,i}^2} \cdot \frac{\partial^2 C_{1,i}}{\partial E_m^2} + \frac{\partial^2 q}{\partial C_{2,i}^2} \cdot \frac{\partial^2 C_{2,i}}{\partial E_m^2} + \frac{\partial^2 q}{\partial z_1^2} \cdot \frac{\partial^2 z_1}{\partial E_m^2} + \frac{\partial^2 q}{\partial z_2^2} \cdot \frac{\partial^2 z_2}{\partial E_m^2} + \frac{\partial^2 \Phi}{\partial E_m^2}, \quad (2.23)$$

$$\text{где } \frac{\partial^2 q}{\partial C_{1,i}^2} = \frac{\partial^2 q}{\partial C_{2,i}^2} = 0, \quad \frac{\partial^2 q}{\partial z_1^2} = C_{1,i} r_i^{z_1} \ln r_i^2, \quad \frac{\partial^2 z_1}{\partial E_m^2} = -\frac{0,25 \lambda_c^2 \chi^2}{(\lambda_c \chi E_m)^{3/2}},$$

$$\frac{\partial^2 q}{\partial z_2^2} = C_{2,i} r_i^{z_2} \ln r_i^2, \quad \frac{\partial^2 z_2}{\partial E_m^2} = \frac{0,25 \lambda_c^2 \chi^2}{(\lambda_c \chi E_m)^{3/2}}, \quad \frac{\partial^2 \Phi}{\partial E_m^2} = \frac{\sigma_n \lambda_c^2 \chi^2}{(\lambda_c E_m \chi + f - 1)^3}.$$

Последняя из несмешанных производных  $\partial^2 q / \partial \sigma_n^2 = 0$ . Аналогично находим смешанные производные. Если обозначить  $dq/dr_i = q'_r$ , то смешанная производная

$$\frac{\partial^2 q}{\partial E_m \partial r_i} = \frac{\partial q'_r}{\partial E_m} = \frac{\partial q'_r}{\partial C_{1,i}} \frac{\partial C_{1,i}}{\partial E_m} + \frac{\partial q'_r}{\partial z_1} \frac{\partial z_1}{\partial E_m} + \frac{\partial q'_r}{\partial C_{2,i}} \frac{\partial C_{2,i}}{\partial E_m} + \frac{\partial q'_r}{\partial z_2} \frac{\partial z_2}{\partial E_m},$$

$$\text{где } \frac{\partial q'_r}{\partial C_{1,i}} = z_1 r_i^{z_1-1}, \quad \frac{\partial q'_r}{\partial z_1} = C_{1,i} r_i^{z_1-1} (1 + z_1 \ln r_i) + r_i^{z_1} \ln(r_i) \frac{\partial C_{1,i}}{\partial r_i}, \quad \frac{\partial q'_r}{\partial C_{2,i}} = z_2 r_i^{z_2-1},$$

$$\frac{\partial q'_r}{\partial z_2} = C_{2,i} r_i^{z_2-1} (1 + z_2 \ln r_i) + r_i^{z_2} \ln(r_i) \frac{\partial C_{2,i}}{\partial r_i},$$

а производные  $\frac{\partial C_{1,i}}{\partial E_m}$  и  $\frac{\partial C_{2,i}}{\partial E_m}$  вычисляются в соответствии с (2.18) и (2.19). Две

последние смешанные производные из (2.21) равны соответственно

$$\frac{\partial^2 q}{\partial \sigma_n \partial E_m} = -\frac{\lambda_c \chi}{(\lambda_c E_m \chi + f - 1)^2} \text{ и } \frac{\partial^2 q}{\partial \sigma_n \partial r_i} = 0.$$

Остаточный член  $R_2$ , вычисленный в соответствии с выражением (2.21), сравниваем с линейным членом разложения (2.9). При вычислениях используем численные значения кинематических и других параметров из /34/, а значения погрешностей прямых измерений принимаем не превышающими 3,5 %, при этом, поскольку влияние погрешности измерения радиуса катушки и его вариативности рассматриваются совместно, выполняем суммирование этих двух случайных величин. В результате сравнения устанавливаем, что

$$R_2 < \frac{\partial q(r, E_m, \sigma_n)}{\partial r} \Delta r + \frac{\partial q(r, E_m, \sigma_n)}{\partial E_m} \Delta E_m + \frac{\partial q(r, E_m, \sigma_n)}{\partial \sigma_m} \Delta \sigma_m,$$

поэтому линеаризация возможна.

Частные производные линейного члена разложения функции  $q(r, E_m, \sigma_n)$  в ряд называются коэффициентами влияния /45/. Числовые значения этих коэффициентов зависят от параметров наматываемой пряжи и формируемой в результате катушки паковки. Превалирующее влияние на погрешность оказывает релаксационный модуль упругости /49/, причем его влияние настолько больше по сравнению с радиусом катушки 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 катушки превышение еще больше. В табл. 2.1 приведены значения коэффициента влияния и относительной погрешности косвенного измерения давления в слое, вычисленные при доверительной вероятности 0,95 в соответствии с рекомендациями из /45/.

Таблица 2.1. Значения коэффициента влияния и относительной погрешности

косвенного измерения давления в слое

Коэффициент заполнения слоя $\chi$	Коэффициент влияния $\left  \frac{\partial q(r, E_m, \sigma_n)}{\partial E_m} \right $	Относительная погрешность, %
0,224	1,019	7,6
0,306	0,503	3,8
0,340	0,347	2,6

Из табл. 2.1 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 напряжения нитей. В противном случае в соответствии с (2.15) относительное изменение релаксационного модуля упругости достигает части изменения натяжения и для хлопчатобумажной пряжи 25 текс равно половине его изменения, причем с уменьшением коэффициента заполнения слоя это влияние увеличивается, что также свидетельствует о необходимости учета этого влияния при осуществлении мониторинга процесса снования.

### 2.3. Определение плотности намотки сновальных валов на основе кинематических параметров процесса

Идентификация формируемых на партионной сновальной машине паковок на основе мониторинга кинематических параметров достигается путем вычисления параметров напряженного состояния формируемой паковки /50/, при этом в качестве интегрального параметра часто выступает объемная плотность, которая определяется по известной формуле

$$\gamma = \frac{mLT}{10^6 \cdot \pi H (r^2 - r_0^2)}, \quad (2.24)$$

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.

При вычислении объемной плотности по формуле (2.24) предполагается, что тело намотки пряжи представляет собой полый прямой круговой цилиндр и изменения плотности в радиальном направлении и вдоль образующей паковки отсутствуют. Последними изменениями при формировании паковки с незначительными отклонениями от указанной формы можно пренебречь. В радиальном направлении, как показали экспериментальные исследования, плотность существенно меняется. Этот параметр зависит от многих факторов как процесса снования и наматываемых нитей, так и формируемого тела намотки. В связи с этим объемную плотность в соответствии с (2.24) возможно определять только в период наматывания, в течение которого параметры НДС слоя, в том числе и плотность намотки, остаются неизменными /34/.

Представим паковку в виде нескольких слоев, имеющих форму коаксиальных цилиндров, плотность в каждом из которых остается постоянной. Рассмотрим  $i$ -й слой с изменяющимся от  $r_{i-1}$  до  $r_i$  радиусом намотки. Считаем, что слой образован в результате  $n_i$  оборотов сновального вала, поэтому поперечное сечение паковки представляет собой концентрически расположенные окружности /51/, радиусы которых изменяются в соответствии с выражением:

$$r_i(\varphi) = r_{i-1} + c_i \text{Int}\left(\frac{\varphi_i}{2\pi}\right) - A_i, \quad (2.25)$$

где  $c_i$  – коэффициент нарастания толщины слоя намотки, зависящий от диаметра пряжи, рассеяния витков при намотке, уменьшения радиуса паковки вследствие растяжения пряжи, деформирования слоя и других

факторов;  $\varphi_i$  – угол поворота паковки; функция  $\text{Int}\left(\frac{\varphi_i}{2\pi}\right)$  – целая часть от  $\frac{\varphi_i}{2\pi}$

;  $A_i$  – перемещение  $i$ -го слоя в радиальном направлении.

При  $i=1$  (начальный слой намотки)  $r_{i-1} = r_0$ , и если основание паковки является недеформируемым, то  $A_i = 0$ .

Перемещение  $A_i$  для других слоев может быть определено в результате вычисления в соответствии с методикой, изложенной в /34/.

Длина намотанной в  $i$ -м слое пряжи при  $\varphi_i = 2\pi n_i$  определяется из выражения:

$$\begin{aligned} L_i(\varphi) &= \sum_{j=1}^{n_i} 2\pi r_i(\varphi) = \sum_{j=1}^{n_i} 2\pi[r_{i-1} + c_i j - A_i] = \\ &= 2\pi \left( n_i r_{i-1} + c_i \sum_{j=1}^{n_i} j - n_i A_i \right) = 2\pi [n_i r_{i-1} + 0,5c_i n_i (n_i + 1) - n_i A_i]. \end{aligned} \quad (2.26)$$

Если же угол  $\varphi_i = 2\pi n_i + \Delta\varphi$ , где  $2\pi > \Delta\varphi > 0$ , то дополнительно к длине, вычисленной по формуле (2.26), добавляется  $\Delta\varphi(r_{i-1} + c_i n_i - A_i)$ .

Таким образом, длина нитей в  $i$ -м слое вычисляется по формуле:

$$L_i(\varphi) = (2\pi n_i + \Delta\varphi)r_{i-1} + c_i n_i [\pi(n_i + 1) + \Delta\varphi] - (2\pi n_i + \Delta\varphi)A_i, \quad (2.27)$$

а его плотность в соответствии с (2.22) и с учетом (2.23) и (2.25)

$$\gamma_i = mT \frac{(2\pi n_i + \Delta\varphi)r_{i-1} + c_i n_i [\pi(n_i + 1) + \Delta\varphi] - (2\pi n_i + \Delta\varphi)A_i}{10^6 \cdot \pi H [(r_{i-1} + c_i n_i - A_i)^2 - r_{i-1}^2]}. \quad (2.28)$$

Учитывая, что  $2\pi n_i \gg \Delta\varphi$  и  $\pi(n_i + 1) \gg \Delta\varphi$ , формулы (2.27) и (2.28) можно упростить

$$L_i = 2\pi n_i [r_{i-1} + 0,5c_i (n_i + 1) - A_i], \quad (2.29)$$

$$\gamma_i = \frac{2mTn_i [r_{i-1} + 0,5c_i (n_i + 1) - A_i]}{10^6 \cdot H [(r_{i-1} + c_i n_i - A_i)^2 - r_{i-1}^2]}. \quad (2.30)$$

Рассматривая совместно (2.29) и (2.30), можно заметить, что плотность слоя, равно как и длина нитей, определяется коэффициентом  $c_i$ . 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. 2.1 показаны кривые  $\gamma_i(c_i)$  и  $L_i(c_i)$ , отражающие характер указанных зависимостей.

На возможность расчета формирования партии сновальных паковок не по длине нитей в намотке, а по числу оборотов паковки указывалось в работе /52/. Выполненный анализ показывает, что колебания плотности намотки вызывают изменения длины нитей в намотке, поэтому предложенная в /16/ система стабилизации плотности при условии ее эффективного функционирования уменьшает количество мягких угаров при разматывании сновальных валов на шлихтовальной машине.

Наглядно указанную зависимость можно представить в виде графика, воспользовавшись параметрическим способом задания кривой с помощью зависимостей (2.29) и (2.30). На рис. 2.1 представлена кривая  $L_i(\gamma_i)$  при изменении коэффициента  $c_i$  в диапазоне от  $1,0 \cdot 10^{-5}$  до  $5,0 \cdot 10^{-5}$  м/об.

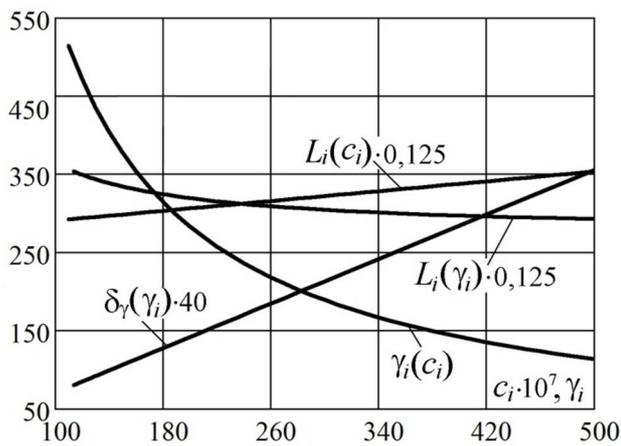


Рис. 2.1. Влияние коэффициента нарастания толщины слоя на отдельные параметры намотки

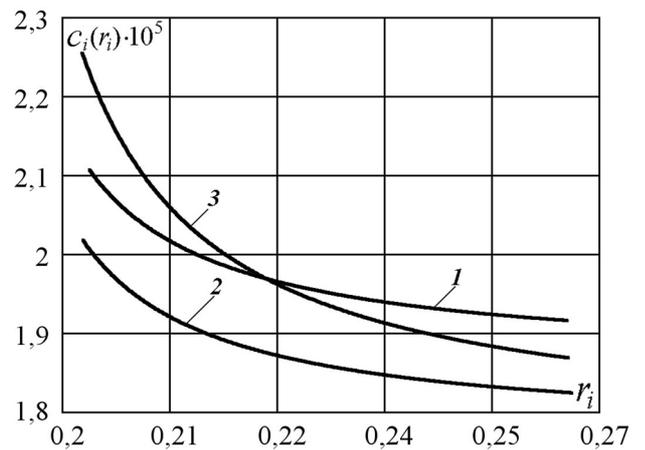


Рис. 2.2. Зависимость коэффициента нарастания толщины слоя от радиуса намотки

Полученные выражения позволяют оценить точность поддержания плотности намотки, при которой разнородность нитей на валах не превышает заданного уровня. Обозначим  $L_{imin}$  и  $L_{imax}$  соответственно минимальную и максимальную длину нитей в намотке  $i$ -го слоя валов партии,  $\mu_L = \frac{(L_{imax} - L_{imin}) \cdot 100}{\|L_i\|}$ , где  $\|L_i\|$  — нормированное значение длины нитей  $i$ -го слоя. Разнородность не будет превышать  $\mu_L\%$ , если разница в плотности намотки слоя

$$\Delta\gamma_i \leq 0,01\mu_L \|L_i\| \left| \frac{d\gamma_i}{dL_i} \right|, \text{ где } \frac{d\gamma_i}{dL_i} = \frac{d\gamma_i}{dc_i} \cdot \frac{dc_i}{dL_i}, \frac{dc_i}{dL_i} = [\pi n_i (n_i + 1)]^{-1} \text{ и}$$

$$\frac{d\gamma_i}{dc_i} = \frac{mTn_i (n_i + 1)}{10^6 H [(r_{i-1} + c_i n_i - A_i)^2 - r_{i-1}^2]} -$$

$$- 4mTn_i^2 (r_{i-1} + c_i n_i - A_i) \frac{r_{i-1} + 0,5c_i (n_i + 1) - A_i}{10^6 H [(r_{i-1} + c_i n_i - A_i)^2 - r_{i-1}^2]^2}. \quad (2.31)$$

Если принять во внимание  $n_i \gg 1$ , то

$$\frac{d\gamma_i}{dL_i} = mT \frac{[(r_{i-1} + c_i n_i - A_i)^2 - r_{i-1}^2] - 4(r_{i-1} + c_i n_i - A_i)[r_{i-1} + 0,5c_i n_i - A_i]}{10^6 H \pi [(r_{i-1} + c_i n_i - A_i)^2 - r_{i-1}^2]^2}.$$

Отсюда

$$\Delta\gamma_i \leq 0,01\mu_L mT \|L_i\| \frac{[(r_{i-1} + c_i n_i - A_i)^2 - r_{i-1}^2] - 4(r_{i-1} + c_i n_i - A_i)[r_{i-1} + 0,5c_i n_i - A_i]}{10^6 H \pi [(r_{i-1} + c_i n_i - A_i)^2 - r_{i-1}^2]^2}. \quad (2.32)$$

С учетом (2.30) относительное изменение плотности

$$\delta_\gamma \leq \mu_L \|L_i\| \frac{[(r_{i-1} + c_i n_i - A_i)^2 - r_{i-1}^2] - 4(r_{i-1} + c_i n_i - A_i)[r_{i-1} + 0,5c_i n_i - A_i]}{2\pi n_i [(r_{i-1} + c_i n_i - A_i)^2 - r_{i-1}^2] (r_{i-1} + 0,5c_i n_i - A_i)}. \quad (2.33)$$

На рис. 2.1 показан график функции  $\delta_\gamma(\gamma_i)$ , определяющий разностность  $\mu_L$  нитей на валах, не превышающую 1%. С ростом плотности допустимые колебания  $\delta_\gamma$  для обеспечения заданной разностности 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.

Из выражения (2.30) следует, что плотность намотки с ростом угла поворота сновального вала не остается постоянной, при неизменном коэффициенте  $c_i$  она падает по гиперболическому закону.

Определим закон изменения коэффициента  $c_i$ , обеспечивающий неизменность плотности намотки в слое. Контролируя закономерность изменения этого коэффициента, можно устанавливать границы слоя намотки с неизменными параметрами НДС. Кроме того, численное значение этого коэффициента определяет достигаемую в процессе намотки плотность, что

позволит устанавливать необходимые натяжение наматываемых нитей и давление укатывающего вала.

Из (2.30) можно получить уравнение  $d_1 c_i^2 + d_2 c_i + d_3 = 0$ ,

где  $d_1 = 10^6 \cdot \gamma_i H n_i^2$ ;

$d_2 = 2 \cdot 10^6 \cdot \gamma_i H n_i (r_{i-1} - A_i) - m T n_i (n_i + 1)$ ;

$d_3 = -2 m T n_i (r_{i-1} - A_i) - 2 \cdot 10^6 \cdot \gamma_i H r_i A_i + 10^6 \cdot \gamma_i H A_i^2$ ,

из которого положительный корень определяет значение коэффициента  $c_i$ :

$$c_i = 0,5 \left( -d_2 + \sqrt{d_2^2 - 4d_1 d_3} \right) d_1^{-1}. \quad (2.34)$$

Для построения зависимости коэффициента нарастания толщины слоя от радиуса намотки воспользуемся формулами (2.25) и (2.34), считая  $r_i$  и  $c_i$  функциями числа оборотов  $n_i$  паковки. При принятых ограничениях для обеспечения постоянной плотности намотки хлопчатобумажной пряжи необходимо, чтобы коэффициент нарастания толщины слоя при намотке  $i$ -го слоя уменьшался в соответствии с закономерностью, представленной на рис. 2.2, 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  $A_i$ , в 2 раза превышающем значение этого параметра для кривых 1 и 2 и плотности 420 кг/м<sup>3</sup>.

Таким образом, уменьшение разностности нитей на сновальных валах партии достигается стабилизацией объемной плотности намотки, причем для паковок с небольшой плотностью стабилизация должна обеспечиваться с более высокой точностью. Постоянная объемная плотность намотки достигается при монотонно убывающем характере зависимости коэффициента нарастания толщины слоя от его радиуса.

## Выводы по главе 2

1. Выполнена оценка погрешности вычисления межслойного давления сновальной паковки на основе кинематических параметров наматывания. На точность такого вычисления превалирующее влияние оказывает релаксационный модуль упругости наматываемых нитей, причем его влияние

возрастает с уменьшением коэффициента заполнения слоя. Влиянием других факторов на точность вычисления параметров НДС паковки можно пренебречь.

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

Для обеспечения разносторонности нитей на валах, не превышающей заданного значения, колебания плотности намотки в слоях не должны превышать значения, определяемого из выражения (2.33). С ростом плотности допустимые ее колебания для достижения заданной разносторонности возрастают по линейному закону.

### 3. РАЗРАБОТКА МИКРОПРОЦЕССОРНОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ КИНЕМАТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПАРТИОННОЙ СНОВАЛЬНОЙ МАШИНЫ

#### 3.1. Обоснование состава и технических характеристик микропроцессорной системы

Определение параметров напряженного состояния сновальной паковки на основе кинематических параметров наматывания связано с разработкой системы их контроля. На нынешнем этапе развития средств вычислительной техники лучше всего это сделать на основе современных микропроцессорных средств. Проектирование подобной системы связано прежде всего с определением состава и технических характеристик элементов. На рынке имеется много предложений как по микроконтроллерам, так и по датчикам угла поворота, которые называются энкодерами. Их выбор должен осуществляться в соответствии с поставленной задачей.

Для измерения радиуса намотки использован абсолютный энкодер (рис. 3.1). Абсолютные энкодеры, как оптические, так и магнитные, имеют своей основной рабочей характеристикой число шагов, то есть уникальных кодов на оборот, и количество таких оборотов, при этом не требуется первичной установки и инициализации датчика.



Рис. 3.1. Внешний вид энкодера EPM50S

Абсолютный энкодер относится к типу энкодеров, который выполняет преобразование угла поворота в уникальный код для каждой позиции вала. В отличие от инкрементального энкодера счетчик импульсов здесь не нужен, т.к. угол поворота всегда известен. Абсолютный энкодер формирует сигнал как во время вращения, так и в режиме покоя. Сигнал абсолютного энкодера не подвержен помехам, и для него не требуется точная установка вала. Кроме того, даже если кодированный сигнал не может быть прочитан энкодером (например, вал вращается слишком быстро), правильный угол вращения будет зарегистрирован, когда скорость вращения уменьшится. Абсолютный энкодер устойчив к вибрациям.

В микропроцессорной системе использован абсолютный энкодер EPM50S8-1024-2F-P-24 фирмы Autonics (EPM50S – тип энкодера, 50 – диаметр корпуса 50 мм, 8 – диаметр вала 8 мм, 1024 – количество импульсов на 1 оборот вала, 2 – выходной код двоичный, F – выходное значение увеличивается при перемещении выходного вала по часовой стрелке, P – р-п-р выход, 24 – напряжение питания источника  $24 \pm 5\%$  В). Удобство его применения, как уже отмечалось, состоит в том, что выходной сигнал может быть представлен двоичным или двоично-десятичным кодом, либо кодом Грея, что, безусловно, является преимуществом абсолютных энкодеров. Они позволяют определять угол поворота в высокоточных системах.

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 (рис. 3.2). Мультипликатор сочленен с осью штанги (рис. 3.3) и закреплен на станине машины.

Для вычисления коэффициента преобразования, связывающего измеряемый радиус намотки с углом поворота энкодера, рассмотрим расчетную схему (рис. 3.4).



Рис. 3.2. Расположение датчиков на сновальной машине СП-140:  
 1 – датчик диаметра намотки, 2 – датчик числа оборотов сновального вала,  
 3 – датчик длины нитей, 4 – сновальный вал



Рис. 3.3. Элементы крепления датчика радиуса – абсолютного энкодера  
 ERM50S и редуктора

Радиус намотки  $r$  связан с другими геометрическими размерами узла сопряжения следующими соотношениями. Из прямоугольного треугольника  $O_0A_1O_1$  с катетами  $b$  и  $c$  (см. рис. 3.4) находим гипотенузу  $m$ :

$$m = \sqrt{b^2 + c^2}, \quad (3.1)$$

а радиус намотки  $r$  связан с найденной гипотенузой  $m$  соотношением:

$$r = m - r_m, \quad (3.2)$$

где  $r_m$  – радиус мерного колеса.

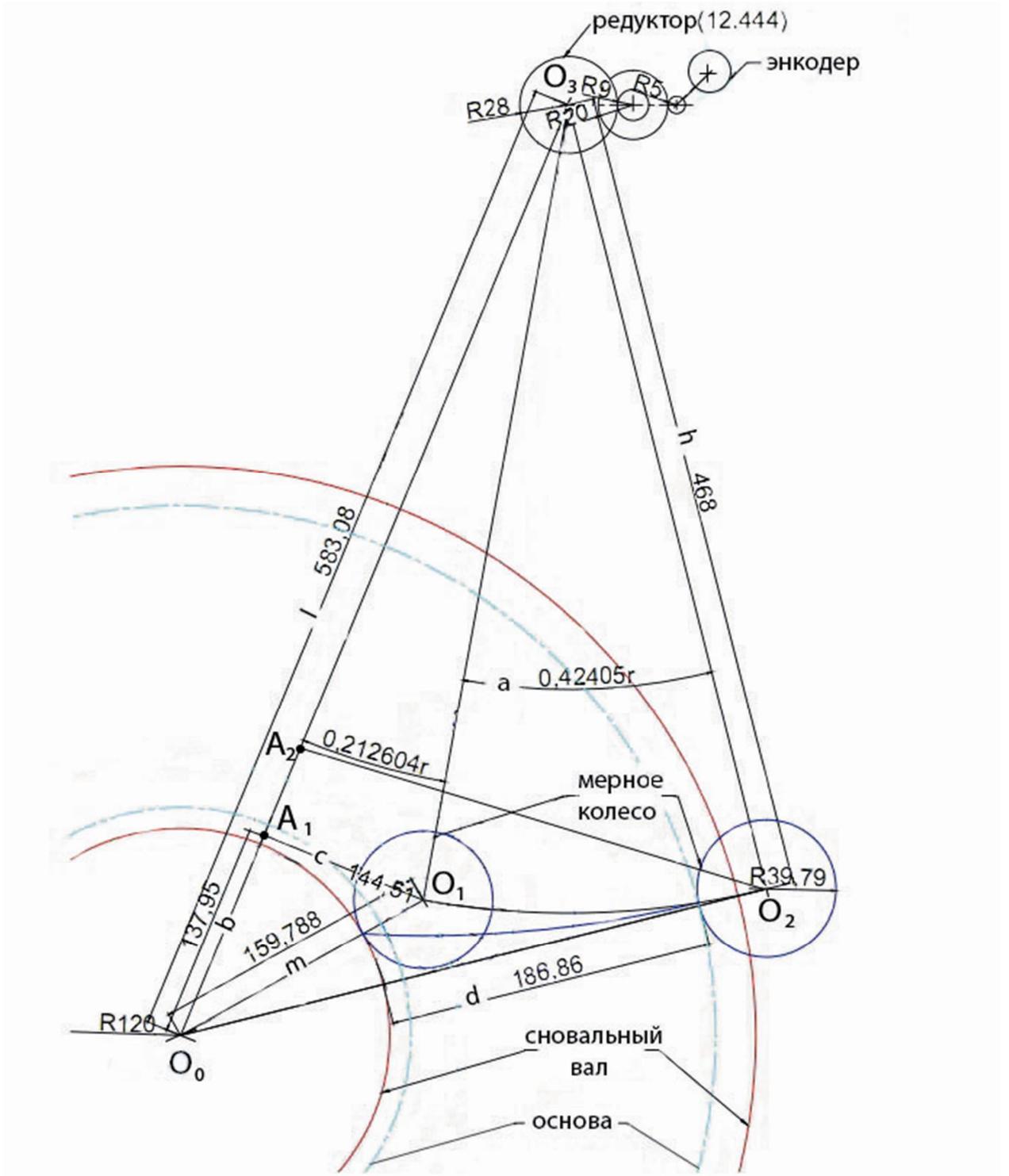


Рис. 3.4. Расчетная схема измерителя радиуса намотки

В свою очередь катеты  $b$  и  $c$  связаны с длиной  $h$  штанги  $O_3O_2$  соотношениями:

$$b = l - h \cos \alpha, \quad (3.3)$$

$$c = h \sin \alpha, \quad (3.4)$$

где  $l$  – расстояние между точкой крепления штанги и центром сновального вала;  $\alpha$  – угол отклонения штанги, отсчитываемый от отрезка  $l$ .

Обозначим:  $n_e$  – число импульсов энкодера за 1 оборот его вала,  $k$  – коэффициент передачи мультипликатора;  $\beta$  – начальный угол отклонения штанги. В треугольнике  $O_0O_1O_3$  со сторонами  $l$ ,  $h$  и  $m$  длина стороны  $m$  в начальном положении штанги, когда  $r = r_0$ , составляет  $m = r_0 + r_m$ , где  $r_0$  – радиус ствола сновального вала. Тогда по теореме косинусов из этого треугольника находим:

$$\cos \beta = \frac{l^2 + h^2 - (r_0 + r_m)^2}{2lh}. \quad (3.5)$$

Если обозначить  $e$  показания энкодера, то угол  $\alpha$  равен:

$$\alpha = e \frac{2\pi}{n_e k} + \beta. \quad (3.6)$$

Таким образом, измеряемый радиус намотки  $r$  связан с углом поворота вала энкодера  $\alpha$  соотношением

$$r = \sqrt{(l - h \cos \alpha)^2 + (h \sin \alpha)^2} - r_m, \quad (3.7)$$

которое получено после объединения (3.1) – (3.4).

Если теперь в (3.7) использовать угол  $\alpha$  из (3.6), то получим функцию преобразования, связывающую измеряемый радиус намотки  $r$  с числом импульсов  $e$  энкодера. На рис. 3.5 показана функция преобразования  $r(e)$  для выбранных геометрических параметров узла и используемого типа энкодера.

Из функции преобразования (3.7) совместно с (3.6) можно найти чувствительность  $S$  измерителя радиуса намотки, которая определяет разрешающую способность измерителя, а следовательно, и его погрешность.

Для этого вычислим производную  $\frac{\partial r}{\partial e}$ :

$$S = \frac{\partial r}{\partial e} = \frac{2\pi l h \sin\left(e \frac{2\pi}{n_e k} + \beta\right)}{n_e k \sqrt{\left[l^2 - 2lh \cos\left(e \frac{2\pi}{n_e k} + \beta\right)\right] + h^2}}. \quad (3.8)$$

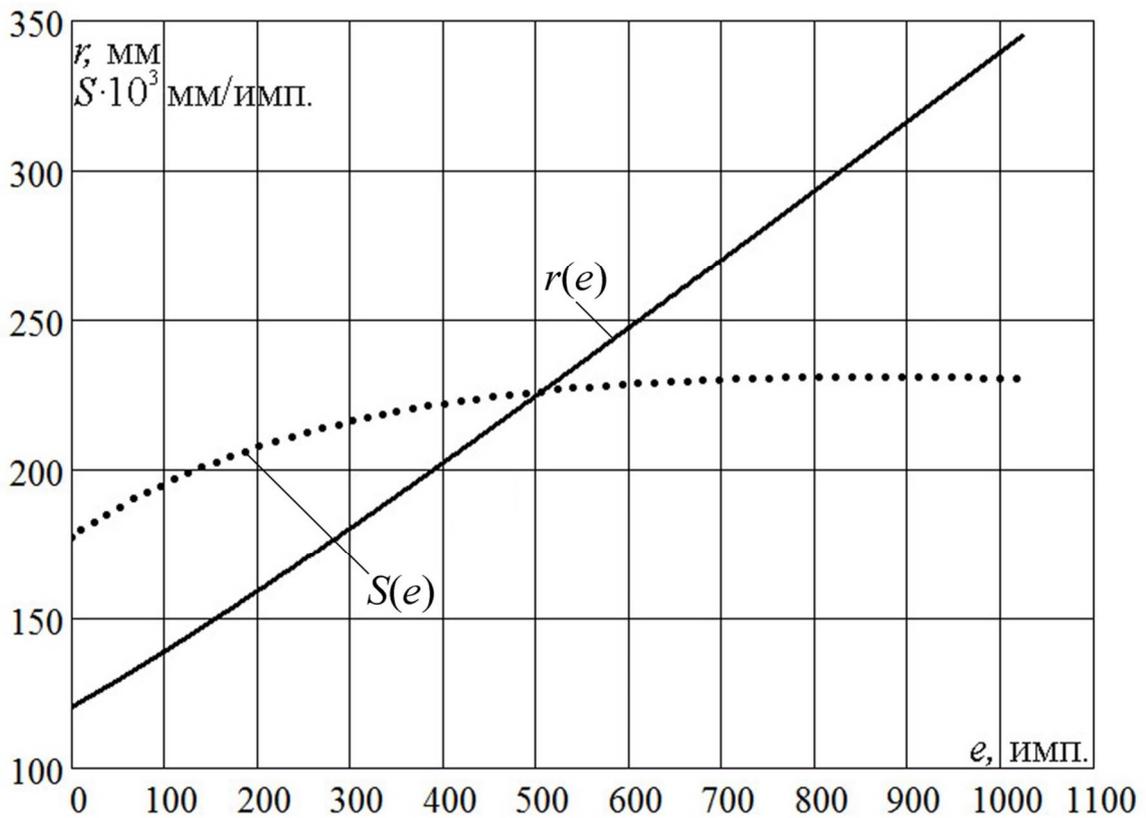


Рис. 3.5. Функция преобразования измерителя радиуса намотки  $r(e)$  и закономерность изменения чувствительности  $S(e)$

На рис. 3.5 представлена зависимость чувствительности  $S(e)$  от диапазона изменения радиуса намотки. Вычисленное значение чувствительности при принятых конструктивных параметрах измерителя колеблется от 0,177 мм/имп. в начале диапазона до 0,23 мм/имп. в конце. Эти незначительные колебания обусловлены некоторой нелинейностью функции преобразования в начале диапазона измерения.

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, из-за которой возможен отрыв мерных колес от поверхности сновального вала /53/. Поэтому можно констатировать, что спроектированный измеритель радиуса намотки имеет незначительную инструментальную погрешность.

Измерение длины наматываемых на сновальный вал нитей с помощью мерильного вала сновальной машины /29/ и связанного с ним счетчика сопряжено со значительными погрешностями. Неоднократно предпринимались попытки усовершенствования этого узла машины, однако требуемого снижения погрешности достичь не удалось. По этой причине на многих отечественных текстильных предприятиях штатный счетный механизм партионных сновальных машин заменялся на соединенное со счетчиком специальное мерное колесо, взаимодействующее со сновальным валом. Это позволило снизить погрешность до приемлемых для практики значений. Однако при повышении скорости снования резко возрастают динамические нагрузки, связанные с быстродействующим останом машины при обрывах нитей. В таких условиях фрикционное взаимодействие мерильного узла с поверхностью вала может оказывать сильное истирающее воздействие, вызывающее снижение прочности нитей. Поэтому система измерения длины нитей на партионной сновальной машине фирмы «Беннинггер», построенная на использовании в качестве мерного колеса укатывающего вала, предполагает его отвод от сновального вала при торможении машины. На этот период измерение длины нитей осуществляется косвенно путем вычисления произведения угла поворота сновального вала и радиуса намотки. Поэтому было принято решение использовать в проектируемой системе инкрементальные энкодеры с мерными колесами. Максимально достижимое для этого типа энкодеров разрешение составляет 1 имп./мм, основная погрешность измерения длины обуславливается условиями взаимодействия мерного колеса со сновальным валом /54/, а также разным напряженным состоянием основных нитей, наматываемых на вал.

Инкрементальные энкодеры предназначены для определения угла поворота вращающихся объектов. Они генерируют последовательный импульсный цифровой код, содержащий информацию относительно угла поворота объекта. Если вал останавливается, то останавливается и передача импульсов. Основным рабочим параметром датчика является количество импульсов за один оборот. Мгновенную величину угла поворота объекта определяют посредством подсчёта импульсов от старта. Для вычисления угловой скорости объекта процессор выполняет дифференцирование количества импульсов во времени, определяя сразу величину скорости, т.е. число оборотов в минуту.

Выходной сигнал имеет два канала, в которых идентичные последовательности импульсов сдвинуты на  $90^\circ$  относительно друг друга (парафазные импульсы), что позволяет определять направление вращения. Имеется также цифровой выход нулевой метки, который позволяет всегда рассчитать абсолютное положение вала.

Для измерения длины нитей, наматываемых на сновальный вал, использован инкрементальный энкодер ENC-1-1-T-24 (рис. 3.6) фирмы Autonics (ENC – тип энкодера, 1 – фаза А, В (с возможностью определения направления вращения), 1 – разрешающая способность 1 мм, Т – комплементарный выход, 24 – напряжение питания источника  $24 \pm 5\%$  В).



Рис. 3.6. Внешний вид инкрементального энкодера ENC-1-1-T-24

Одним из недостатков инкрементального энкодера ENC-1-1-T-24 является дополнительная погрешность, обусловленная деформацией тела намотки под воздействием прижимаемых к его поверхности колес. Причем,

поскольку сила прижима с увеличением диаметра намотки увеличивается, растет и величина деформации. Поэтому эту погрешность нельзя отнести к систематической, что и порождает снижение точности измерения параметра.

Другим фактором, влияющим на точность измерения, является износ колес, взаимодействующих с телом намотки, который вызывает уменьшение их диаметра и увеличение погрешности.

Для уменьшения этих составляющих погрешности предложена конструкция измерителя кинематических параметров /55/, в которой с обеих сторон мерильного колеса располагаются два опорных ролика 4 с радиусом, равным радиусу мерильного колеса 5 (рис. 3.7). При применении опорных роликов увеличивается площадь их соприкосновения с телом намотки и уменьшается величина его деформации в месте контакта с мерильным колесом. На рабочую поверхность мерильного колеса 5 нанесен слой материала контрастного с материалом колеса цвета, имеющего высокие фрикционные свойства и обеспечивающего гарантированное сцепление без проскальзывания с телом намотки. Он также позволяет контролировать износ мерильного колеса благодаря изменению цвета поверхности мерильного колеса по мере истирания и устранить источник погрешности, при необходимости заменив колесо либо восстановив слой материала.

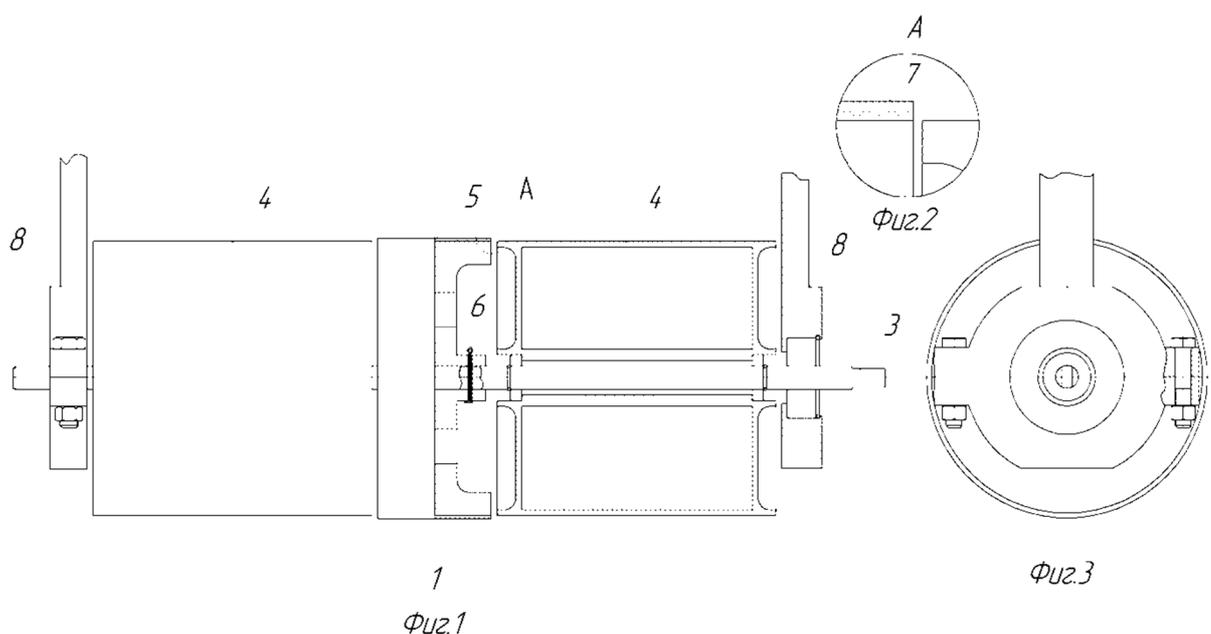


Рис. 3.7. Конструкция мерильного механизма для измерения длины нитей

Измерение угла поворота сновального вала с помощью энкодера затруднено из-за конструктивных сложностей его сопряжения с объектом, поэтому было принято решение использовать выключатель бесконтактный оптический ВБО-М18-76Р-7111С (рис. 3.8), предназначенный для применения в качестве элементов систем управления технологическими процессами в различных отраслях промышленности.

По принципу действия выключатели имеют три типа исполнения: D – выключатели с реагированием на отраженный рассеянный луч от объекта источника; R – выключатели с реагированием на пересечение объектом луча, отраженного от специального отражателя; T – источник излучения и приемник расположены в отдельных корпусах, комплект состоит из источника оптического излучения и приемника, который реагирует на объекты, прерывающие луч, идущий от источника к приемнику. Бесконтактный выключатель ВБО-М18-76Р-7111С реагирует на отраженный от объекта луч.



Рис. 3.8. Внешний вид оптического бесконтактного выключателя ВБО-М18-76Р-7111С

Для обработки информации, получаемой с датчиков кинематических параметров, необходим микроконтроллер.

При проектировании систем на основе микроконтроллеров приходится соблюдать баланс между размерами и стоимостью, с одной стороны, и гибкостью и производительностью – с другой.

Для разных приложений оптимальное соотношение этих и других параметров может различаться очень сильно. Поэтому существует огромное количество типов микроконтроллеров, отличающихся архитектурой

процессорного модуля, размером и типом встроенной памяти, набором периферийных устройств, типом корпуса и т.д.

Кроме функциональных возможностей, у микроконтроллеров существует ещё несколько технических параметров: технология памяти; рабочий диапазон напряжения питания; тип корпуса.

Для реализации микропроцессорной системы контроля кинематических параметров партионной сновальной машины с учетом всех требований принят микроконтроллер ATMEGA 16 фирмы ATMEL с интерфейсом RS-485 /56/, представляющий собой 8-разрядный микроконтроллер общего назначения. Этот микроконтроллер имеет Flash-память программ, память данных EEPROM и SRAM, порты ввода-вывода и интерфейсные схемы. Его производительность приближается к 16 MIPS (при тактовой частоте 16 МГц). Объем программируемой памяти составляет 16 Кбайт, память данных имеет 512 байт EEPROM и 1 Кбайт SRAM.

### 3.2. Структурная схема системы мониторинга кинематических параметров партионной сновальной машины

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 /31, 56, 57/, структурная схема которой применительно к нескольким сновальным машинам показана на рис. 3.9.

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.

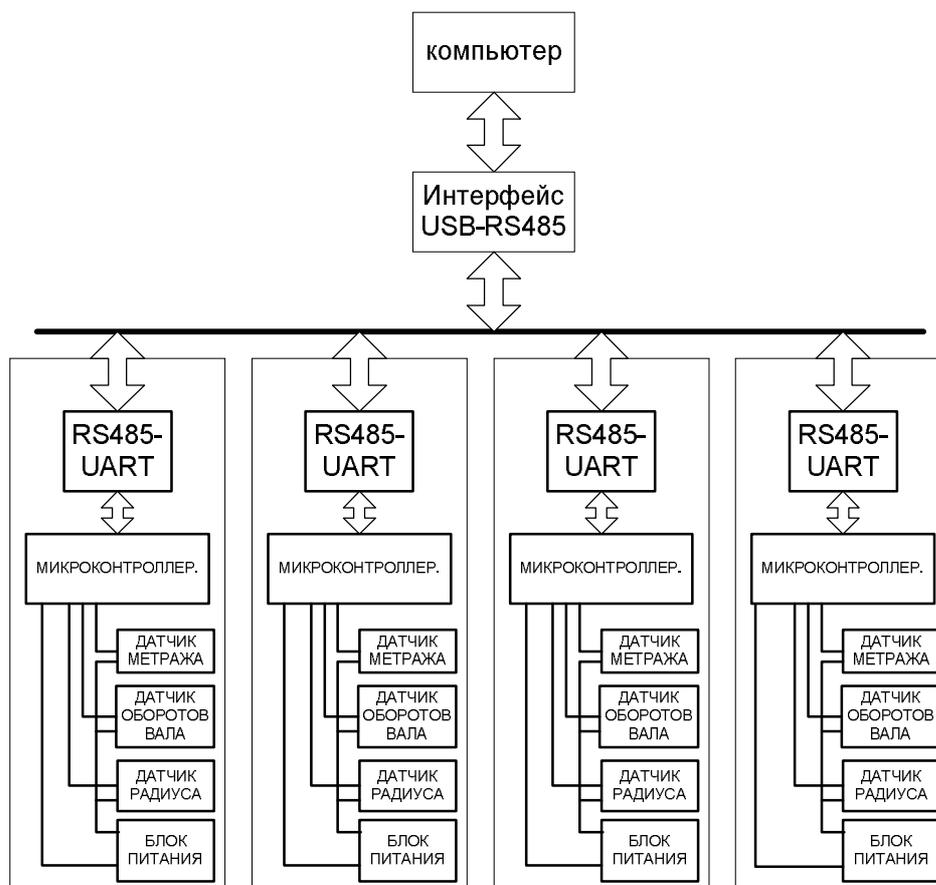


Рис. 3.9. Структурная схема системы мониторинга кинематических параметров партионной сновальной машины

Отметим, что помимо поставленной задачи с помощью разработанной микропроцессорной системы возможно по закономерности изменения угловой скорости при останове машины оценить эффективность ее тормозной системы. Кроме того, разгон машины после устранения обрыва пряжи позволяет косвенно определить массу вала, оценить точность ее вычисления по углу поворота паковки и измеренному радиусу намотки и в итоге уменьшить погрешность вычисления плотности намотки слоя, что увеличивает точность идентификации НДС сформированной паковки /58, 59/.

Для реализации принятых положений функционирования системы на программном уровне нами разработан алгоритм работы микропроцессорной

системы мониторинга параметров НДС сновальных паковок, представленный на рис. 3.10.

Микропроцессорная система на программном уровне согласно разработанному алгоритму считывает и обрабатывает информацию с датчиков, при этом определяется мгновенная величина угла поворота объекта посредством подсчёта импульсов от старта и вычисляется угловая скорость вала в оборотах в минуту. Полученные данные сохраняются в энергонезависимой памяти контроллера. Компьютер обращается к микропроцессорной системе через интерфейс RS-485 и запрашивает поочередно у микроконтроллеров информацию, высылая при этом проверочный код соответствующего адреса ячейки памяти. Микроконтроллер в соответствии с полученным кодом отправляет сохраненную или оперативную информацию с датчиков импульсов. Далее на основании полученной информации в компьютере производится расчет и формируются партии сновальных валов с однородной структурой.

Принципиальная схема микропроцессорной системы мониторинга кинематических параметров сновальной машины приведена на рис. 3.11.

Микроконтроллер ATMEGA 16 имеет в своем составе программируемые счетчики импульсов, на входы которых (T0, T1) через оптопары PC817 поступают импульсы с датчиков ВБО-М18 и ENC1. Цифровой код с абсолютного энкодера EPM50S8 через микросхему PC410 поступает на вход PA4. Для связи с компьютером используется микросхема MAX487 с интерфейсом RS-485, при этом входы приемо-передатчика микросхемы ATMEGA 16 и микросхемы MAX487 связаны между собой через оптопары PC 400, обеспечивая таким образом их гальваническую развязку. Работа микропроцессорной системы на программном уровне представлена алгоритмом (см. рис. 3.10).

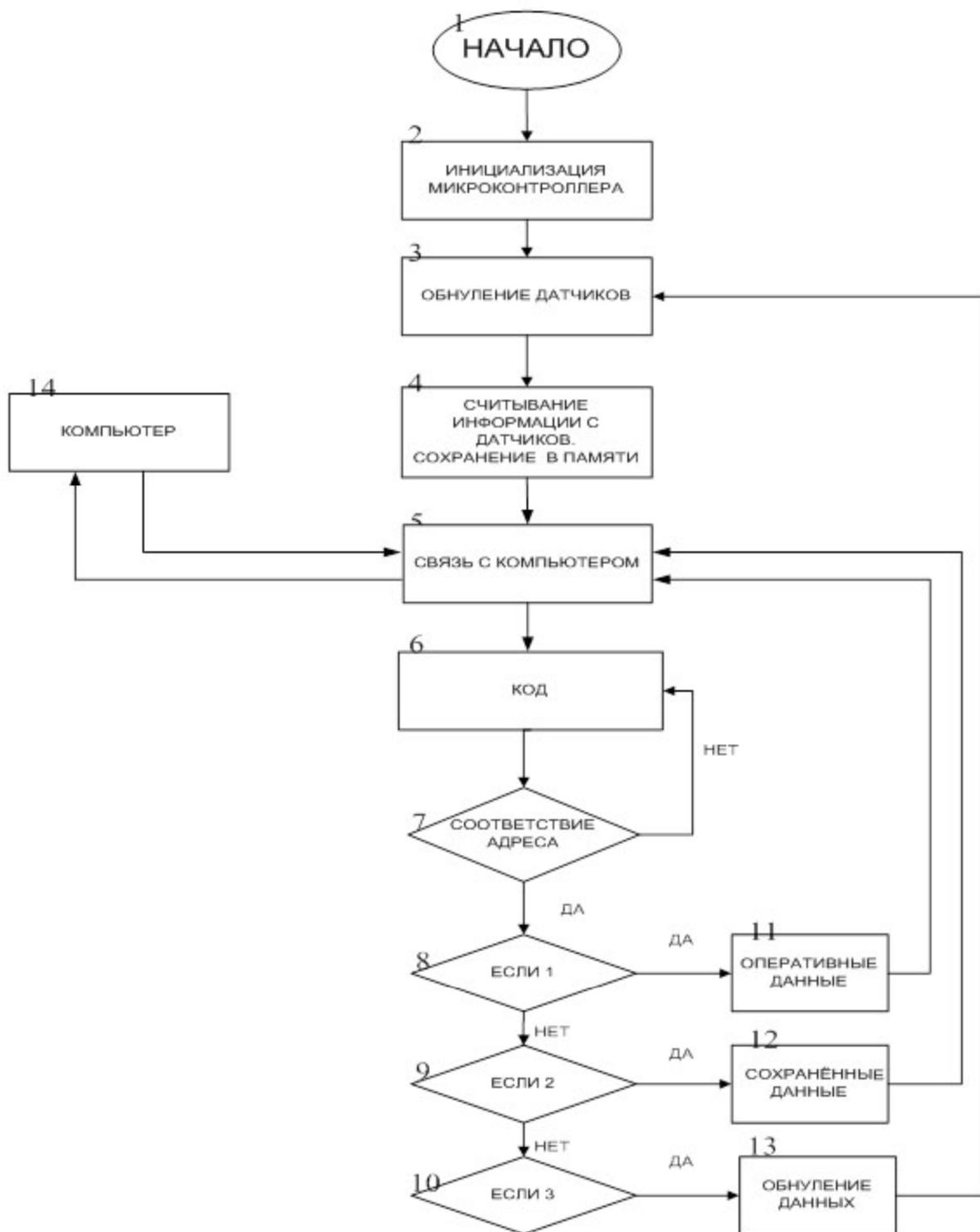


Рис. 3.10. Алгоритм работы микропроцессорной системы мониторинга кинематических параметров партионной сновальной машины

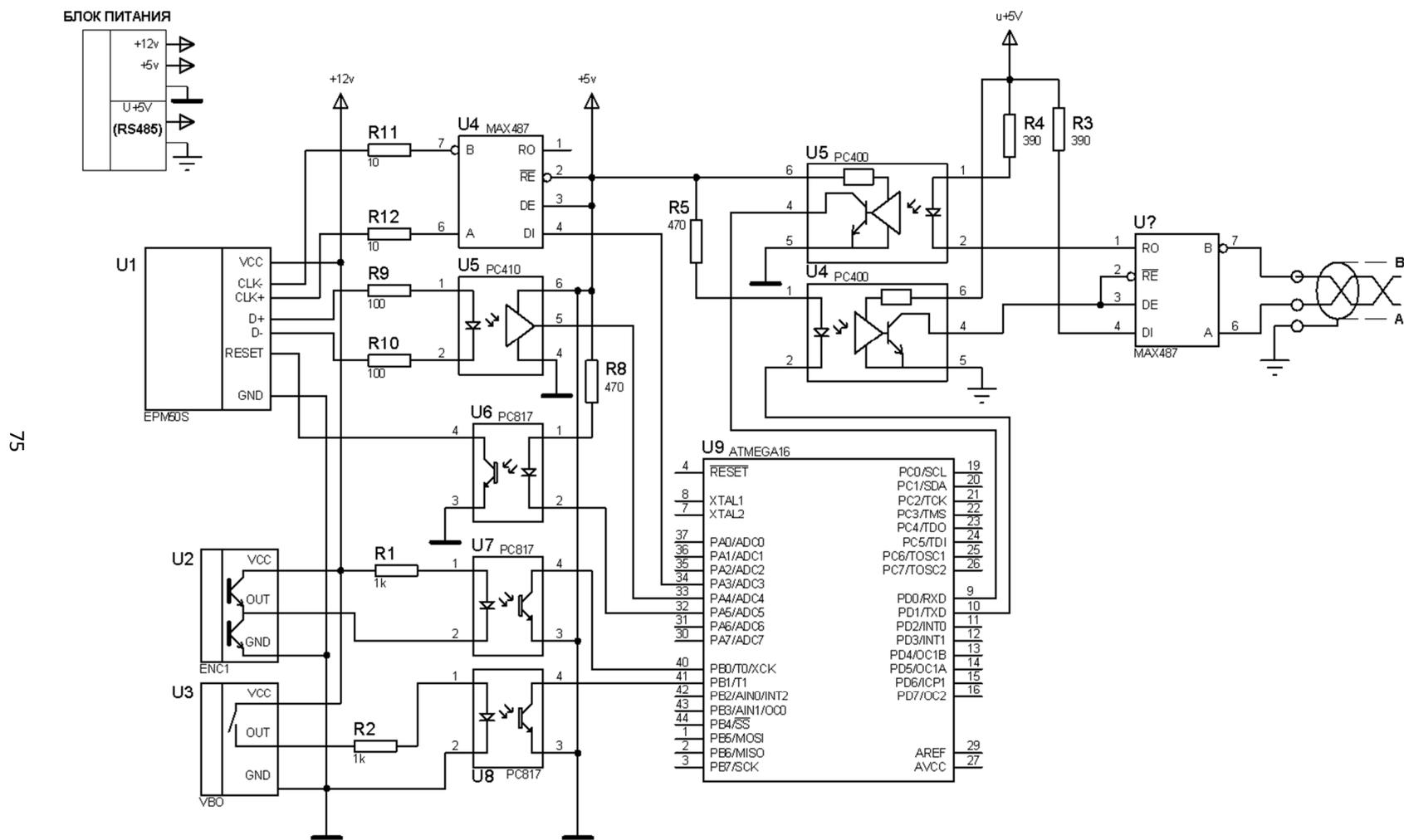


Рис. 3.11. Принципиальная схема микропроцессорной системы мониторинга параметров НДС сновальных паковок

### 3.3. Разработка конструкции микропроцессорной системы мониторинга кинематических параметров сновальной машины и выбор периода квантования

Для установки датчиков на партионной сновальной машине СП-140 разработаны специальные элементы крепления (рис. 3.2, 3.3). Микроконтроллер совместно со схемами интерфейса, блока питания, развязывающих оптопар размещен в специальном микропроцессорном блоке 2 (рис. 3.12), связанном посредством интерфейса RS-485 с персональным компьютером 1.

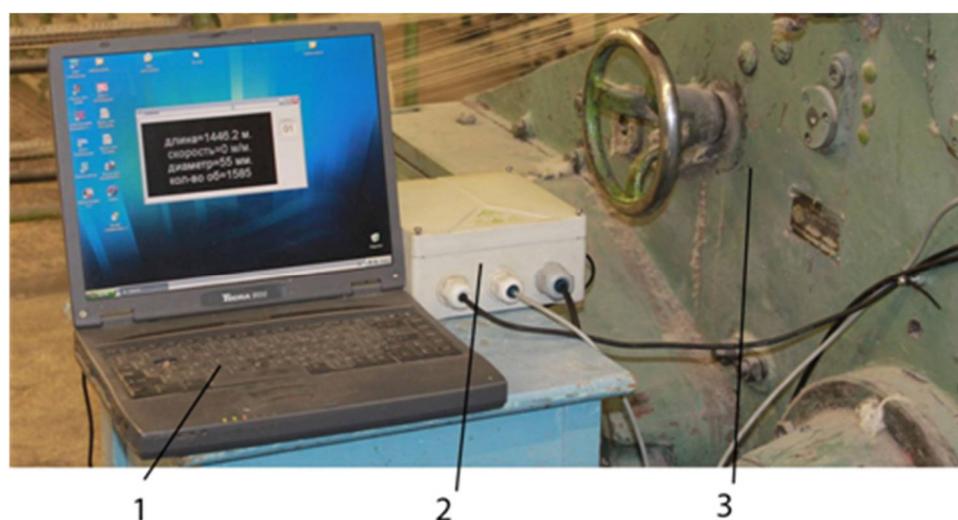


Рис. 3.12. Общий вид экспериментальной установки на сновальной машине при производственных испытаниях:

1 – персональный компьютер – устройство обработки, хранения и вывода информации, 2 – микропроцессорный блок, 3 – сновальная машина

В микропроцессорной системе к числу важнейших параметров относится период квантования – отрезок времени между двумя соседними моментами опроса датчиков системы контроля. Общие соображения, касающиеся обоснованного выбора этого параметра, изложены в статье /60/. Остановимся более подробно на ограничениях по выбору периода квантования, связанных с малыми приращениями измеряемого параметра.

Приращение радиуса катушки определим, воспользовавшись формулой

$$(2.25) \quad r_i(\varphi) = r_{i-1} + c_i \text{Int}\left(\frac{\varphi_i}{2\pi}\right) - A_i, \text{ из которой } \Delta r_i(\varphi) = r_i - r_{i-1} = c_i \text{Int}\left(\frac{\varphi_i}{2\pi}\right) - A_i.$$

При  $\varphi_i = 2\pi n_i$  приращение составит  $\Delta r_i(\varphi) = r_i - r_{i-1} = c_i n_i - A_i$ . Таким образом, если чувствительность измерителя радиуса катушки определяется в соответствии с (3.8), то абсолютная погрешность  $v_r$  измерителя радиуса катушки равна:  $v_r = S\Delta e$ , где  $\Delta e$  - погрешность энкодера, а ее относительное значение  $\delta_r = v_r \cdot 100 / \Delta r_i(\varphi) = S\Delta e \cdot 100 / \Delta r_i(\varphi), \%$ . Если принять во внимание  $\Delta e = 1$  имп., а  $\Delta r_i(\varphi) = c_i n_i - A_i$ , то

$$\delta_r = \frac{2\pi l h \sin\left(e \frac{2\pi}{n_e k} + \beta\right) \cdot 100}{c_i n_i - A_i \sqrt{\left[l^2 - 2lh \cos\left(e \frac{2\pi}{n_e k} + \beta\right)\right] + h^2}}, \quad (3.9)$$

откуда можно определить число оборотов  $n_i$  сновального вала в  $i$ -м слое, необходимое для достижения заданной относительной погрешности  $\delta_r$ :

$$n_i = \frac{2\pi l h \sin\left(e \frac{2\pi}{n_e k} + \beta\right) \cdot 100}{c_i \delta_r \sqrt{\left[l^2 - 2lh \cos\left(e \frac{2\pi}{n_e k} + \beta\right)\right] + h^2}} + \frac{A_i}{c_i}. \quad (3.10)$$

При выбранных конструктивных параметрах измерителя радиуса катушки количество оборотов сновального вала, необходимое для достижения относительной погрешности измерения, не превышающей 1%, зависит от коэффициента  $c_i$ : чем больше этот коэффициент, тем быстрее нарастает толщина катушки и тем быстрее можно получить значение измеряемого параметра, при котором погрешность не превышает заданной величины. Соответствующие кривые показаны на рис. 3.13. Увеличение параметра  $n_i$  по мере роста радиуса катушки при одном и том же коэффициенте  $c_i$

объясняется некоторой нелинейностью функции преобразования измерителя, когда погрешность измерения растет с 0,177 мм в начале намотки до 0,23 мм в конце (см. рис. 3.5).

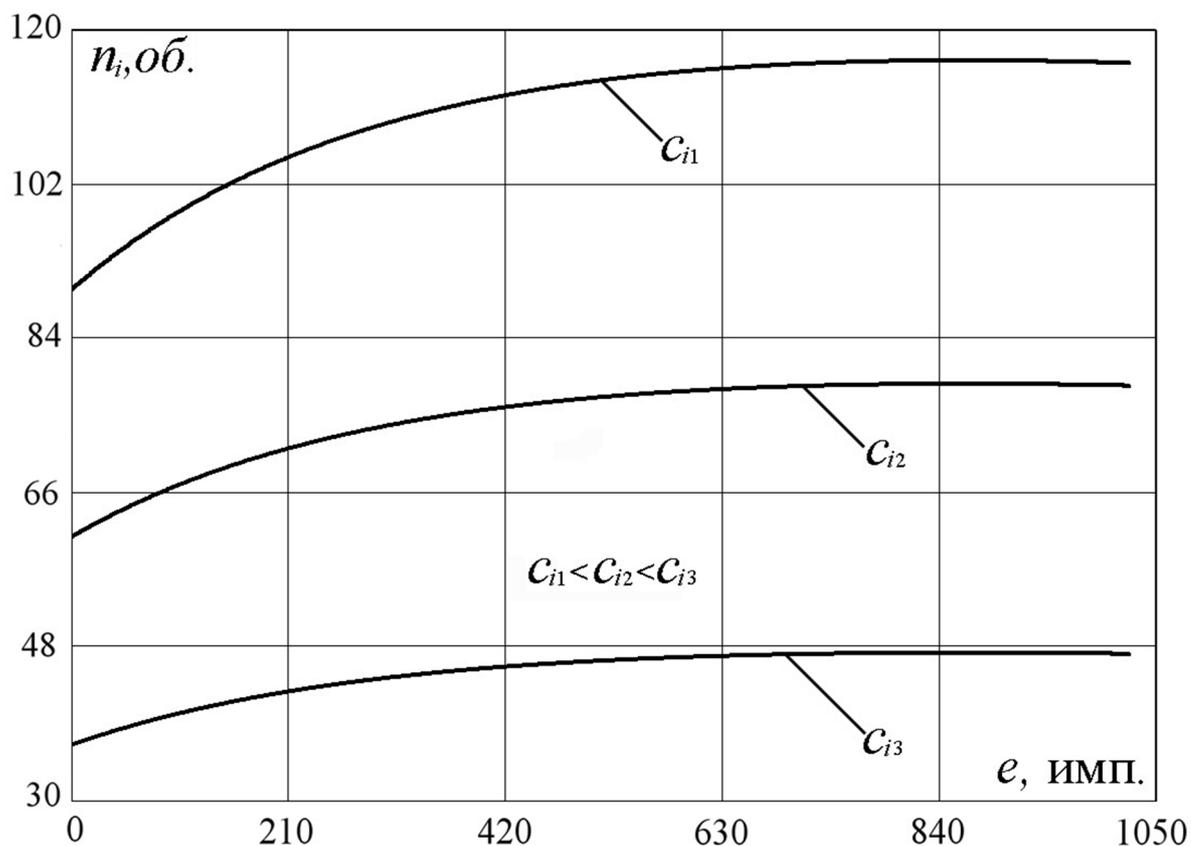


Рис. 3.13. Зависимость количества оборотов сновального вала от измеряемого радиуса намотки

Зависимость количества оборотов от коэффициента  $c_i$  указывает на необходимость учета при выборе периода квантования линейной плотности наматываемых нитей. В любом случае выбранное значение количества оборотов паковки должно обеспечивать требуемую точность измерения при минимальном значении линейной плотности перематываемой пряжи. При увеличении линейной плотности коэффициент  $c_i$  увеличивается, а необходимое количество оборотов паковки снижается, т.е. погрешность измерения уменьшается, если количество оборотов остается неизменным.

Приведенные соображения касаются достижения требуемой точности измерения коэффициента нарастания толщины слоя намотки  $k_L$  – кинематического параметра, определяемого другим кинематическим параметром – числом оборотов паковки. Однако в микропроцессорной системе период квантования – параметр, задаваемый промежутком времени между двумя последовательными циклами опроса датчиков системы. Поскольку угловая скорость сновального вала при неизменной линейной скорости снования уменьшается по мере роста радиуса паковки, период квантования для достижения требуемой точности должен изменяться. В алгоритме микропроцессорной системы период квантования следует привязать к числу оборотов сновальной паковки.

Несмотря на приемлемые значения количества оборотов паковки, через которые осуществляется опрос датчиков, в реальности, как показали наши экспериментальные исследования, результаты измерения радиуса намотки таковы, что установить какую-либо закономерность в изменении коэффициента нарастания толщины слоя не удается.

Вызвано это тем, что действительная погрешность в момент измерения радиуса намотки превышает расчетную, и это превышение обусловлено тем, что подпружиненная штанга датчика радиуса намотки с мерными колесами на конце (см. рис. 3.2, 3.4) с упругой поверхностью намотки образуют динамическую систему, в которой при возбуждении могут возникать колебания, а в предельных случаях даже нарушаться контакт колес с поверхностью паковки, т.е. наступать отрыв. Инициировать эти колебания может неправильная форма намотки сновального вала, когда по различным причинам форма отличается от заданной – прямого кругового цилиндра, и, как показано в /53/, при определенных условиях может нарушиться силовое замыкание рассматриваемой пары. Если в этот момент осуществляется считывание информации с датчика, результат измерения радиуса намотки существенно отличается от действительного, что и наблюдалось на практике (рис. 3.14). В результате погрешность достигала 67%, а в отдельных случаях

наблюдалось даже превышение предыдущих показаний радиуса над последующими при послойном контроле параметра. Эта погрешность уменьшается при использовании косвенного метода измерения радиуса, но по-прежнему остается значительной.

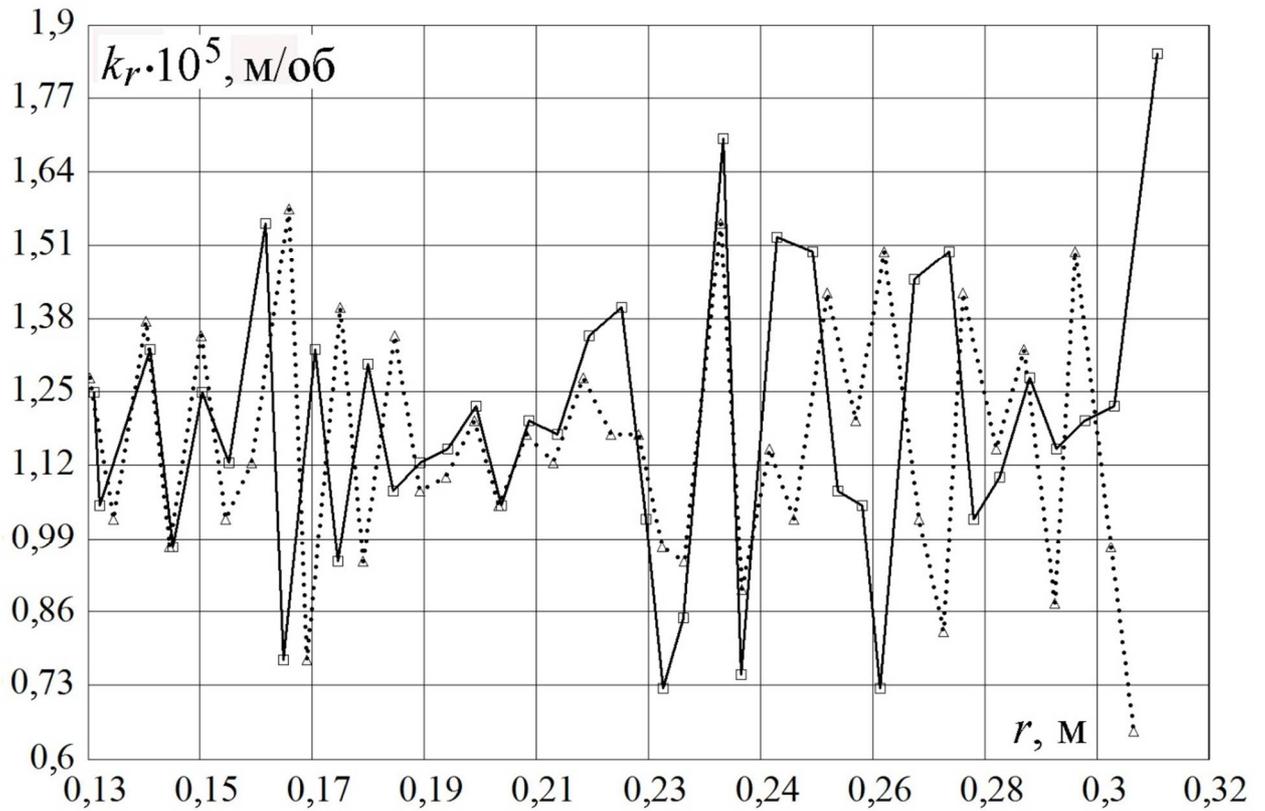


Рис. 3.14. Закономерность изменения коэффициента нарастания толщины слоя намотки

Если же попытаться увеличить промежуток времени между считываниями информации с датчика, например до 600 – 800 оборотов паковки, то уменьшается количество информации об изменении кинематических параметров процесса наматывания, что снижает достоверность идентификации напряженного состояния паковки. По этой причине метод идентификации напряженного состояния сновальной паковки, основанный на измерении радиуса намотки, нельзя признать приемлемым. Это также может являться одной из причин неудач при предпринятых ранее попытках как идентификации напряженного состояния сновального вала, так

и создания эффективной системы управления напряженным состоянием формируемой на партионной сновальной машине паковки.

На величину погрешности оказывают влияние отклонения формы намотки от заданной /59/, поскольку эти отклонения обуславливают погрешность измерения объема пряжи и связанного с ним основного параметра напряженно-деформированного состояния паковки – плотности намотки /34, 44, 61-64/. Оценим эту погрешность и определим возможности ее уменьшения.

Поскольку вычисление объема паковки партионного снования осуществляется по радиусу намотки, измеренному с помощью энкодера микропроцессорной системы /31/, то для оценки погрешности важно определить месторасположение энкодера. Примем, что он размещен на расстоянии  $l$  от левого фланца вала, как это сделано в /58, 59/. В этом случае координата  $z = l$  и для паковки в форме усеченного конуса  $\rho(l) = \rho_l = \rho_0 + al$ . Отсюда, принимая за действительную величину значение объема из /66/, находим абсолютную погрешность

$$\begin{aligned} \Delta V &= \pi H(\rho_l^2 - r^2) - \left[ \frac{\pi H}{3} (\rho_0^2 + \rho_0 \rho_k + \rho_k^2) - \pi H r^2 \right] = \\ &= \frac{\pi H}{3} [3\rho_l^2 - (\rho_0^2 + \rho_0 \rho_k + \rho_k^2)], \end{aligned}$$

соответственно относительная погрешность

$$\delta V = - \frac{3\rho_l^2 - (\rho_0^2 + \rho_0 \rho_k + \rho_k^2)}{3r^2 - (\rho_0^2 + \rho_0 \rho_k + \rho_k^2)}, \quad (3.11)$$

где  $\rho_0, \rho_k$  – радиусы оснований усеченного конуса;  $H$  – длина сновального вала;  $r$  – радиус его ствола.

При  $\rho_l = \sqrt{\frac{1}{3}(\rho_0^2 + \rho_0 \rho_k + \rho_k^2)}$  погрешность определения объема становится равной 0, т.е. при месторасположении энкодера  $l = a^{-1}(\rho_l - \rho_0)$  можно устранить рассматриваемую погрешность.

Для паковки в форме параболической бочки /65/  $\rho(l) = \rho_l = -e_1 l^2 + e_2$ ,

где  $e_2 = \rho_{\max}$ ,  $e_1 = \frac{4(\rho_{\max} - \rho_{\min})}{H^2}$ ;  $\rho_{\max}$ ,  $\rho_{\min}$  – соответственно максимальный и

минимальный радиусы паковки. Отсюда абсолютная погрешность

$$\Delta V = \pi H(\rho_l^2 - r^2) - \left[ \pi \left( e_2^2 H - \frac{e_2 e_1 H^3}{6} + \frac{e_1^2 H^5}{80} \right) - \pi H r^2 \right].$$

С учетом обозначений  $e_1$  и  $e_2$

$$\begin{aligned} \Delta V &= \pi H(\rho_l^2 - r^2) - \frac{\pi H}{15} (8\rho_{\max}^2 + 4\rho_{\max}\rho_{\min} + 3\rho_{\min}^2) + \pi H r^2 = \\ &= \pi H \rho_l^2 - \frac{\pi H}{15} (8\rho_{\max}^2 + 4\rho_{\max}\rho_{\min} + 3\rho_{\min}^2). \end{aligned}$$

Отсюда относительная погрешность

$$\delta V = - \frac{15\rho_l^2 - (8\rho_{\max}^2 + 4\rho_{\max}\rho_{\min} + 3\rho_{\min}^2)}{15r^2 - (8\rho_{\max}^2 + 4\rho_{\max}\rho_{\min} + 3\rho_{\min}^2)}. \quad (3.12)$$

При  $\rho_l = \sqrt{15^{-1}(8\rho_{\max}^2 + 4\rho_{\max}\rho_{\min} + 3\rho_{\min}^2)}$  погрешность равна 0.

Аналогично для паковки с образующей в виде параболы, обращенной выпуклостью вниз:

$$\delta V = - \frac{15\rho_l^2 - (8\rho_{\min}^2 + 4\rho_{\max}\rho_{\min} + 3\rho_{\max}^2)}{15r^2 - (8\rho_{\min}^2 + 4\rho_{\max}\rho_{\min} + 3\rho_{\max}^2)}. \quad (3.13)$$

В этом случае  $\delta V = 0$  при  $\rho_l = \sqrt{15^{-1}(8\rho_{\min}^2 + 4\rho_{\max}\rho_{\min} + 3\rho_{\max}^2)}$ .

Для паковки с бугристостью  $\rho(l) = \rho_l = \bar{\rho} + b \sin(2\pi l / L_b + \delta)$ , принимая во внимание значение объема

$$\begin{aligned} V &= \pi H(\rho_0^2 - r^2 + 0,5b^2) + [0,25b^2 L_b \sin(2\pi H / L_b) - b^2 L_b \cos^3(\pi H / L_b) \sin(\pi H / L_b) - \\ &\quad - 2b\rho_0 L_b \cos^2(\pi H / L_b) + 2b\rho_0 L_b], \end{aligned} \quad (3.14)$$

где  $L_b$  – длина волны бугристости;  $b = (\rho_{\max} - \rho_{\min})/2$  – амплитуда изменений радиуса  $\rho$  от  $\rho_{\min}$  до  $\rho_{\max}$ ,  $\bar{\rho}$  – среднее значение радиуса паковки,  $\delta$  – начальный угол изменений радиуса, определяемый смещением волны

бугристости относительно начала координат, при  $\delta = 0$  находим абсолютную погрешность:

$$\Delta V = \pi H(\rho_i^2 - r^2) - \pi H(\bar{\rho}^2 - r^2 + 0,5b^2) - \\ - L_b b [0,25b \sin(2\pi H / L_b) - b \cos^3(\pi H / L_b) \sin(\pi H / L_b) - 2\bar{\rho} \cos^2(\pi H / L_b) + 2\bar{\rho}]$$

или

$$\Delta V = \pi H(\rho_i^2 - \bar{\rho}^2 - 0,5b^2) - \\ - L_b b [0,25b \sin(2\pi H / L_b) - b \cos^3(\pi H / L_b) \sin(\pi H / L_b) - 2\bar{\rho} \cos^2(\pi H / L_b) + 2\bar{\rho}],$$

которую можно представить в виде:

$$\Delta V = \Delta V_{rec} + \Delta V_{norec},$$

где

$$\Delta V_{rec} = -L_b b [0,25b \sin(2\pi H / L_b) - b \cos^3(\pi H / L_b) \sin(\pi H / L_b) - 2\bar{\rho} \cos^2(\pi H / L_b)] \text{ и}$$

$\Delta V_{norec} = \pi H(\rho_i^2 - \bar{\rho}^2 - 0,5b^2) - 2\bar{\rho} L_b b$  – соответственно гармоническая и непериодическая составляющие погрешности. Относительная погрешность

$$\delta V = \frac{\Delta V_{rec} + \Delta V_{norec}}{V}, \quad (3.15)$$

где  $V$  – значение объема, вычисленное по формуле (3.14).

Для паковки с формой эллиптического цилиндра, когда сновальный вал в поперечном сечении имеет форму эллипса, в полярной системе координат с началом в центре вращения уравнение эллипса имеет вид /66/:

$$\rho(\varphi) = ab(a^2 \sin^2 \varphi + b^2 \cos^2 \varphi)^{-0,5}, \quad (3.16)$$

где  $a, b$  – полуоси эллипса.

Объем паковки вычисляется по формуле /65/:

$$V = \pi H(ab - r^2)$$

и абсолютная погрешность

$$\Delta V = \pi H(\rho_\varphi^2 - r^2) - \pi H(ab - r^2) = \pi H(\rho_\varphi^2 - ab).$$

Соответственно относительная погрешность

$$\delta V = \frac{\pi H(\rho_\varphi^2 - ab)}{\pi H(ab - r^2)} = \frac{(\rho_\varphi^2 - ab)}{(ab - r^2)}. \quad (3.17)$$

Координата  $\rho(\varphi, z)$  в этом случае является функцией угла поворота  $\varphi$ . Ее значение определяется в зависимости от периодичности, с которой микропроцессорная система осуществляет контроль радиуса, если радиус катушки контролируется непосредственно, или соотношением между периметром эллипса и эквивалентным значением длины окружности, если радиус катушки измеряется косвенно по периметру поперечного сечения паковки. В первом случае в качестве расчетного значения радиуса, очевидно, могут приниматься предельные значения размеров сечения – большой и малой полуосей  $a$  и  $b$  эллипса. Во втором случае, обозначая периметр эллипса  $p$ , имеем  $\rho_\varphi = p/2\pi$ .

В формулах (3.11) – (3.13), (3.15), (3.17) при вычислении относительной погрешности в процентах используется множитель 100.

Погрешность измерения объема пряжи при различных формах катушки, кроме случая паковки с формой эллиптического цилиндра, зависит, как отмечено ранее, от расстояния  $l$  месторасположения энкодера. На рис.3.15 показаны зависимости относительной погрешности определения объема от расстояния  $l$ .

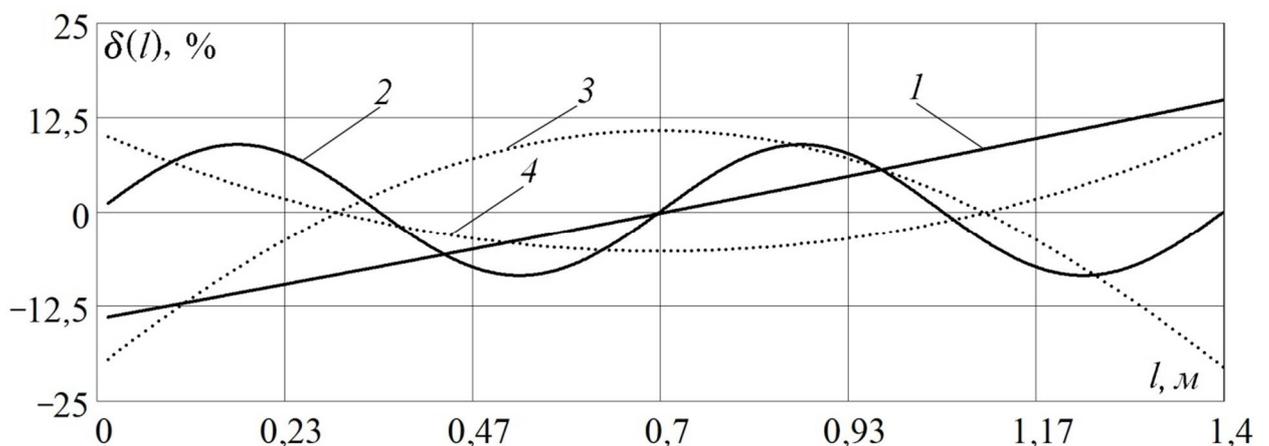


Рис. 3.15. Зависимость относительной погрешности определения объема паковки от месторасположения энкодера

Погрешность для конической намотки (кривая 1 на рис. 3.15) монотонно увеличивается. При расположении энкодера у левого фланца вала (на расстоянии  $0,1H$ ) вычисленное значение объема ниже действительного, поэтому погрешность составляет приблизительно  $-11,5\%$ . На удалении энкодера от левого фланца, приблизительно равном половине длины сновального вала, погрешность становится равной 0 и далее увеличивается, достигая максимального значения у правого края. Таким образом, для того чтобы минимизировать погрешность в рассматриваемом случае, энкодер необходимо располагать посередине вала. Безусловно, в этом случае погрешность зависит также от коэффициента  $a = (\rho_k - \rho_0)/H$  и соотношения между  $\rho_0$  и  $\rho_k$ . Кривая 1, показанная на рис. 3.15, построена при  $\rho_k > \rho_0$ , для случая  $\rho_k < \rho_0$  закономерность изменения погрешности подчиняется линейной монотонно убывающей функции.

В случае бугристой намотки (кривая 3 на рис. 3.15) погрешность описывается периодической функцией, она становится равной нулю при  $\rho(l) = \bar{\rho}$ .

Если намотка является телом вращения с образующей в виде параболы, погрешность, как показано на рис. 3.15, становится равной 0 при двух положениях энкодера, причем ни одно из этих положений не совпадает с предыдущими случаями.

Уменьшение погрешности для всех случаев намотки, кроме случая эллиптического цилиндра, возможно при оптимальном выборе месторасположения энкодера. Выбирая в качестве целевой функции суммарную погрешность для различных вариантов намотки и выполняя оптимизацию, можно найти значение координаты  $z = l$ , при которой суммарная погрешность будет минимальной. Однако кардинальное уменьшение погрешности возможно при определении реальной формы паковки непосредственно в процессе намотки.

### Выводы по главе 3

Определен состав и технические характеристики элементов микропроцессорной системы мониторинга кинематических параметров технологического процесса партионного снования.

Разработаны конструкции измерителей кинематических параметров (радиуса намотки, длины наматываемых нитей и угла поворота сновального вала). Определены функция преобразования и чувствительность измерителя радиуса намотки.

Разработаны структурная схема, алгоритм работы и принципиальная электрическая схема 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. Для достижения заданной точности измерения рассматриваемого кинематического параметра рекомендовано выбирать период квантования по количеству оборотов сновального вала.

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.

Причиной низкой достоверности идентификации напряженного состояния паковки партионного снования на основе закономерности изменения коэффициента приращения толщины слоя намотки является дополнительная погрешность измерения, вызванная нарушениями силового замыкания колеса датчика радиуса паковки с ее поверхностью.

#### 4. МЕТОДИКА ФОРМИРОВАНИЯ ПАКОВОК ПАРТИОННОГО СНОВАНИЯ С ОДНОРОДНОЙ СТРУКТУРОЙ НА ОСНОВЕ КИНЕМАТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НАМАТЫВАНИЯ

Одной из задач партионного снования является формирование паковок с однородной структурой. Партия сновальных валов, составленная из паковок с высокой степенью однородности, позволяет в шлихтовании получать высококачественные ткацкие навои и сокращать остатки пряжи на сновальных валах.

Следует различать структурную неоднородность каждой отдельно взятой паковки и неоднородность паковок в партии.

Для характеристики однородности партии сновальных валов в настоящее время используется ряд показателей, основными из которых являются линейная плотность нитей, их количество и длина, объемная плотность намотки и диаметр вала. Длина нитей на валу измеряется в процессе наматывания, диаметр намотки – по окончании процесса, а объемная плотность контролируется косвенно путем взвешивания наработанного вала и вычисления объема намотки. Однако перечисленных показателей недостаточно для того, чтобы характеризовать однородность партии паковок. Валы с одинаковыми перечисленными показателями могут иметь разнородную структуру.

Структурная неоднородность паковки может быть порождена дефектами намотки. Известно, что форма партионной паковки вследствие различных причин может отличаться от формы цилиндра. Специфический дефект намотки пряжи в виде так называемой бугристости обуславливает структурную неоднородность вдоль образующей сновального вала, а дефекты намотки, вызванные разной слоевой объемной плотностью, эксцентриситетом сновального вала и другими причинами, обуславливают структурную неоднородность паковки в радиальном направлении.

Для характеристики степени однородности может использоваться интегральный показатель напряженно-деформированного состояния паковки – ее объемная плотность, причем этот показатель меняется как в осевом, так и в тангенциальном направлении, поэтому в общем случае требуется указывать закономерность изменения объемной плотности в обоих направлениях /32/.

Количественно степень однородности сновальной паковки целесообразно оценивать методами математической статистики. Однородность паковки в радиальном направлении предложено оценивать с помощью микропроцессорной системы, включающей датчики угла поворота паковки и длины нитей. На всем протяжении формирования паковки осуществляется мониторинг процесса, в результате создается массив данных о закономерности изменения радиуса, угла поворота паковки и длины намотанных нитей. Полученные данные экспортируются в компьютер, где осуществляется их статистическая обработка. С помощью модели напряженно-деформированного состояния, учитывающей деформации и перемещения слоев паковки и физико-механические характеристики нитей и тела намотки, определяется объемная плотность слоев. Для каждой паковки из партии составляется паспорт, включающий помимо перечисленных показателей сведения о закономерности изменения послойной объемной плотности в радиальном направлении и статистические параметры неоднородности сновального вала.

Однородность структуры паковки в целом предложено оценивать дисперсией объемной плотности. Чем она выше, тем разнородней структура намотки паковки. Помимо дисперсии может вычисляться коэффициент вариации и градиент неоднородности структуры, а также и другие статистические характеристики объемной плотности. Возможен также анализ такого показателя структуры намотки, как коэффициент заполнения слоя намотки, представляющий собой отношение объемной плотности слоя к плотности пряжи.

Анализ закономерности изменения послойной объемной плотности и соотнесение ее с условиями наматывания (натяжением нитей, давлением укатывающего вала, вариацией линейной плотности нитей и т.д.) позволяют выявить существенные факторы, влияющие на однородность намотки.

На основе анализа зависимости длины нитей в слое от его объемной плотности и условий разматывания вала на шлихтовальной машине может быть установлена причина остатков пряжи на валах партии при их разматывании. С другой стороны, изучение закономерности изменения послойной объемной плотности в зависимости от диаметра намотки, анализ статистических показателей структурной однородности позволяют дать рекомендации по включению паковки в партию, обеспечивающую минимизацию отходов пряжи.

#### 4.1. Анализ результатов мониторинга кинематических параметров

Мониторинг кинематических параметров наматывания с помощью разработанной микропроцессорной системы проводился в условиях производства на ОАО “Фурмановская прядильно-ткацкая фабрика №2” (г. Фурманов, Ивановская обл.) /67/.

Целью мониторинга являлось получение экспериментальных данных об изменении кинематических параметров процесса наматывания пряжи на партионной сновальной машине. Как уже отмечалось ранее, с помощью микропроцессорной системы фиксировались такие кинематические параметры процесса, как радиус намотки, угол поворота сновального вала и длина наматываемых нитей. В ходе экспериментальных исследований перерабатывалась хлопчатобумажная пряжа 18,5 текс (номер 54), количество нитей составляло 440, а расчетная длина пряжи была равна 21500 м. В главе 3 установлена зависимость периода квантования микропроцессорной системы от коэффициента  $c_i$ , из которой следовало, что для достижения требуемой точности измерения радиуса намотки необходимо, чтобы толщина слоя

намотки была по крайней мере на два порядка больше разрешающей способности измерителя радиуса намотки. Это означает, что при заданном коэффициенте  $c_i$  число оборотов паковки должно быть больше или равно значению, определяемому из выражения (3.10). Из этих соображений при сновании пряжи 18,5 текс значения кинематических параметров фиксировались через 200 оборотов сновального вала.

Полученные экспериментальные результаты по каждому валу после обработки объединялись в сводную таблицу, в которую кроме перечисленных кинематических параметров включались следующие расчетные данные: толщина намотки, приращение радиуса намотки, объемная плотность намотки, коэффициент нарастания толщины слоя намотки, приращение длины нитей в слое и коэффициент приращения длины нитей в слое. Кроме того, в конце намотки фиксировался конечный радиус. Коэффициент нарастания толщины слоя намотки определялся как отношение приращения радиуса намотки к числу оборотов паковки, вызвавшему это приращение, а коэффициент приращения длины нитей в слое определялся аналогично как отношение приращения длины нитей в слое к приращению числа оборотов сновального вала. В табл. 4.1 приведены результаты мониторинга кинематических параметров процесса и вычисленные значения указанных коэффициентов и объемной плотности намотки для одного из наработанных валов. Результаты мониторинга для остальных валов приведены в прил. П.1, в котором с целью сокращения объема таблиц результаты мониторинга и расчетные значения приведены через 400 оборотов паковки.

По результатам экспериментов построены зависимости коэффициентов нарастания толщины слоя (рис. 4.1) и приращения длины нитей (рис. 4.2) от радиуса намотки. Для зависимости коэффициента приращения длины нитей в слое от количества оборотов паковки выполнена аппроксимация экспериментальных данных полиномом первого порядка.

Таблица 4.1. Пример результатов мониторинга одного из экспериментальных сновальных валов

№ ВАЛА 4 Время 17:48:34 Дата 18.10.2012 пряжа 54, кол-во нитей 440, вес пряжи 178 кг								
Количество оборотов вала	Толщина намотки, мм	Длина, м	Радиус намотки, м	Плотность намотки, кг/м <sup>3</sup>	Приращение радиуса намотки, м	Коэффициент нарастания толщины намотки, м/об.	Приращение длины нитей в слое, м	Коэффициент приращения длины в слое, м/об.
1	2	3	4	5	6	7	8	9
200	4,1	153,3	0,1241	283,49	0,0041	0,0000205	153,3	0,7665
400	5,6	311,2	0,1256	418,76	0,0015	7,5E-06	157,9	0,7895
600	8,6	470,8	0,1286	407,55	0,003	0,000015	159,6	0,798
800	10,6	634,4	0,1306	442,00	0,002	0,00001	163,6	0,818
1000	12,5	801,7	0,1325	470,10	0,0019	9,5E-06	167,3	0,8365
1200	16	970,9	0,136	438,69	0,0035	0,0000175	169,2	0,846
1400	18,1	1142,8	0,1381	452,74	0,0021	0,0000105	171,9	0,8595
1600	22,2	1318,4	0,1422	419,19	0,0041	0,0000205	175,6	0,878
1800	23,2	1496,7	0,1432	453,63	0,001	0,000005	178,3	0,8915
2000	25,2	1678,3	0,1452	464,77	0,002	0,00001	181,6	0,908
2200	28	1862,1	0,148	459,26	0,0028	0,000014	183,8	0,919
2400	30,2	2049,7	0,1502	464,88	0,0022	0,000011	187,6	0,938
2600	32,7	2239,8	0,1527	464,86	0,0025	0,0000125	190,1	0,9505
2800	35,8	2432,6	0,1558	455,97	0,0031	0,0000155	192,8	0,964
3000	38,9	2628,1	0,1589	448,32	0,0031	0,0000155	195,5	0,9775
3200	42	2825,4	0,162	441,50	0,0031	1,55E-05	197,3	0,9865
3400	43,2	3034,2	0,1632	459,00	0,0012	6E-06	208,8	1,044
3600	45,5	3238,8	0,1655	461,44	0,0023	1,15E-05	204,6	1,023
3800	47,2	3447,6	0,1672	470,69	0,0017	8,5E-06	208,8	1,044
4000	51,9	3658,6	0,1719	446,95	0,0047	2,35E-05	211	1,055

4200	54,2	3868,9	0,1742	449,05	0,0023	0,0000115	210,3	1,0515
4400	56,8	4084,8	0,1768	448,44	0,0026	0,000013	215,9	1,0795
4600	57,9	4305,9	0,1779	462,02	0,0011	5,5E-06	221,1	1,1055
4800	59,8	4528,3	0,1798	467,46	0,0019	9,5E-06	222,4	1,112
5000	62	4753,2	0,182	469,82	0,0022	0,000011	224,9	1,1245
5200	64,8	4981,3	0,1848	466,76	0,0028	0,000014	228,1	1,1405
5400	66,6	5214,6	0,1866	472,63	0,0018	9E-06	233,3	1,1665
5600	69,4	5449,8	0,1894	469,73	0,0028	1,4E-05	235,2	1,176
5800	72,9	5687,1	0,1929	461,43	0,0035	0,0000175	237,3	1,1865
6000	74,2	5930,5	0,1942	470,79	0,0013	6,5E-06	243,4	1,217
6200	76,9	6171,3	0,1969	468,68	0,0027	1,35E-05	240,8	1,204
6400	79,1	6416,1	0,1991	470,45	0,0022	1,1E-05	244,8	1,224
6600	80,6	6663,8	0,2006	477,28	0,0015	7,5E-06	247,7	1,2385
6800	85,7	6919,5	0,2057	458,80	0,0051	0,0000255	255,7	1,2785
7000	86,2	7174,6	0,2062	472,23	0,0005	0,0000025	255,1	1,2755
7200	89,3	7437,4	0,2093	468,08	0,0031	0,0000155	262,8	1,314
7400	91,8	7700,8	0,2118	467,91	0,0025	0,0000125	263,4	1,317
7600	95,1	7968,4	0,2151	462,77	0,0033	0,0000165	267,6	1,338
7800	96,2	8239	0,2162	471,46	0,0011	5,5E-06	270,6	1,353
8000	97,8	8529,9	0,2178	477,85	0,0016	8E-06	290,9	1,4545
8200	101,2	8832,7	0,2212	473,42	0,0034	1,7E-05	302,8	1,514
8400	103,4	9139,1	0,2234	476,35	0,0022	1,1E-05	306,4	1,532
8600	106,1	9446,3	0,2261	476,09	0,0027	0,0000135	307,2	1,536
8800	109,1	9750,7	0,2291	473,81	0,003	1,5E-05	304,4	1,522
9000	111,8	10070,5	0,2318	473,87	0,0027	1,35E-05	319,8	1,599
9200	113,9	10398,9	0,2339	477,45	0,0021	0,0000105	328,4	1,642
9400	115,7	10736,9	0,2357	482,84	0,0018	9E-06	338	1,69
9600	118,2	11079,1	0,2382	484,29	0,0025	0,0000125	342,2	1,711

9800	120,9	11398,4	0,2409	483,48	0,0027	0,0000135	319,3	1,5965
10000	123	11726,9	0,243	486,09	0,0021	0,0000105	328,5	1,6425
10200	123,4	12072,7	0,2434	498,25	0,0004	2E-06	345,8	1,729
10400	128,7	12443,1	0,2487	485,31	0,0053	2,65E-05	370,4	1,852
10600	130,5	12799,4	0,2505	489,93	0,0018	9E-06	356,3	1,7815
10800	134,6	13157,8	0,2546	482,97	0,0041	0,0000205	358,4	1,792
11000	136,7	13529,5	0,2567	486,25	0,0021	0,0000105	371,7	1,8585
11200	140,3	13896,1	0,2603	482,01	0,0036	0,000018	366,6	1,833
11400	142,9	14261,3	0,2629	482,38	0,0026	1,3E-05	365,2	1,826
11600	146,1	14630,5	0,2661	480,01	0,0032	1,6E-05	369,2	1,846
11800	148,1	15006,5	0,2681	483,20	0,002	0,00001	376	1,88
12000	151,6	15422,6	0,2716	480,80	0,0035	1,75E-05	416,1	2,0805
12200	153,7	15801,8	0,2737	483,30	0,0021	0,0000105	379,2	1,896
12400	157,3	16181,8	0,2773	479,21	0,0036	1,8E-05	380	1,9
12600	159,9	16576,8	0,2799	479,78	0,0026	1,3E-05	395	1,975
12800	161,5	17008,4	0,2815	485,46	0,0016	8E-06	431,6	2,158
13000	164	17453,7	0,284	487,54	0,0025	1,25E-05	445,3	2,2265
13200	167,9	17880,8	0,2879	483,20	0,0039	1,95E-05	427,1	2,1355
13400	170,9	18314,1	0,2909	482,67	0,003	0,000015	433,3	2,1665
13600	173,9	18775	0,2939	482,76	0,003	0,000015	460,9	2,3045
13800	177,4	19224,5	0,2974	480,50	0,0035	0,0000175	449,5	2,2475
14000	178,3	19707,9	0,2983	489,04	0,0009	4,5E-06	483,4	2,417
14200	184,1	20174	0,3041	478,21	0,0058	2,9E-05	466,1	2,3305
14400	186,4	20702,9	0,3064	482,07	0,0023	1,15E-05	528,9	2,6445
14600	188,9	21209	0,3089	484,48	0,0025	0,0000125	506,1	2,5305
14751	190,5	21605,3	0,3105	487,57	0,0016	8E-06	396,3	1,9815



Рис. 4.1. Зависимость коэффициента нарастания толщины слоя намотки от радиуса

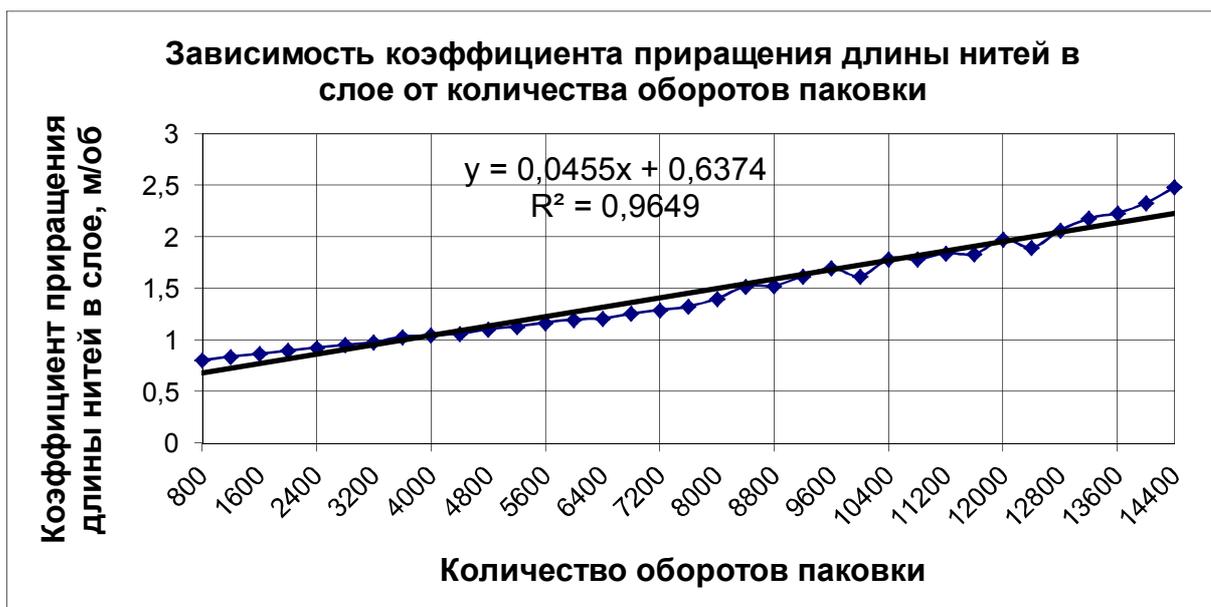


Рис. 4.2. Зависимость коэффициента приращения длины нитей в слое от количества оборотов паковки при аппроксимации экспериментальных данных полиномом первого порядка

Высокий коэффициент детерминации  $R^2$  свидетельствует о хорошей связи рассчитанного коэффициента с радиусом намотки.

Выполненные экспериментальные исследования и обработка их результатов позволяют сделать ряд важных выводов относительно возможности оценки напряженного состояния формируемых на партионной сновальной машине паковок путем мониторинга кинематических параметров наматывания.

Во-первых, разработанная микропроцессорная система мониторинга позволяет в режиме реального времени отслеживать изменения кинематических параметров процесса наматывания.

Во-вторых, из-за несоответствия формы намотки форме прямого кругового цилиндра или при наличии эксцентриситета намотки при вращении паковки возникают инерционные силы, вызывающие колебания мерильного колеса энкодера на поверхности сновального вала, и в результате радиус намотки измеряется с большой погрешностью. При попытке увеличения периода дискретности до значения, равного, например, 400 оборотам, коэффициент нарастания толщины слоя намотки по-прежнему измеряется с большой погрешностью. Поэтому зависимость этого коэффициента от радиуса намотки (см. рис. 4.1) не позволяет получить какую-либо информацию об изменении интересующего параметра. Об этом свидетельствует и низкий коэффициент корреляции указанного коэффициента с плотностью намотки. В связи с этим реализованное в работе предложение использовать в качестве параметра, идентифицирующего напряженно-деформированное состояние паковки, коэффициент приращения длины нитей в слое следует рассматривать как удачное, позволяющее осуществить с приемлемой точностью идентификацию, о чем свидетельствует более высокая корреляционная связь с объемной плотностью намотки (табл. 4.2).

Таблица 4.2. Пример анализа результатов мониторинга для одного из экспериментальных сновальных валов  
(коэффициент взаимной корреляции кинематических параметров наматывания)

Кинематические параметры наматывания	Количество оборотов вала	Толщина намотки, мм	Длина, м	Радиус намотки, м	Плотность намотки, кг/м <sup>3</sup>	Приращение радиуса намотки, м	Коэффициент нарастания толщины намотки, м/об	Приращение длины нитей в слое, м	Коэффициент приращения длины в слое, м/об.
Количество оборотов вала	1								
Толщина намотки	0,999415	1							
Длина	0,988741	0,99243	1						
Радиус намотки, м	0,999415	1	0,99243	1					
Плотность намотки, кг/м <sup>3</sup>	0,855092	0,843539	0,807754	0,84353887	1				
Приращение радиуса намотки, м	0,207421	0,220296	0,22791	0,22029621	-0,12597252	1			
Коэффициент нарастания толщины намотки, м/об.	0,207421	0,220296	0,22791	0,22029621	-0,12597252	1	1		
Приращение длины нитей в слое, м	0,983633	0,987018	0,99411	0,98701771	0,810767083	0,254415061	0,254415061	1	
Коэффициент приращения длины в слое, м/об.	0,983633	0,987018	0,99411	0,98701771	0,810767083	0,254415061	0,254415061	1	1

#### 4.2. Обоснование использования коэффициента приращения длины нитей в слое для идентификации напряженно-деформированного состояния сновальных паковок

При формировании партии сновальных валов в соответствии с технологическим расчетом учитывают различные параметры, при этом в условиях производства на основе практического опыта прибегают к различным приемам, позволяющим оптимизировать процесс сматывания нитей со сновальных валов, добиваясь сокращения отходов. В частности, на некоторых предприятиях натяжение первого по ходу сматываемых нитей на стойке шлихтовальной машины вала устанавливается большей величины, поскольку считается, что вытяжка с него минимальна. На других предприятиях формируют партии по радиусам сновальных валов, достигая минимального их разброса в партии. Это свидетельствует об актуальности проблемы, несмотря на неоднократно предпринимаемые попытки уменьшения мягких угаров в шлихтовании.

Основной недостаток всех сделанных ранее предложений по формированию партий состоял в том, что не учитывался характер распределения параметров, определяющих напряженно-деформированное состояние (НДС) паковок. Принято считать, что интегральным параметром НДС паковки является ее объемная плотность и для уменьшения разброса длины нитей на валах партии необходимо добиваться одинаковой плотности как всех слоев каждого в отдельности вала, так и всех валов партии. Практика партионного снования свидетельствует о значительном различии объемной плотности сформированных валов. Например, в условиях ОАО «Фурмановская прядильно-ткацкая фабрика №2» при средней плотности  $500,1 \text{ кг/м}^3$  хлопчатобумажной пряжи 18,5 текс разброс по результатам экспериментальных исследований достигает 20,3% .

Ранее определение параметров НДС, в том числе и плотности, осуществлялось на основе уравнения равновесия элемента сформированного тела намотки /34, 35/. Наматываемые нити, как и тело намотки, считались упругими, т.е. их деформирование подчинялось закону Гука, при этом были необходимы исходные данные по упругим свойствам как наматываемых нитей, так и тела намотки. Это не позволяет рекомендовать полученные результаты для идентификации параметров и характеристик сновальных валов непосредственно в процессе производства.

Наиболее приемлемым способом идентификации НДС сновальных валов является установление закономерности изменения радиуса вала непосредственно в процессе намотки /31/. Однако, как уже отмечалось, погрешность измерения малых приращений радиуса намотки является значительной, по этой причине установить какую-либо закономерность изменения этого параметра не удастся. Поэтому нами предложено в качестве параметра, характеризующего НДС паковки, использовать закономерность изменения коэффициента приращения длины нитей в слое в зависимости от количества оборотов паковки /68/.

Характер отмеченной зависимости определяет напряженно-деформированное состояние паковки, а коэффициент приращения длины связан с коэффициентом нарастания толщины слоя намотки. Действительно, если длина нити в слое определяется из выражения /50/

$$L_i = 2\pi n_i [r_{i-1} + 0,5c_i(n_i + 1) - A_i],$$

то, предполагая, что в общем случае коэффициент  $c_i$  и перемещение  $A_i$  изменяются с ростом радиуса намотки, т.е. с увеличением количества оборотов паковки  $n_i$ , находим коэффициент приращения длины нитей в слое  $k_{L_i}$ :

$$\begin{aligned} k_{L_i} &= dL_i / dn_i = d[2\pi n_i r_{i-1} + \pi n_i c_i (n_i + 1) - 2\pi n_i A_i] / dn_i = \\ &= 2\pi r_{i-1} + \pi n_i (n_i + 1) \frac{dc_i}{dn_i} + 2\pi n_i c_i + \pi c_i - 2\pi A_i - 2\pi n_i \frac{dA_i}{dn_i} = \end{aligned}$$

$$= 2\pi \left\{ r_{i-1} + n_i \left[ 0,5(n_i + 1) \frac{dc_i}{dn_i} + c_i - \frac{dA_i}{dn_i} \right] + 0,5c_i - A_i \right\}.$$

Если толщину слоя принять такой, что в ее пределах коэффициент  $c_i$  и перемещение  $A_i$  остаются постоянными, то

$$k_{L_i} = \pi[2r_{i-1} + c_i(2n_i + 1) - 2A_i],$$

откуда  $c_i = k_{L_i} [2\pi(n_i + 0,5)]^{-1} + (A_i - r_{i-1})(n_i + 0,5)^{-1}$  или

$$c_i = \alpha_i k_{L_i}^L + \beta_i, \quad (4.1)$$

где  $\alpha_i = [2\pi(n_i + 0,5)]^{-1}$  и  $\beta_i = (A_i - r_{i-1})(n_i + 0,5)^{-1} = 2\pi\alpha_i(A_i - r_{i-1})$ .

Подставляя (4.1) в формулу плотности намотки /50/

$$\gamma_i = \frac{2mTn_i[r_{i-1} + 0,5c_i(n_i + 1) - A_i]}{10^6 \cdot H[(r_{i-1} + c_i n_i - A_i)^2 - r_{i-1}^2]},$$

получим:

$$\gamma_i = \frac{2mTn_i[r_{i-1} + 0,5(\alpha_i k_{L_i} + \beta_i)(n_i + 1) - A_i]}{10^6 \cdot H\{[r_{i-1} + (\alpha_i k_{L_i} + \beta_i)n_i - A_i]^2 - r_{i-1}^2\}}. \quad (4.2)$$

Аналогично коэффициенту приращения толщины слоя  $c_i$  из (4.1) можно получить квадратное уравнение относительно  $k_{L_i}$ :

$$d_1 k_{L_i}^2 + d_2 k_{L_i} + d_3 = 0,$$

где

$$d_1 = 10^6 \cdot H \gamma_i \alpha_i^2 n_i^2;$$

$$d_2 = 10^6 \cdot H \gamma_i [2\alpha n_i (r_{i-1} - A_i) + 2\alpha \beta n_i^2] - mTn_i \alpha (n_i + 1);$$

$$d_3 = 10^6 \cdot H \gamma_i [A_i (A_i - 2r_{i-1}) + 2(r_{i-1} - A_i) \beta n_i + \beta^2 n_i^2] - \\ - 2mTn_i (r_{i-1} - A_i) - mTn_i \beta (n_i + 1).$$

Положительное значение корня  $k_{L_i} = 0,5 \left( -d_2 + \sqrt{d_2^2 - 4d_1 d_3} \right) d_1^{-1}$  определяет коэффициент приращения длины нитей. Из выражения корня может быть найдена зависимость  $k_{L_i}$  от количества оборотов паковки при

постоянной плотности намотки.

На рис. 4.3 представлены указанные зависимости для значений плотностей 320 и 680 кг/м<sup>3</sup> (соответственно кривые 1 и 2), из которых следует, что для достижения постоянной объемной плотности намотки коэффициент приращения длины нитей в слое должен расти по закону, близкому к линейному.

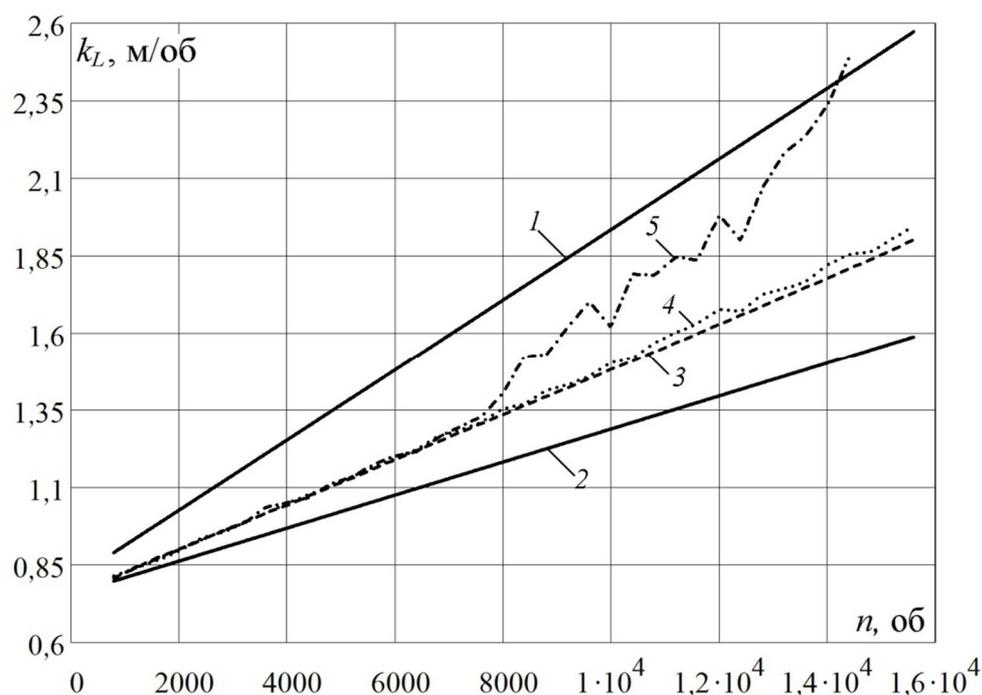


Рис. 4.3. Зависимость коэффициента приращения длины нитей в слое  $k_L$  от количества оборотов паковки при постоянной плотности намотки

На рис. 4.3 показаны также 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.

Близкий к линейному характер теоретических зависимостей  $k_{L_i}(n_i)$

(см. рис. 4.3) свидетельствует о возможности использования их для аппроксимации экспериментальных данных. Константы этих зависимостей характеризуют один из важнейших параметров напряженно-деформированного состояния паковки – ее плотность, а отклонения зависимостей от линейных свидетельствуют об изменениях 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 /32/.

Для подтверждения этого с помощью микропроцессорной системы, описанной в /31/, как уже отмечалось ранее, в условиях производства «Фурмановской прядильно-ткацкой фабрики №2» (г. Фурманов, Ивановская обл.) 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  $k_{L_i}(n_i) = an_i + b$ .

Данные сводной таблицы после предварительной процедуры стандартизации использовались в кластерном анализе /68/.

#### 4.3. Применение кластерного анализа при формировании партии сновальных валов для шлихтовальной машины

Кластерный анализ как метод отбора объектов, имеющих несколько измеряемых свойств, в группу однородных известен давно. Его предложил еще в 1939 г. Р. Трион, в настоящее время известно более 100 методов

кластеризации.

В качестве исходных данных выступают параметры, полученные в результате микропроцессорного мониторинга процесса наматывания в партионном сновании, которые 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  $b$ . Разная длина нитей на валах обусловлена тем, что прекращение наматывания в эксперименте осуществлялось по счетчику длины машины, который из-за погрешности измерения имел показания, отличные от показаний энкодера.

Суть рассматриваемого метода кластеризации состоит в том [69], чтобы на основании данных, полученных в результате мониторинга кинематических параметров и 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  $b$ .

При осуществлении кластеризации вычисляют либо расстояние между объектами, либо меру их сходства [69]. В качестве расстояния могут использоваться различные функции: *Euclidean distances* (евклидова метрика), *Chebyshev distances metric* (расстояние Чебышева) и другие.

Известные алгоритмы кластеризации разделяются на иерархические и неиерархические. Наибольшее распространение получили иерархические методы. Они в свою очередь делятся на агломеративные и итеративные дивизивные методы. В программе *Statistica* нами использован метод *k-means* (дивизивный метод  $k$ -средних). В этом случае имеется гипотеза о количестве кластеров  $m$  (в нашем случае это количество партий из наработанных сновальных валов). Программа *Statistica* анализирует принадлежность

сновальных валов к той или иной партии, минимизируя изменчивость параметров внутри партии и максимизируя ее между партиями.

Алгоритм построен таким образом, что вначале назначаются случайным образом центры будущих кластеров, далее вычисляется расстояние между центрами и между сновальными валами и паковка приписывается к тому кластеру, к которому она расположена ближе всего. После окончания разделения вычисляются средние значения для каждого кластера. Количество средних  $k$  равно количеству используемых при кластеризации параметров: в нашем случае их четыре ( $k = 4$ ). Полученные значения средних определяют координаты нового положения центра кластера. Далее в соответствии с принятым алгоритмом повторяются вычисления расстояний от параметров каждой паковки до центров кластеров, и сновальный вал приписывается к ближайшему кластеру. Вычисления центров кластеров итеративно повторяются до тех пор, пока координаты центров кластеров не перестанут изменяться.

При обработке экспериментальных данных мы использовали модуль *Cluster Analysis* программы *Statistica*.

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 (рис. 4.4).

После этого выбраны переменные, по которым проведена кластеризация (в нашем случае – все). Количество кластеров, как ранее было оговорено, выбрано равным количеству партий, т.е. 4. Количество итераций при выполнении кластеризации принято равным 20 (рис. 4.5). После завершения задания параметров кластерного анализа получено окно с результатами кластеризации (рис. 4.6), в котором показано, что кластерный анализ выполнен для 20 случаев по 5 переменным, количество кластеров 4,

решение получено после 3 итераций /70/.

Графически результаты кластерного анализа представлены на рис. 4.7.

STATISTICA - Параметры сновальных валов

File Edit View Insert Format Statistics Graphs Tools Data Window Help

Clipboard icons: Add to Workbook, Add to Report

Font: Arial, Bold, Italic, Underline, Text color, Background color, Paragraph alignment, Bullets, Numbered list, Indentation, Font size, Bold, Italic, Underline, Text color, Background color, Paragraph alignment, Bullets, Numbered list, Indentation, Font size

Data: Параметры сновальных валов (Sv by 20c)

Длина L, количество оборотов n, параметры аппроксимирующей зависимости  $y=ax+b$

	1 L	2 n	3 Rk	4 a	5 b
Вал 1	-0,00144	0,159301318	0,905886731	-0,26544	0,326732
Вал 2	-0,90887	0,415148889	0,538480199	-0,44965	0,436025
Вал 3	0,700799	-2,53192549	0,308851116	2,263337	-2,05479
Вал 4	-0,59387	0,547899987	-0,90818302	-0,4664	0,354937
Вал 5	-0,74704	0,038618501	0,423665658	-0,24869	0,363751
Вал 6	1,351026	0,345152855	0,630331832	-0,48315	0,656373
Вал 7	-0,08525	0,468249328	0,216999483	-0,36592	0,250932
Вал 8	-0,73259	0,391012325	0,010333309	-0,36592	0,287951
Вал 9	-0,97823	0,400666951	-0,26522159	-0,39941	0,333783
Вал 10	1,351026	0,345152855	0,630331832	-0,48315	0,656373
Вал 11	-0,13438	0,207574444	-0,15040705	-0,31568	0,386667
Вал 12	0,712359	0,270329509	0,056259125	-0,29893	0,307341
Вал 13	2,06483	0,514108798	-0,51781358	-0,41616	0,404295
Вал 14	-1,19208	0,456181046	-0,58670231	-0,43291	0,347885
Вал 15	0,700799	-2,42572461	0,308851116	2,464299	-2,43026
Вал 16	-0,90887	0,410321576	0,538480199	-0,48315	0,495959
Вал 17	-0,00144	0,470662984	0,905886731	-0,39941	0,577047
Вал 18	-0,81929	0,277570478	0,492554382	-0,38267	0,30029
Вал 19	-1,19208	1,0499405	0,171073667	-0,66736	0,413108
Вал 20	1,414603	-1,81024225	-3,70965783	2,19635	-2,4144

Cluster Analysis: K-M...

For Help, press F1      C1,V1      -1,4449472740E-03      Set:OFF      Weight:OFF      CAPS      NUM      ЗАП

Рис. 4.4. Стандартизированные параметры 20 сновальных валов для выполнения кластерного анализа

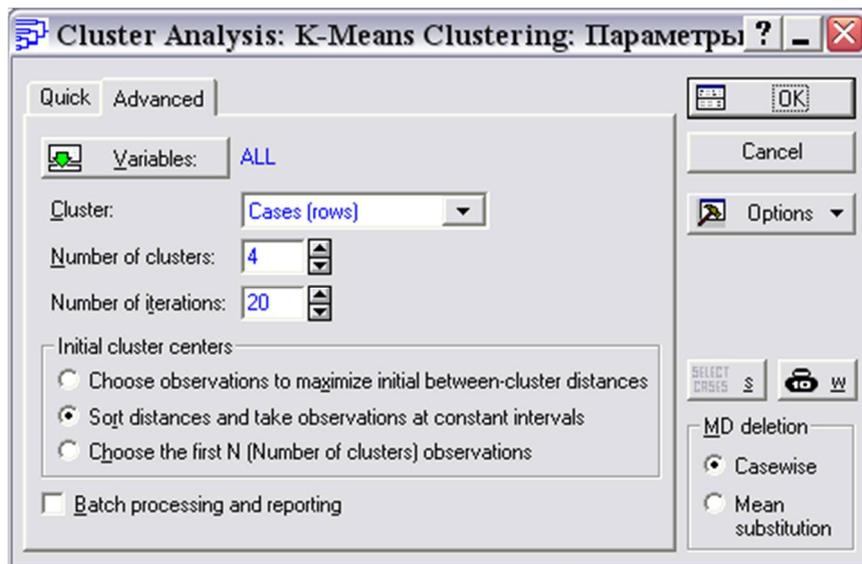


Рис. 4.5. Окно для выбора параметров кластеризации

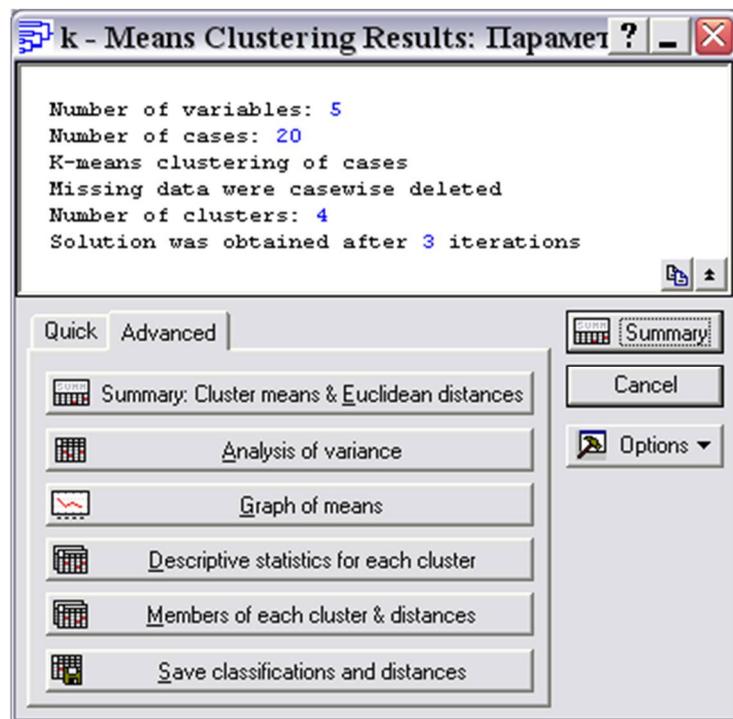


Рис. 4.6. Окно результатов кластерного анализа

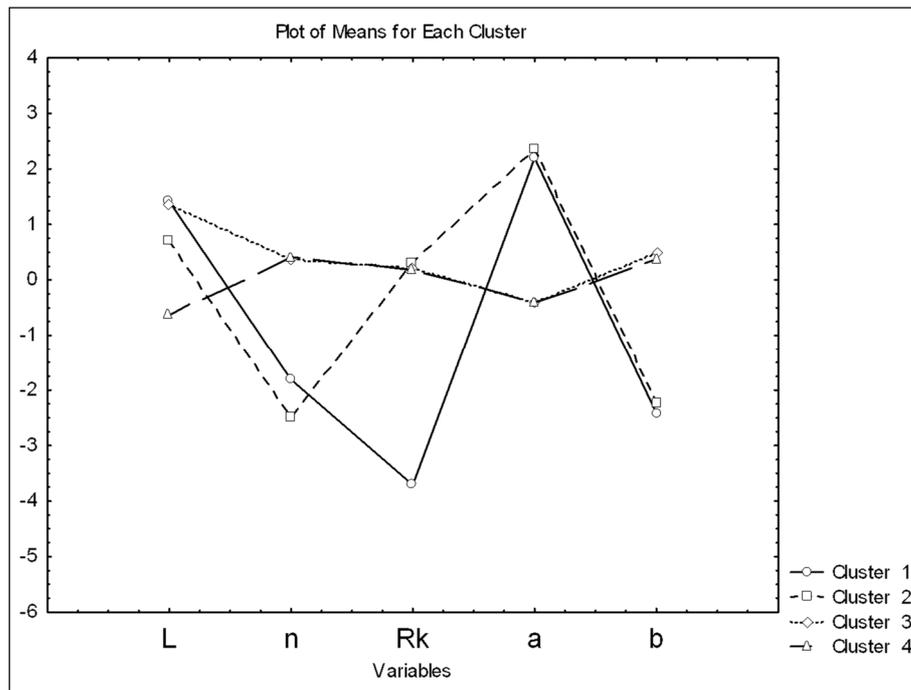


Рис. 4.7. Распределение сновальных валов по 4 кластерам

Из рис. 4.7 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. 4.8).

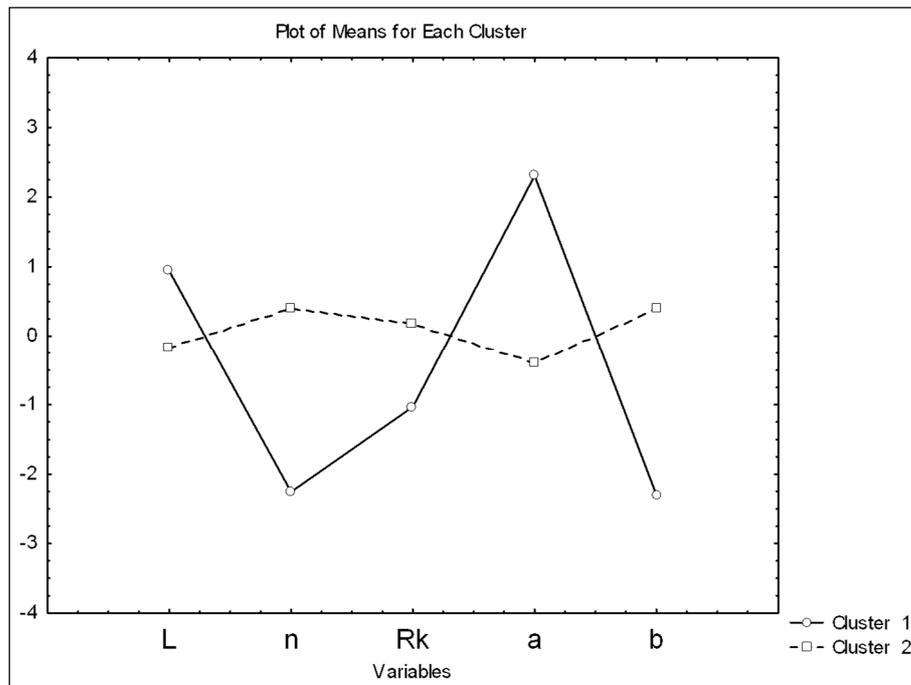


Рис. 4.8. Распределение сновальных валов по 2 кластерам

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 результате перематывания пряжи с наработанных сновальных валов на ткацкие навои в шлихтовальном производстве.

#### 4.4. Методика формирования партии сновальных валов с однородной структурой

Разработанная микропроцессорная система контроля параметров напряженно-деформированного состояния паковок партионного снования и использование кластерного анализа позволяют формировать партии сновальных валов с однородной структурой для процесса шлихтования и снизить отходы мягкой пряжи.

Поскольку в настоящее время производственная программа предприятия не рассчитана на переработку большого количества пряжи, а сновальные паковки практически сразу же поступают в шлихтовальное производство, разбиение сновальных валов по двум кластерам позволяет, не дожидаясь наработки большого количества паковок, определять принадлежность очередного наработанного сновального вала к тому или иному кластеру. 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 на Фурмановской прядильно-ткацкой фабрике №2 (г. Фурманов, Ивановская обл.) после формирования партий сновальных валов отслеживался процесс разматывания наработанных сновальных валов на шлихтовальной машине ШБ-11-140 (рис. 4.9).

Партии из 5 сновальных валов составлялись в соответствии с разработанной методикой. В первые три партии (партии 1, 2 и 3) включены 15 валов второго кластера, четвертая партия сформирована из 2 валов второго кластера и 3 валов первого кластера (партия 4) (табл. 4.1). Разматывание сновальных валов на стойке шлихтовальной машины осуществлялось в штатном режиме ее работы (рис. 4.9), т.е. без корректировки величины тормозного момента сновальных валиков. Использовалась последовательная заправка, при разматывании количество остатков увеличивалось, как правило, в направлении от ближнего к клеевой ванне вала к дальнему в соответствии с закономерностью возрастания вытяжки при принятых на производстве настройках тормозных моментов валов.



Рис. 4.9. Переработка экспериментальных партий сновальных валов на шлихтовальной машине

Для сравнения контролировалось (рис. 4.10) количество отходов при принятой на производстве штатной процедуре формирования партий (партии 5 – 9) .

Взвешивание остатков пряжи на валах осуществлялось на электронных весах с разрешением 0,001 кг. Количество мягких отходов пряжи на сновальных валах по обоим вариантам составления партий представлено в табл. 4.3.

Среднее значение отходов в партиях 1, 2 и 3 составило 1,04 кг, в остальных – 3,018 кг, с дисперсиями соответственно 0,115 и 1,173 кг<sup>2</sup>. Для возможности использования критерия Стьюдента для оценки значимости различия количества мягких отходов в различных вариантах составления партий проводилась идентификация закона распределения массы отходов в

партиях. Для этого использовалась программа Statistica /68/. Рассматривалась выборка из 36 значений массы мягких отходов при шлихтовании. В результате установлено, что распределение массы мягких отходов в шлихтовании подчиняется нормальному закону распределения. В соответствии с критерием Стьюдента различие средних в обоих вариантах шлихтования является значимым, снижение количества мягких отходов составило 65,5%.

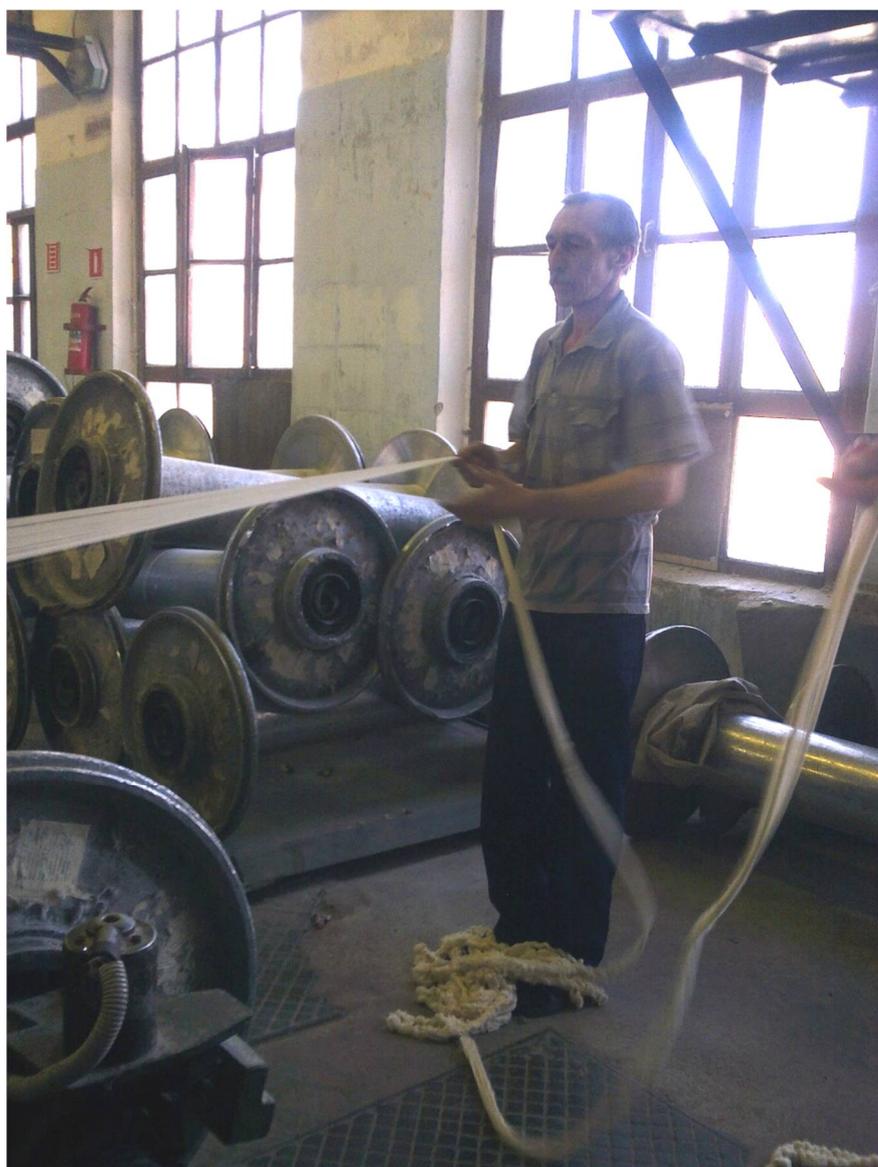


Рис. 4.10. Сматывание остатков пряжи на сновальных валах  
шлихтовальной машины

Таблица 4.3. Количество мягких отходов пряжи на сновальных валах

Номер партии	Количество мягких отходов, кг						Среднее значение, кг	Дисперсия, кг <sup>2</sup>
	1 вал	2 вал	3 вал	4 вал	5 вал	Всего мягких отходов, кг		
1	–	0,173	0,195	0,151	0,189	0,708	1,04	0,115
2	0,232	–	0,3	0,362	0,491	1,385		
3	–	0,214	0,281	0,355	0,178	1,028		
4	0,66	–	0,234	0,761	0,922	2,577	3,018	1,173
5	–	0,032	0,251	1,522	1,265	3,070		
6	–	0,061	0,124	0,706	0,999	1,890		
7	0,051	–	0,242	2,093	2,586	4,972		
8	–	0,012	0,189	1,092	1,997	3,290		
9	–	0,028	0,155	0,704	1,423	2,310		

#### 4.5. Реализация методики формирования партии сновальных валов с однородной структурой в условиях производства

Предложенная в разделе методика формирования партии сновальных валов с однородной структурой при ее реализации на производстве требует осуществления определенных организационных мероприятий. Первым условием ее реализации является оснащение всего парка сновальных машин preparatory department ткацкой фабрики разработанными микропроцессорными устройствами мониторинга кинематических параметров процесса наматывания. Далее информация посредством интерфейса RS-485 передается на компьютер, где обрабатывается, и в соответствии с разработанной методикой выдаются рекомендации по формированию партии сновальных валов. На рис. 4.11 представлена функциональная схема части АСУ ТП preparatory department ткацкого производства, связанной с партионными сновальными машинами. В отсутствие централизованной автоматизированной системы управления технологическими процессами

техническая реализация предложенной методики потребует значительных затрат, в том числе и людских ресурсов. Поэтому внедрение этих предложений на таких предприятиях экономически нецелесообразно.

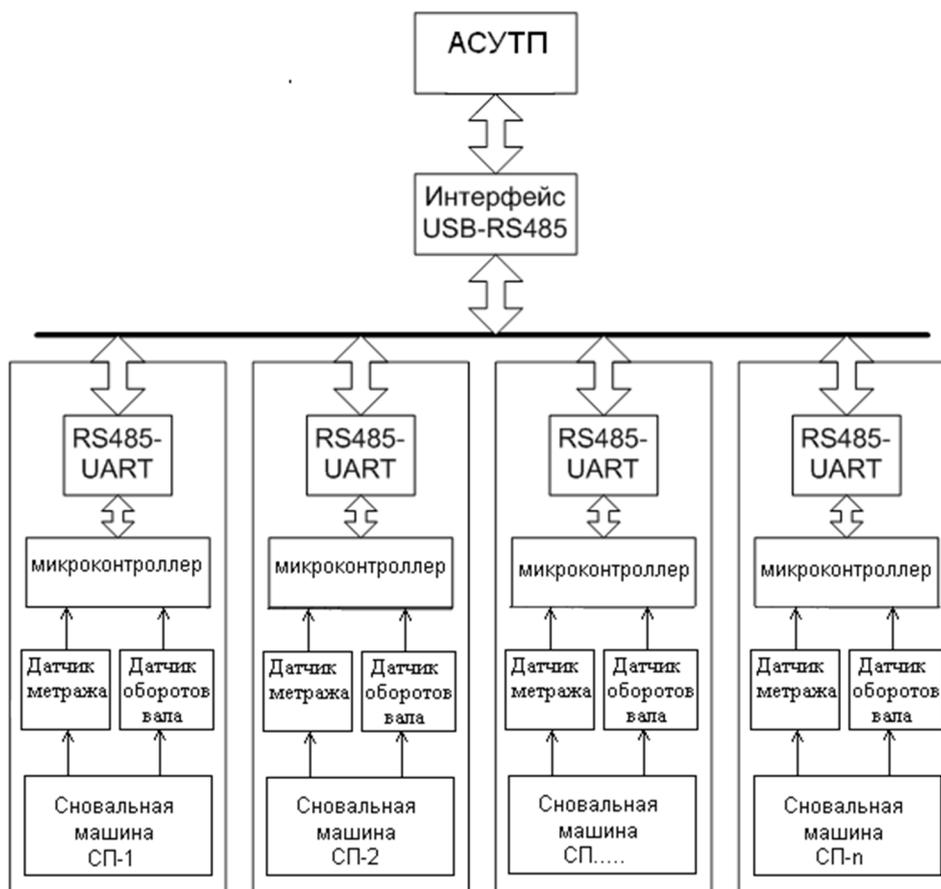


Рис. 4.11. Функциональная схема части АСУ ТП preparительного отдела ткацкого производства

В условиях функционирования на предприятии АСУ ТП, когда парк партионных сновальных машин уже оснащен микропроцессорными системами управления, а информация о кинематических параметрах процесса может быть получена путем дооснащения партионной сновальной машины соответствующими энкодерами, реализация предложенной методики становится экономически выгодной с приемлемыми сроками окупаемости затрат.

#### Выводы по главе 4

Идентификация напряженно-деформированного состояния паковки партионного снования на основе закономерности изменения радиуса намотки затруднительна из-за низкой точности измерения параметра.

Предложено использовать коэффициент приращения длины нитей в слое для идентификации напряженно-деформированного состояния сновальной паковки.

Получены теоретические зависимости коэффициента приращения длины нитей в слое от числа оборотов паковки, обеспечивающие неизменность объемной плотности намотки.

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.

Результаты экспериментальных исследований в условиях производства подтвердили достоверность полученных теоретических выводов и разработанной методики формирования партии сновальных валов для шлихтовальной машины.

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 %.

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.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

### **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 путем 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 преобладающее 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 разнотолщинности 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 разнотолщинности 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 %.

10. 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.

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

Методику формирования партии сновальных валов для шлихтовальной машины на основе идентифицированных с помощью микропроцессорной системы кинематических параметров и установления закономерности изменения коэффициента нарастания длины нитей в слое 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.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Малафеев, Р.М. Машины текстильного производства: учебное пособие для вузов / Р.М. Малафеев, Ф.Ф. Светик. – М.: Знание, Машиностроение, 2002. – 495 с.
2. Кулида, Н.А. Теоретические основы повышения эффективности партионного снования / Н.А. Кулида. – Иваново: ИГТА, 2003. – 268 с.
3. Ефремов, Е.Д. Взаимодействие нитей с мерильным валиком на сновальной машине / Е.Д. Ефремов, В.А. Врублевский, В.В. Рогозин, В.Е. Ефремов // Изв. вузов. Технология текст. пром-сти. – 1981. – № 2. – С. 49 – 51.
4. Кулида, Н.А. Оценка погрешности измерения длины нитей на сновальной машине в динамических режимах. Сообщение 1 / Н.А. Кулида, Б.Н. Гусев // Изв. вузов. Технология текст. пром-сти. – 1996. – № 1. – С. 41 – 44.
5. Кулида, Н.А. Оценка погрешности измерения длины нитей на сновальной машине в динамических режимах. Сообщение 2 / Н.А. Кулида, Б.Н. Гусев // Изв. вузов. Технология текст. пром-сти. – 1996. – № 3. – С. 35 – 38.
6. Фейгин, Н. Я. Новый прибор для контроля длины нити в сновании // Текст. пром-сть. – 1989. – № 8. – С. 64 – 65.
7. Perfect warp beams all along the line // Benninger AG. – Uzwil Schweiz, 2000.
8. Развитие сновальных машин // <http://37tt.ru/index.php/article/53-snovrazv.html>.
9. Назарова, М.В. Сравнительный анализ эффективности снования хлопчатобумажных нитей на сновальных машинах различных конструкций / М.В. Назарова, Л.Б. Трифонова // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2015. – № 1. – С. 12 – 15.
10. Назарова, М.В. Выбор оптимального метода моделирования технологического процесса снования при экспериментальном исследовании

выработки ткани полотняного переплетения / М.В. Назарова, В.Ю. Романов // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2014. – № 9, ч. 3. – С.13 – 17.

11. Кулида, Н.А. Повышение точности измерения длины текстильных материалов / Н.А. Кулида // Состояние и проблемы технических измерений: тез. докл. IV Всероссийской науч.-техн. конф. – М., 1997. – С.47 – 48.

12. CLEANVAC. Dust and fly reduced to the bare minimum // [www.benninger-group.com](http://www.benninger-group.com).

13. FILACCU for back beams without lost ends // [www.benninger-group.com](http://www.benninger-group.com).

14. Снование пряжи // <http://37tt.ru/index.php/article/48-snovka.html?start=1>.

15. Кулида, Н.А. Косвенные измерения параметров намотки пряжи на партионной сновальной машине / Н.А. Кулида, Л.В. Линькова, А.Н. Кулида // Изв. вузов. Технология текст. пром-сти. – 2006. – № 6. – С. 103.

16. Кутьин, А.Ю. Новая безотходная технология формирования ткацкого навоя высокого качества / А.Ю. Кутьин, Ю.К. Кутьин, В.Л. Маховер // Изв. вузов. Технология текст. пром-сти. – 2005. – № 3. – С. 43 – 45.

17. Глазунов, В.Ф. О построении асинхронного электропривода механизмов намотки сновальных валов / В.Ф. Глазунов // Изв. вузов. Технология текст. пром-сти. – 2014. – № 6. – С. 95 – 98.

18. Глазунов, В.Ф. Математическое моделирование процессов деформации основы и нити в системе электропривода механизма сновального вала / В.Ф. Глазунов, К.С. Шишков // Изв. вузов. Технология текст. пром-сти. – 2012. – № 6. – С. 143 – 147.

19. Глазунов, В.Ф. Влияние вариации параметров намотки на электропривод механизма сновального вала / В.Ф. Глазунов, К.С. Шишков // Изв. вузов. Технология текст. пром-сти. – 2012. – № 1. – С. 111 – 115.

20. Глазунов, В.Ф. Минимизация потерь мощности в асинхронном электроприводе механизма намотки сновальных валов / В.Ф. Глазунов,

К.С. Шишков // Изв. вузов. Технология текст. пром-сти. – 2012. – № 2. – С. 129 – 133.

21. Макаров, А.А. Система управления тормозом сновального вала партионной сновальной машины / А.А. Макаров, В.В. Губин // Изв. вузов. Технология текст. пром-сти. – 2005. – № 2. – С. 91 – 95.

22. Кулида, Н.А. Повышение эффективности подготовки основных нитей к ткачеству в партионном сновании: дис. ... д-ра техн. наук / Кулида Николай Алексеевич. – Иваново, 2004. – 368 с.

23. Гусев, Б.Н. Определение оптимальной скорости снования пряжи / Б.Н. Гусев, Л.М. Морозова, Н.В. Евсеева, Б.И. Минц // Изв. вузов. Технология текст. пром-сти. – 1986. – № 6. – С. 39 – 42.

24. Маховер, В.Л. К вопросу определения оптимальной скорости снования / В.Л. Маховер // Изв. вузов. Технология текст. пром-сти. – 1993. – № 5. – С. 30 – 34.

25. Кутьин, Ю.К. Управление процессом формирования намотки в партионном сновании / Ю.К. Кутьин, В.Ф. Глазунов // Текст. пром-сть. – 1991. – № 1. – С. 39 – 40.

26. Ульянов, В.И. Экспериментальное исследование процесса формирования рулона ткани / В.И. Ульянов // Изв. вузов. Технология текст. пром-сти. – 1968. – № 4.

27. Степанов, В.А. Экспериментальное определение давления нитей на основание паковки / В.А. Степанов, А.П. Саввин // Изв. вузов. Технология текст. пром-сти. – 1970. – № 4.

28. Степанов, В.А. Экспериментальное определение радиальных давлений и перемещений в цилиндрических текстильных паковках / В.А. Степанов, Т.М. Гуревич // Изв. вузов. Технология текст. пром-сти. – 1976. – № 3. – С. 130 – 132.

29. 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.

30. 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.

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

32. 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.

33. Измерения в электронике: справочник / В.А. Кузнецов, В.А. Долгов, В.М. Коневских [и др.]; под ред. В.А. Кузнецова. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 512 с.

34. Гордеев, В.А. Расчет паковок рулонного типа на основе кинематических параметров наматывания / В.А. Гордеев, И.И. Вайнер, Ю.В. Ерошкин // Изв. вузов. Технология текст. пром-сти. – 1988. – № 1. – С. 29 – 32.

35. Сухарев, В.А. Расчет тел намотки / В.А. Сухарев, И.И. Матюшев. – М.: Машиностроение, 1982. – 136 с.

36. Кутьин, Ю.К. Малоотходная технология формирования ткацкого навоя / Ю.К. Кутьин, А.Ю. Кутьин, Н.И. Генварев, Н.О. Кавин // Текст. пром-сть. – 1998. – № 4. – С. 35 – 36.

37. Кутьин, А.Ю. Экономическая эффективность малоотходной технологии формирования ткацкого навоя / А.Ю. Кутьин, Ю.К. Кутьин, А.А. Латышев // Текст. пром-сть. – 1999. – № 11 – 12. – С. 29 – 31.

38. Кутьин, А.Ю. Необходимые и достаточные условия для формирования намотки с постоянной плотностью в партионном сновании / А.Ю. Кутьин, Ю.К. Кутьин // Изв. вузов. Технология текст. пром-сти. – 2005. – № 1. – С. 49 – 53.

39. 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.

40. 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.

41. 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 междунар. науч.-техн. конф. – Иваново: ИВГПУ, 2013. – Ч. 2. – С. 203 – 204.

42. МИ 2083-90 ГСИ. Измерения косвенные. Определение результатов измерений и оценивание их погрешностей.

43. Рабинович, С.Г. Погрешности измерений / С.Г. Рабинович. – Л.: Энергия, 1978. – 262 с.

44. 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.

45. 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.

46. Справочник по хлопкоткачеству / Э.А. Оников, П.Т. Букаев, А.П. Алленова [и др.]; под общей ред. Э.А. Оникова. – М.: Легкая индустрия, 1979. – 487 с.

47. Ефремов, Е.Д. Технологический процесс снования пряжи в текстильном производстве / Е.Д. Ефремов, А.М. Кислякова, Г.К. Попова. – Ярославль, 1977. – 240 с.

48. Налетов, В.В. Зависимость между деформацией и усилием в текстильных материалах в условиях кратковременных нагрузжений / В.В. Налетов // Изв. вузов. Технология текст. пром-сти. – 1975. – № 4. – С. 20 – 24.

49. 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): сб-к матер. межвуз. науч.-техн. конф. аспирантов и студентов. – Иваново: ИГТА, 2011. – Ч. 2. – С. 40 – 41.

50. 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.

51. Тягунов, В.А. Математические модели определения длины пряжи на навое / В.А. Тягунов, Т.П. Сторц // Изв. вузов. Технология текст. пром-сти. – 1990. – № 2.

52. Тягунов, В.А. Параметры формирования ткацкого навоя / В.А. Тягунов // Изв. вузов. Технология текст. пром-сти. – 1987. – № 2. – С. 52 – 54.

53. Кулида, Н.А. Обеспечение контакта измерительного ролика с поверхностью сновального вала / Н.А. Кулида, А.В. Круглов // Изв. вузов. Технология текст. пром-сти. – 2014. – № 3. – С. 88 – 92.

54. 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.

55. 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. – Опубл.20.06.2013. Бюл. № 17.

56. 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 межвуз. науч.-техн. конф. аспирантов и студентов. – Иваново: ИГТА, 2012. – Ч. 2. – С. 4 – 5.

57. 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 межвуз. науч.-техн. конф. аспирантов и студентов. – Иваново: ИВГПУ, 2013. – Ч. 2. – С. 21 – 22.

58. 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 междунар. науч.-техн. конф. – Иваново: ИВГПУ, 2014. – С. 283 – 285.

59. 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 междунар. науч.-техн. конф. – Иваново: ИВГПУ, 2015. – С. 820 – 826.

60. Кулида, Н.А. Обоснование выбора периода квантования при измерениях кинематических параметров партионного снования / Н.А.

Кулида, А.В. Круглов, Т.Ю. Карева // Изв. вузов. Технология текст. пром-сти. – 2013. – № 6. – С. 91 – 94.

61. Ефремов, Е.Д. Характеристики намотки нитей на сновальном валу / Е.Д. Ефремов // Изв. вузов. Технология текст. пром-сти. – 1988. – № 1. – С. 32 – 35.

62. Кленов, В.Б. Математическая модель процесса формирования паковок рулонного типа / В.Б. Кленов // Изв. вузов. Технология текст. пром-сти. – 1973. – № 1. – С. 124 – 127.

63. Тягунов, В.А. Методика определения плотности намотки пряжи на ткацких паковках / В.А. Тягунов // Изв. вузов. Технология текст. пром-сти. – 1987. – № 5. – С. 51 – 53.

64. Кутьин, А.Ю. О моделировании процесса формирования цилиндрических паковок рулонного типа / А.Ю. Кутьин, Ю.К. Кутьин // Изв. вузов. Технология текст. пром-сти. – 2001. – № 2. – С. 113 – 118.

65. Корн, Г. Справочник по математике (для научных работников и инженеров) / Г. Корн, Т. Корн. – М.: Наука, 1973. – 832 с.

66. Кулида, Н.А. 3D модели формы паковки партионного снования / Н.А. Кулида, А.В. Круглов // Изв. вузов. Технология текст. пром-сти. – 2015. – № 2. – С. 59 – 64.

67. 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.

68. 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.

69. Халафян, А.А. Statistica 6. Статистический анализ данных: учебник. – 3-е изд. – М.: Бином-Пресс, 2007. – 512 с.: ил.

70. 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.

## ПРОГРАММНЫЙ КОД КОНТРОЛЛЕРА

Код программы обработки результатов мониторинга:

```

Project :
Version :
Date :
Author : Демидов Н.А.
Chip type      : ATmega16
Program type   : Application
AVR Core Clock frequency: 11,059200 MHz
Memory model   : Small
External RAM size : 0
Data Stack size : 512
*****/
#include <mega32.h>
// Standard Input/Output functions/стандартные функции ввода вывода
#include <stdio.h>
#include <delay.h>
unsigned long int metr;//переменная метров
unsigned int n_ob;//переменная оборотов вала
unsigned int radius;//переменная радиуса
unsigned int speed;//переменная скорости
unsigned long int p_metr;
unsigned int p_radius;
unsigned int p_n_ob;
unsigned char n;
unsigned int data_p_n_ob[100];
unsigned int data_p_radius[100];
unsigned long int data_p_metr[100];

// Timer 0 output compare interrupt service routine
interrupt [TIM0_COMP] void timer0_comp_isr(void)
{
// Place your code here
metr++;
}

// Timer1 output compare A interrupt service routine
interrupt [TIM1_COMPA] void timer1_compa_isr(void)
{
p_n_ob+=0xC8;
p_metr=metr;
p_radius=radius;
data_p_n_ob[n]=p_n_ob;
data_p_radius[n]=p_radius;
data_p_metr[n]=p_metr;
n++;
}

```

```

TCNT1H=0x00;
TCNT1L=0x00;
}
void cler(void) // обнуление датчика радиуса
{
    PORTA.5=0;
    delay_ms(100);
    PORTA.5=1;
};

void ssi(void)// подпрограмма считывания данных по протоколу ssi
{
    char s;
    char i;
    for (s=0;s<24;s++)
    {
        PORTA.3=0;
        delay_us(2);
        PORTA.3=1;
        delay_us(1);
        i=PINA.4;
        radius=((radius<<1)+i);
    }
    radius&=0x03FF;

};

void speed_1(void) // п.п измерение скорости
{
    unsigned int speeda;
    unsigned int speedb;
    speed=0;
    speeda=metr;
    delay_ms(1000);
    speedb=metr;
    speed=((speedb-speeda)*6);
};

void main(void)
{
    // Declare your local variables here
    char k;
    // Input/Output Ports initialization инициализация портов
    // Port A initialization
    // Func7=In Func6=In Func5=Out Func4=In Func3=Out Func2=In Func1=In Func0=In
    // State7=P State6=P State5=1 State4=P State3=1 State2=P State1=P State0=P
    PORTA=0xFF;
    DDRA=0x28;

    // Port B initialization
    // Func7=In Func6=In Func5=In Func4=In Func3=In Func2=In Func1=In Func0=In

```

```

// State7=T State6=T State5=T State4=T State3=T State2=T State1=P State0=P
PORTB=0x03;
DDRB=0x00;

// Port C initialization
// Func7=In Func6=In Func5=In Func4=In Func3=In Func2=In Func1=In Func0=In
// State7=T State6=T State5=T State4=T State3=T State2=T State1=T State0=T
PORTC=0x00;
DDRC=0x00;

// Port D initialization
// Func7=In Func6=In Func5=In Func4=In Func3=In Func2=In Func1=Out Func0=In
// State7=T State6=T State5=T State4=T State3=T State2=T State1=1 State0=P
PORTD=0x03;
DDRD=0x02;

// Timer/Counter 0 initialization таймер0
// Clock source: T0 pin Falling Edge
// Mode: CTC top=OCR0
// OC0 output: Disconnected
TCCR0=0x0E;
TCNT0=0x00;
OCR0=0x09;

// Timer/Counter 1 initialization таймер1
// Clock source: T1 pin Falling Edge
// Mode: CTC top=OCR1A
// OC1A output: Discon.
// OC1B output: Discon.
// Noise Canceler: Off
// Input Capture on Falling Edge
// Timer1 Overflow Interrupt: Off
// Input Capture Interrupt: Off
// Compare A Match Interrupt: On
// Compare B Match Interrupt: Off
TCCR1A=0x00;
TCCR1B=0x0E;
TCNT1H=0x00;
TCNT1L=0x00;
ICR1H=0x00;
ICR1L=0x00;
OCR1AH=0x00;
OCR1AL=0xC8;
OCR1BH=0x00;
OCR1BL=0x00;

// Timer/Counter 2 initialization таймер2
// Clock source: System Clock
// Clock value: Timer2 Stopped
// Mode: Normal top=0xFF
// OC2 output: Disconnected

```

```

ASSR=0x00;
TCCR2=0x00;
TCNT2=0x00;
OCR2=0x00;

// External Interrupt(s) initialization прерывания
// INT0: Off
// INT1: Off
// INT2: Off
MCUCR=0x00;
MCUCSR=0x00;

// Timer(s)/Counter(s) Interrupt(s) initialization
TIMSK=0x12;

// USART initialization связь с компьютером.
// Communication Parameters: 8 Data, 1 Stop, No Parity
// USART Receiver: On
// USART Transmitter: On
// USART Mode: Asynchronous
// USART Baud Rate: 115200
UCSRA=0x00;
UCSRB=0x18;
UCSRC=0x86;
UBRRH=0x00;
UBRRL=0x05;

// Analog Comparator initialization
// Analog Comparator: Off
// Analog Comparator Input Capture by Timer/Counter 1: Off
ACSR=0x80;
SFIOR=0x00;

// ADC initialization
// ADC disabled
ADCSRA=0x00;

// SPI initialization
// SPI disabled
SPCR=0x00;

// TWI initialization
// TWI disabled
TWCR=0x00;

// Global enable interrupts
#asm("sei")
clr();
delay_ms(2000);
while (1)
    {

```

```

n_ob=TCNT1;
speed_1();
ssi();
k=getchar();
if(k=='1') // если с компьютера пришла 1, то выдать мгновенные показания
{
//ssi();
printf("ДЛИНА=%u.%u м.\r\n",metr/10,metr%10);
printf("СКОРОСТЬ=%u м/м.\r\n",speed);
printf("РАДИУС=%u мм.\r\n",radius);
printf("ОБОРОТЫ ВАЛА=%u \r\n",(n_ob+=p_n_ob));
};
if(k=='2') // если 2, то обнулить данные
{
metr=0;
TCNT1=0;
cler();
n_ob=0;
p_metr=0;
p_radius=0;
p_n_ob=0;
n=0;
}
if(k=='3') // если 3, то выдать данные по валу
{
unsigned char x;
printf("ОБОРОТЫ РАДИУС ДЛИНА\r\n");
for(x=0;x<n;x++)
{

printf("%6u.%8u.%8u.%u\r\n",data_p_n_ob[x],data_p_radius[x],data_p_metr[x]/10,data_p_metr
[x]%10);
};
};
}
}

```

## РЕЗУЛЬТАТЫ МОНИТОРИНГА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ СНОВАЛЬНЫХ ВАЛОВ

Таблица Б.1. Результаты мониторинга экспериментального сновального вала № 1

ВАЛ 1 Время 12:14 Дата 18.10.2012, пряжа 54, кол-во нитей 440, вес пряжи 177кг								
Количество оборотов вала, n	Толщина намотки, мм	Длина, м	Радиус намотки, м	Плотность намотки, кг/м <sup>3</sup>	Приращение радиуса намотки, м	Коэффициент нарастания толщины намотки, м/об.	Приращение длины нитей в слое, м	Коэффициент приращения длины в слое, м/об.
400	7,1	308,8	0,1271	325,76				
800	10,6	634,1	0,1306	441,79	0,0035	8,75E-06	325,3	0,81325
1200	16,4	969,4	0,1364	426,66	0,0058	0,0000145	335,3	0,83825
1600	21,2	1315	0,1412	439,50	0,0048	0,000012	345,6	0,864
2000	26,6	1672,4	0,1466	436,46	0,0054	0,0000135	357,4	0,8935
2400	31,7	2045,9	0,1517	439,62	0,0051	0,00001275	373,5	0,93375
2800	35,8	2427,3	0,1558	454,98	0,0041	0,00001025	381,4	0,9535
3200	40,3	2820,9	0,1603	462,17	0,0045	0,00001125	393,6	0,984
3600	46,4	3227,3	0,1664	449,46	0,0061	0,00001525	406,4	1,016
4000	52,1	3646	0,1721	443,40	0,0057	0,00001425	418,7	1,04675
4400	56,8	4076,3	0,1768	447,51	0,0047	0,00001175	430,3	1,07575
4800	62,4	4517,6	0,1824	443,08	0,0056	1,4E-05	441,3	1,10325
5200	65,3	4970,9	0,1853	461,47	0,0029	7,25E-06	453,3	1,13325
5600	72,5	5436,6	0,1925	444,10	0,0072	0,000018	465,7	1,16425
6000	74,9	5913,7	0,1949	464,03	0,0024	6E-06	477,1	1,19275
6400	79,3	6402,8	0,1993	468,00	0,0044	1,1E-05	489,1	1,22275
6800	84,2	6907,9	0,2042	468,35	0,0049	0,00001225	505,1	1,26275
7200	89,5	7420,6	0,2095	465,70	0,0053	0,00001325	512,7	1,28175

ВАЛ 1 Время 12:14 Дата 18.10.2012, пряжа 54, кол-во нитей 440, вес пряжи 177кг								
Количество оборотов вала, n	Толщина намотки, мм	Длина, м	Радиус намотки, м	Плотность намотки, кг/м <sup>3</sup>	Приращение радиуса намотки, м	Коэффициент нарастания толщины намотки, м/об.	Приращение длины нитей в слое, м	Коэффициент приращения длины в слое, м/об.
7600	94,4	7944,6	0,2144	465,78	0,0049	0,00001225	524	1,31
8000	98,9	8485,9	0,2189	468,57	0,0045	1,125E-05	541,3	1,35325
8400	103,7	9033,4	0,2237	469,07	0,0048	1,2E-05	547,5	1,36875
8800	109,3	9598,8	0,2293	465,31	0,0056	0,000014	565,4	1,4135
9200	113,9	10170,8	0,2339	466,98	0,0046	0,0000115	572	1,43
9600	118,4	10754,6	0,2384	469,05	0,0045	0,00001125	583,8	1,4595
10000	123,2	11355,8	0,2432	469,68	0,0048	0,000012	601,2	1,503
10400	128,4	11963,2	0,2484	468,07	0,0052	0,000013	607,4	1,5185
10800	133,0	12590,5	0,253	469,71	0,0046	0,0000115	627,3	1,56825
11200	137,6	13231	0,2576	471,29	0,0046	0,0000115	640,5	1,60125
11600	142,6	13882,8	0,2626	470,93	0,005	0,0000125	651,8	1,6295
12000	147,4	14553,2	0,2674	471,68	0,0048	1,2E-05	670,4	1,676
12400	152,0	15221,2	0,272	472,79	0,0046	1,15E-05	668	1,67
12800	156,9	15910,4	0,2769	472,85	0,0049	0,00001225	689,2	1,723
13200	161,5	16607,4	0,2815	474,01	0,0046	1,15E-05	697	1,7425
13600	166,3	17313,4	0,2863	474,23	0,0048	1,2E-05	706	1,765
14000	172,1	18041,1	0,2921	470,79	0,0058	1,45E-05	727,7	1,81925
14400	176,2	18782	0,2962	474,00	0,0041	0,00001025	740,9	1,85225
14800	180,6	19526,2	0,3006	475,75	0,0044	1,1E-05	744,2	1,8605
15200	185,2	20287,3	0,3052	476,80	0,0046	0,0000115	761,1	1,90275
15600	189,9	21051,1	0,3099	477,23	0,0047	1,175E-05	763,8	1,9095
15866	193,1	21581	0,3131	477,58	0,0032	8E-06	529,9	1,32475
Итого по счетчику машины 21500								

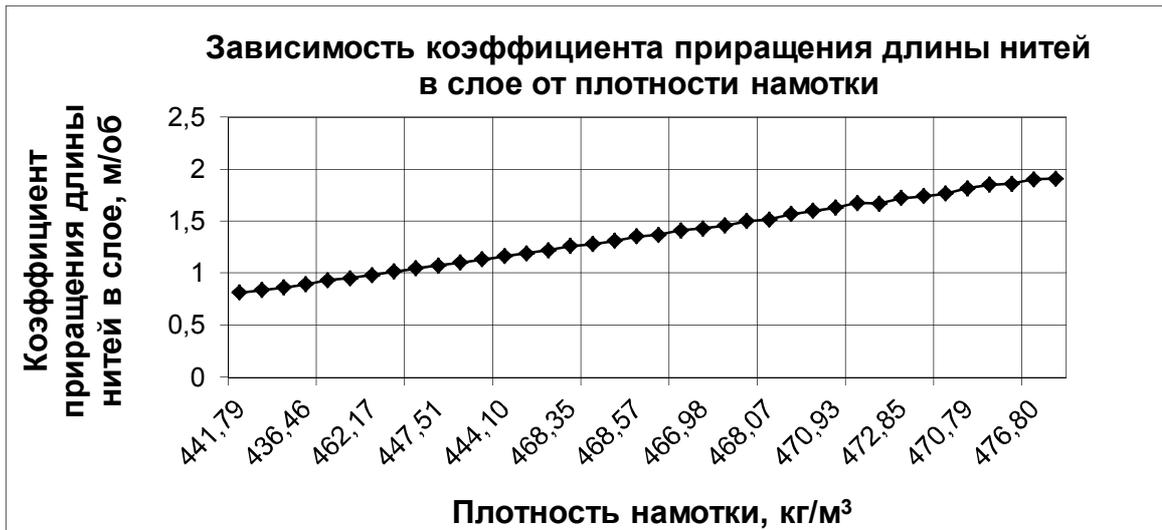


Рис. Б.1. Результаты обработки экспериментальных данных мониторинга вала № 1

Таблица Б.2. Результаты мониторинга экспериментального сновального вала № 2

ВАЛ 2 Время 16:41 Дата 18.10.2012, пряжа 54, кол-во нитей 440, вес пряжи 177кг								
Количество оборотов вала, n	Толщина намотки, мм	Длина, м	Радиус намотки, м	Плотность намотки, кг/м <sup>3</sup>	Приращение радиуса намотки, м	Коэффициент нарастания толщины намотки, м/об.	Приращение длины нитей в слое, м	Коэффициент приращения длины в слое, м/об.
400	6,2	308,9	0,1262	374,53				
800	12	631,8	0,132	386,67	0,0058	0,0000145	322,9	0,80725
1200	16	967,5	0,136	437,16	0,004	0,00001	335,7	0,83925
1600	23	1315,9	0,143	402,61	0,007	1,75E-05	348,4	0,871
2000	25,6	1675,7	0,1456	456,11	0,0026	6,5E-06	359,8	0,8995
2400	31,5	2046,7	0,1515	442,91	0,0059	0,00001475	371	0,9275
2800	35,6	2429,5	0,1556	458,28	0,0041	0,00001025	382,8	0,957
3200	42	2823,8	0,162	441,25	0,0064	0,000016	394,3	0,98575
3600	45,3	3230,2	0,1653	462,57	0,0033	8,25E-06	406,4	1,016
4000	51	3646,7	0,171	454,76	0,0057	0,00001425	416,5	1,04125
4400	55,3	4075,1	0,1753	461,84	0,0043	0,00001075	428,4	1,071
4800	59,8	4515,5	0,1798	466,14	0,0045	0,00001125	440,4	1,101
5200	63,7	4967	0,1837	475,18	0,0039	9,75E-06	451,5	1,12875
5600	69,2	5430,7	0,1892	469,74	0,0055	1,375E-05	463,7	1,15925
6000	73,1	5905,9	0,1931	477,56	0,0039	9,75E-06	475,2	1,188
6400	78,4	6393,1	0,1984	473,99	0,0053	1,325E-05	487,2	1,218
6800	83,5	6891,9	0,2035	472,20	0,0051	0,00001275	498,8	1,247
7200	88	7402,4	0,208	474,64	0,0045	1,125E-05	510,5	1,27625
7600	92,7	7924,3	0,2127	475,53	0,0047	0,00001175	521,9	1,30475
8000	97,1	8457,9	0,2171	478,22	0,0044	0,000011	533,6	1,334
8400	100,5	9003,1	0,2205	486,92	0,0034	8,5E-06	545,2	1,363
8800	106,4	9559,9	0,2264	480,04	0,0059	0,00001475	556,8	1,392
9200	110	10128,5	0,23	486,89	0,0036	9E-06	568,6	1,4215

ВАЛ 2 Время 16:41 Дата 18.10.2012, пряжа 54, кол-во нитей 440, вес пряжи 177кг								
Количество оборотов вала, п	Толщина намотки, мм	Длина, м	Радиус намотки, м	Плотность намотки, кг/м <sup>3</sup>	Приращение радиуса намотки, м	Коэффициент нарастания толщины намотки, м/об.	Приращение длины нитей в слое, м	Коэффициент приращения длины в слое, м/об.
9600	115,9	10708,9	0,2359	480,48	0,0059	0,00001475	580,4	1,451
10000	117,5	11301,1	0,2375	497,91	0,0016	4E-06	592,2	1,4805
10400	124,1	11905	0,2441	487,62	0,0066	0,0000165	603,9	1,50975
10800	129,6	12520,5	0,2496	483,76	0,0055	0,00001375	615,5	1,53875
11200	132,8	13147,8	0,2528	491,50	0,0032	8E-06	627,3	1,56825
11600	138,5	13786,8	0,2585	486,74	0,0057	0,00001425	639	1,5975
12000	141,9	14437,8	0,2619	493,08	0,0034	8,5E-06	651	1,6275
12400	148,6	15100,6	0,2686	483,97	0,0067	1,675E-05	662,8	1,657
12800	152	15775,5	0,272	490,00	0,0034	8,5E-06	674,9	1,68725
13200	157,1	16462,3	0,2771	488,38	0,0051	0,00001275	686,8	1,717
13600	161	17161	0,281	491,95	0,0039	9,75E-06	698,7	1,74675
14000	167	17871,8	0,287	486,63	0,006	0,000015	710,8	1,777
14400	171,4	18594,8	0,2914	488,05	0,0044	1,1E-05	723	1,8075
14800	175,8	19329,8	0,2958	489,41	0,0044	0,000011	735	1,8375
15200	179,9	20077,1	0,2999	491,89	0,0041	0,00001025	747,3	1,86825
15600	185	20837,2	0,305	490,48	0,0051	0,00001275	760,1	1,90025
15972	191,5	21549,6	0,3115	482,65	0,0065	0,00001625	712,4	1,781
Итого по счетчику машины 21500								



Рис. Б.2. Результаты обработки экспериментальных данных мониторинга вала № 2

Таблица Б.3. Результаты мониторинга экспериментального сновального вала № 3

ВАЛ 3 Время 17:48 Дата 18.10.2012, пряжа 54, кол-во нитей 440, вес пряжи 178 кг								
Количество оборотов вала, n	Толщина намотки, мм	Длина, м	Радиус намотки, м	Плотность намотки, кг/м <sup>3</sup>	Приращение радиуса намотки, м	Коэффициент нарастания толщины намотки, м/об.	Приращение длины нитей в слое, м	Коэффициент приращения длины в слое, м/об.
400	5,6	311,2	0,1256	418,76				
800	10,6	634,4	0,1306	442,00	0,005	0,0000125	323,2	0,808
1200	16	970,9	0,136	438,69	0,0054	0,0000135	336,5	0,84125
1600	22,2	1318,4	0,1422	419,19	0,0062	0,0000155	347,5	0,86875
2000	25,2	1678,3	0,1452	464,77	0,003	7,5E-06	359,9	0,89975
2400	30,2	2049,7	0,1502	464,88	0,005	0,0000125	371,4	0,9285
2800	35,8	2432,6	0,1558	455,97	0,0056	0,000014	382,9	0,95725
3200	42	2825,4	0,162	441,50	0,0062	0,0000155	392,8	0,982
3600	45,5	3238,8	0,1655	461,44	0,0035	8,75E-06	413,4	1,0335
4000	51,9	3658,6	0,1719	446,95	0,0064	0,000016	419,8	1,0495
4400	56,8	4084,8	0,1768	448,44	0,0049	0,00001225	426,2	1,0655
4800	59,8	4528,3	0,1798	467,46	0,003	7,5E-06	443,5	1,10875
5200	64,8	4981,3	0,1848	466,76	0,005	0,0000125	453	1,1325
5600	69,4	5449,8	0,1894	469,73	0,0046	1,15E-05	468,5	1,17125
6000	74,2	5930,5	0,1942	470,79	0,0048	1,2E-05	480,7	1,20175
6400	79,1	6416,1	0,1991	470,45	0,0049	0,00001225	485,6	1,214
6800	85,7	6919,5	0,2057	458,80	0,0066	0,0000165	503,4	1,2585
7200	89,3	7437,4	0,2093	468,08	0,0036	9E-06	517,9	1,29475
7600	95,1	7968,4	0,2151	462,77	0,0058	0,0000145	531	1,3275
8000	97,8	8529,9	0,2178	477,85	0,0027	6,75E-06	561,5	1,40375
8400	103,4	9139,1	0,2234	476,35	0,0056	0,000014	609,2	1,523
8800	109,1	9750,7	0,2291	473,81	0,0057	0,00001425	611,6	1,529

ВАЛ 3 Время 17:48 Дата 18.10.2012, пряжа 54, кол-во нитей 440, вес пряжи 178 кг

Количество оборотов вала, n	Толщина намотки, мм	Длина, м	Радиус намотки, м	Плотность намотки, кг/м <sup>3</sup>	Приращение радиуса намотки, м	Коэффициент нарастания толщины намотки, м/об.	Приращение длины нитей в слое, м	Коэффициент приращения длины в слое, м/об.
9200	113,9	10398,9	0,2339	477,45	0,0048	1,2E-05	648,2	1,6205
9600	118,2	11079,1	0,2382	484,29	0,0043	0,00001075	680,2	1,7005
10000	123	11726,9	0,243	486,09	0,0048	0,000012	647,8	1,6195
10400	128,7	12443,1	0,2487	485,31	0,0057	0,00001425	716,2	1,7905
10800	134,6	13157,8	0,2546	482,97	0,0059	0,00001475	714,7	1,78675
11200	140,3	13896,1	0,2603	482,01	0,0057	0,00001425	738,3	1,84575
11600	146,1	14630,5	0,2661	480,01	0,0058	1,45E-05	734,4	1,836
12000	151,6	15422,6	0,2716	480,80	0,0055	1,375E-05	792,1	1,98025
12400	157,3	16181,8	0,2773	479,21	0,0057	1,425E-05	759,2	1,898
12800	161,5	17008,4	0,2815	485,46	0,0042	0,0000105	826,6	2,0665
13200	167,9	17880,8	0,2879	483,20	0,0064	0,000016	872,4	2,181
13600	173,9	18775	0,2939	482,76	0,006	0,000015	894,2	2,2355
14000	178,3	19707,9	0,2983	489,04	0,0044	0,000011	932,9	2,33225
14400	186,4	20702,9	0,3064	482,07	0,0081	0,00002025	995	2,4875
14751	190,5	21605,3	0,3105	487,57	0,0041	0,00001025	902,4	2,256
Итого по счетчику машины 21500								

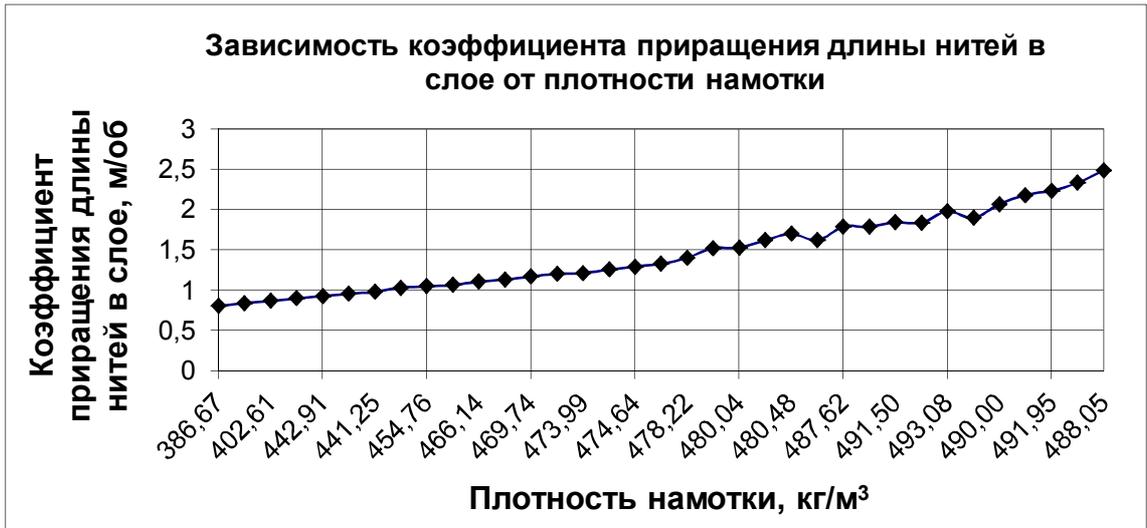


Рис. Б.3. Результаты обработки экспериментальных данных мониторинга вала № 3

Таблица Б.4. Результаты мониторинга экспериментального сновального вала № 4

ВАЛ 4 Время 20:35 Дата 19.10.2012, пряжа 54, кол-во нитей 440, вес пряжи 179 кг								
Количество оборотов вала, n	Толщина намотки, мм	Длина, м	Радиус намотки, м	Плотность намотки, кг/м <sup>3</sup>	Приращение радиуса намотки, м	Коэффициент нарастания толщины намотки, м/об.	Приращение длины нитей в слое, м	Коэффициент приращения длины в слое, м/об.
400	4,9	309,6	0,1249	477,49				
800	9,3	631,2	0,1293	503,86	0,0044	0,000011	321,6	0,804
1200	14,2	965,2	0,1342	494,88	0,0049	0,00001225	334	0,835
1600	19,3	1310,9	0,1393	484,79	0,0051	1,275E-05	345,7	0,86425
2000	23,4	1668,2	0,1434	500,91	0,0041	0,00001025	357,3	0,89325
2400	28	2036,8	0,148	502,34	0,0046	0,0000115	368,6	0,9215
2800	32,9	2416,8	0,1529	498,18	0,0049	0,00001225	380	0,95
3200	36,8	2807,7	0,1568	510,13	0,0039	9,75E-06	390,9	0,97725
3600	41,8	3210,3	0,1618	504,40	0,005	0,0000125	402,6	1,0065
4000	46,4	3625	0,1664	504,85	0,0046	0,0000115	414,7	1,03675
4400	51	4051,4	0,171	505,23	0,0046	0,0000115	426,4	1,066
4800	56,2	4489,5	0,1762	499,14	0,0052	0,000013	438,1	1,09525
5200	60,3	4939	0,1803	504,79	0,0041	0,00001025	449,5	1,12375
5600	65,3	5400,4	0,1853	501,34	0,005	0,0000125	461,4	1,1535
6000	70,1	5873,6	0,1901	500,07	0,0048	0,000012	473,2	1,183
6400	74,7	6358,6	0,1947	500,60	0,0046	0,0000115	485	1,2125
6800	79,1	6855,1	0,1991	502,64	0,0044	0,000011	496,5	1,24125
7200	83,3	7363,2	0,2033	506,01	0,0042	0,0000105	508,1	1,27025
7600	88	7883,1	0,208	505,46	0,0047	0,00001175	519,9	1,29975
8000	92,4	8414,5	0,2124	507,04	0,0044	0,000011	531,4	1,3285
8400	96,9	8957,6	0,2169	507,82	0,0045	1,125E-05	543,1	1,35775
8800	101,6	9512,5	0,2216	507,26	0,0047	0,00001175	554,9	1,38725

ВАЛ 4 Время 20:35 Дата 19.10.2012, пряжа 54, кол-во нитей 440, вес пряжи 179 кг								
Количество оборотов вала, n	Толщина намотки, мм	Длина, м	Радиус намотки, м	Плотность намотки, кг/м <sup>3</sup>	Приращение радиуса намотки, м	Коэффициент нарастания толщины намотки, м/об.	Приращение длины нитей в слое, м	Коэффициент приращения длины в слое, м/об.
9200	105,9	10079	0,2259	509,23	0,0043	0,00001075	566,5	1,41625
9600	110,7	10657,1	0,2307	508,04	0,0048	1,2E-05	578,1	1,44525
10000	114,5	11246,9	0,2345	512,81	0,0038	9,5E-06	589,8	1,4745
10400	119,3	11848,4	0,2393	511,57	0,0048	1,2E-05	601,5	1,50375
10800	124,1	12461,6	0,2441	510,42	0,0048	1,2E-05	613,2	1,533
11200	128,7	13086,6	0,2487	510,41	0,0046	0,0000115	625	1,5625
11600	132,8	13723,2	0,2528	513,01	0,0041	1,025E-05	636,6	1,5915
12000	138,5	14371,7	0,2585	507,39	0,0057	0,00001425	648,5	1,62125
12400	142,9	15031,8	0,2629	508,44	0,0044	0,000011	660,1	1,65025
12800	147,4	15703,7	0,2674	508,97	0,0045	1,125E-05	671,9	1,67975
13200	152,3	16387,4	0,2723	507,62	0,0049	0,00001225	683,7	1,70925
13600	156,2	17083,1	0,2762	510,88	0,0039	9,75E-06	695,7	1,73925
14000	161,3	17790,7	0,2813	508,67	0,0051	0,00001275	707,6	1,769
14400	166,1	18510	0,2861	507,87	0,0048	1,2E-05	719,3	1,79825
14800	170,2	19240,8	0,2902	510,05	0,0041	0,00001025	730,8	1,827
15200	175,1	19983,5	0,2951	508,84	0,0049	0,00001225	742,7	1,85675
15600	179,7	20738	0,2997	508,89	0,0046	1,15E-05	754,5	1,88625
16000	184,3	21504,3	0,3043	508,95	0,0046	1,15E-05	766,3	1,91575
16027	185,2	21560,5	0,3052	506,72	0,0009	2,25E-06	56,2	0,1405
Итого по счетчику машины 21500								

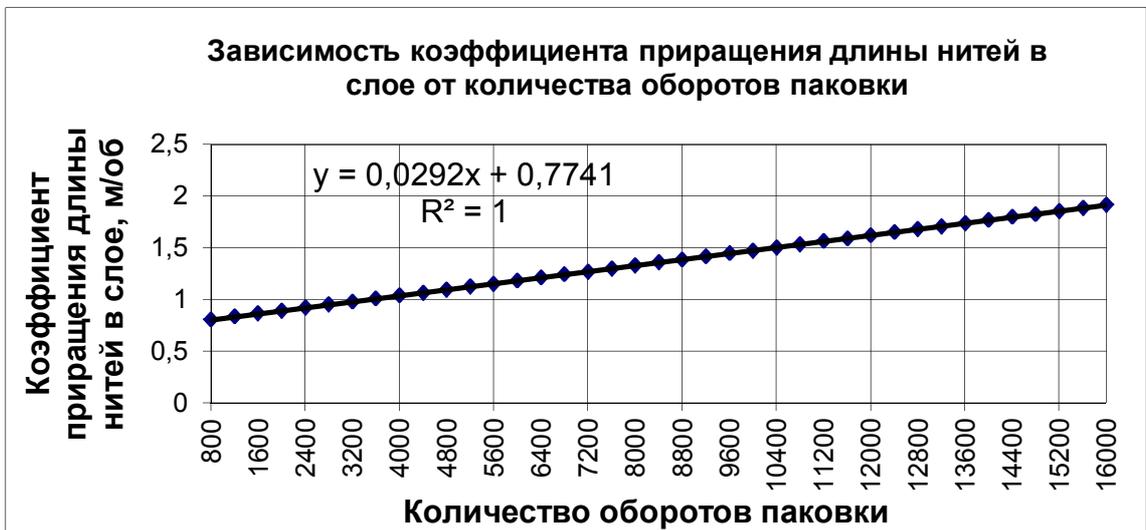
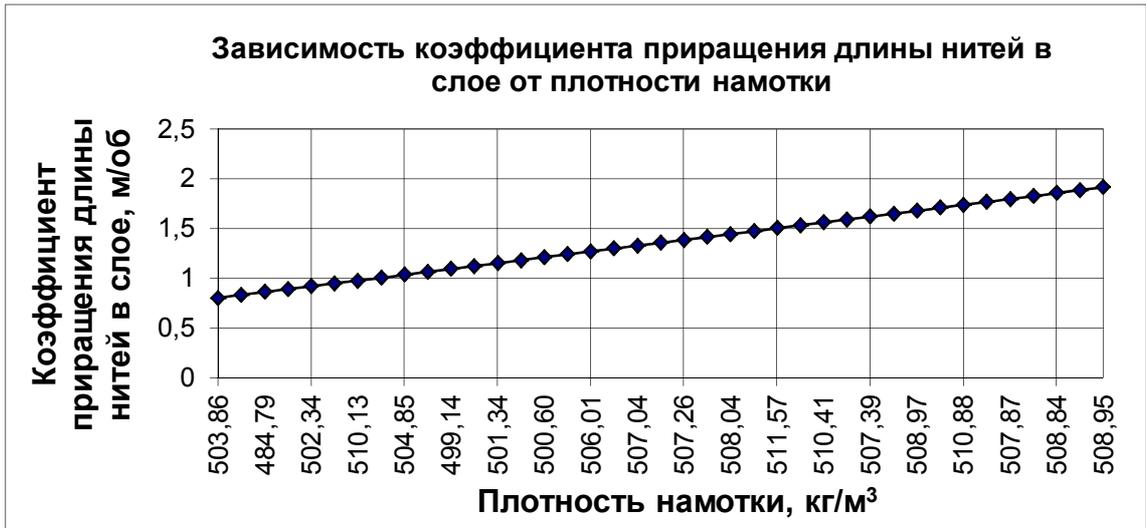


Рис. Б.4. Результаты обработки экспериментальных данных мониторинга вала № 4

Таблица Б.5. Результаты мониторинга экспериментального сновального вала № 5

ВАЛ 5 Время 11:39 Дата 20.10.2012, пряжа 54, кол-во нитей 440, вес пряжи 178 кг								
Количество оборотов вала, n	Толщина намотки, мм	Длина, м	Радиус намотки, м	Плотность намотки, кг/м <sup>3</sup>	Приращение радиуса намотки, м	Коэффициент нарастания толщины намотки, м/об.	Приращение длины нитей в слое, м	Коэффициент приращения длины в слое, м/об.
400	5,4	309,6	0,1254	432,39				
800	10,1	632,6	0,1301	463,49	0,0047	0,00001175	323	0,8075
1200	15,6	968,7	0,1356	449,62	0,0055	0,00001375	336,1	0,84025
1600	19,7	1315,2	0,1397	475,77	0,0041	0,00001025	346,5	0,86625
2000	23,8	1673,6	0,1438	493,34	0,0041	0,00001025	358,4	0,896
2400	28,8	2044,5	0,1488	488,78	0,005	0,0000125	370,9	0,92725
2800	33,9	2427,3	0,1539	483,81	0,0051	0,00001275	382,8	0,957
3200	38,7	2822,1	0,1587	484,25	0,0048	1,2E-05	394,8	0,987
3600	44,3	3228,7	0,1643	474,45	0,0056	0,000014	406,6	1,0165
4000	47,9	3647,9	0,1679	489,57	0,0036	9E-06	419,2	1,048
4400	53	4079,3	0,173	486,17	0,0051	0,00001275	431,4	1,0785
4800	57,3	4523,1	0,1773	491,40	0,0043	0,00001075	443,8	1,1095
5200	62,2	4979,3	0,1822	490,26	0,0049	0,00001225	456,2	1,1405
5600	66,8	5447,9	0,1868	491,97	0,0046	0,0000115	468,6	1,1715
6000	72	5928,9	0,192	488,46	0,0052	0,000013	481	1,2025
6400	77,7	6422,2	0,1977	481,49	0,0057	0,00001425	493,3	1,23325
6800	81,5	6927,5	0,2015	489,31	0,0038	9,5E-06	505,3	1,26325
7200	86,2	7444,8	0,2062	490,01	0,0047	0,00001175	517,3	1,29325
7600	90,6	7974,6	0,2106	492,75	0,0044	0,000011	529,8	1,3245
8000	96,5	8516,2	0,2165	485,38	0,0059	0,00001475	541,6	1,354
8400	100,5	9070	0,2205	490,53	0,004	0,00001	553,8	1,3845
8800	106,4	9636,2	0,2264	483,87	0,0059	0,00001475	566,2	1,4155

ВАЛ 5 Время 11:39 Дата 20.10.2012, пряжа 54, кол-во нитей 440, вес пряжи 178 кг

Количество оборотов вала, п	Толщина намотки, мм	Длина, м	Радиус намотки, м	Плотность намотки, кг/м <sup>3</sup>	Приращение радиуса намотки, м	Коэффициент нарастания толщины намотки, м/об.	Приращение длины нитей в слое, м	Коэффициент приращения длины в слое, м/об.
9200	107,1	10214,7	0,2271	508,54	0,0007	1,75E-06	578,5	1,44625
9600	112,9	10805,4	0,2329	501,93	0,0058	0,0000145	590,7	1,47675
10000	117,7	11408,2	0,2377	501,50	0,0048	0,000012	602,8	1,507
10400	120,9	12023,3	0,2409	509,98	0,0032	8E-06	615,1	1,53775
10800	131,2	12650,6	0,2512	480,75	0,0103	2,575E-05	627,3	1,56825
11200	135,1	13289,9	0,2551	485,36	0,0039	9,75E-06	639,3	1,59825
11600	139,9	13941,5	0,2599	485,48	0,0048	1,2E-05	651,6	1,629
12000	142,9	14605,3	0,2629	494,01	0,003	7,5E-06	663,8	1,6595
12400	146,8	15281,4	0,2668	498,08	0,0039	9,75E-06	676,1	1,69025
12800	153,4	15969,7	0,2734	489,76	0,0066	1,65E-05	688,3	1,72075
13200	158,7	16670,2	0,2787	487,60	0,0053	1,325E-05	700,5	1,75125
13600	163,3	17383	0,2833	488,49	0,0046	1,15E-05	712,8	1,782
14000	167,9	18107,9	0,2879	489,34	0,0046	0,0000115	724,9	1,81225
14400	172,8	18845,2	0,2928	488,95	0,0049	0,00001225	737,3	1,84325
14800	178,1	19594,9	0,2981	487,02	0,0053	1,325E-05	749,7	1,87425
15200	182,9	20356,9	0,3029	487,09	0,0048	1,2E-05	762	1,905
15600	188,2	21131,2	0,3082	485,29	0,0053	1,325E-05	774,3	1,93575
15816	191	21555,2	0,311	484,60	0,0028	7E-06	424	1,06
Итого по счетчику машины 21500								

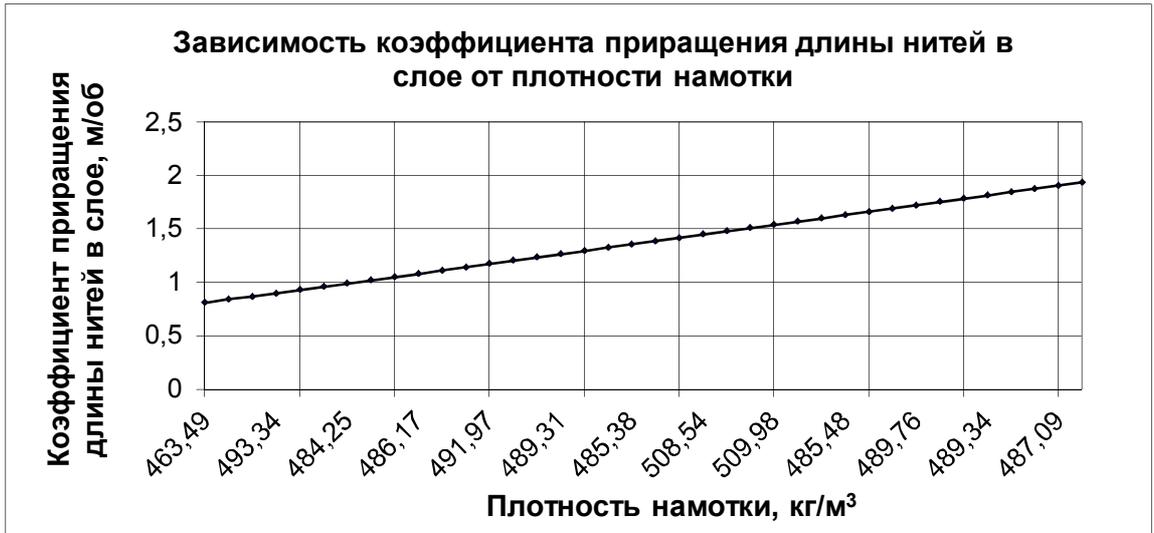


Рис. Б.5. Результаты обработки экспериментальных данных мониторинга вала № 5

Таблица Б.6. Результаты мониторинга экспериментального сновального вала № 6

ВАЛ 6 Время 13:09 Дата 20.10.2012, пряжа 54, кол-во нитей 440, вес пряжи 180 кг								
Количество оборотов вала, n	Толщина намотки, мм	Длина, м	Радиус намотки, м	Плотность намотки, кг/м <sup>3</sup>	Приращение радиуса намотки, м	Коэффициент нарастания толщины намотки, м/об.	Приращение длины нитей в слое, м	Коэффициент приращения длины в слое, м/об.
400	9,9	309,8	0,1299	231,75				
800	12	634,2	0,132	388,14	0,0021	5,25E-06	324,4	0,811
1200	14,8	972,7	0,1348	477,38	0,0028	7E-06	338,5	0,84625
1600	20,7	1321,6	0,1407	453,25	0,0059	0,00001475	348,9	0,87225
2000	25,6	1682,7	0,1456	458,02	0,0049	0,00001225	361,1	0,90275
2400	29,6	2055,8	0,1496	476,78	0,004	0,00001	373,1	0,93275
2800	33,9	2441,4	0,1539	486,62	0,0043	1,075E-05	385,6	0,964
3200	39,3	2839,5	0,1593	478,77	0,0054	0,0000135	398,1	0,99525
3600	43,9	3249,5	0,1639	482,54	0,0046	0,0000115	410	1,025
4000	48,7	3670,7	0,1687	483,19	0,0048	0,000012	421,2	1,053
4400	56	4105,9	0,176	458,43	0,0073	0,00001825	435,2	1,088
4800	60,3	4551,2	0,1803	465,16	0,0043	0,00001075	445,3	1,11325
5200	63,1	5008,6	0,1831	484,67	0,0028	7E-06	457,4	1,1435
5600	67,9	5477	0,1879	484,85	0,0048	1,2E-05	468,4	1,171
6000	72,5	5957,4	0,1925	486,65	0,0046	0,0000115	480,4	1,201
6400	77,5	6449,4	0,1975	485,09	0,005	0,0000125	492	1,23
6800	83,1	6953,3	0,2031	479,29	0,0056	0,000014	503,9	1,25975
7200	86,6	7469	0,2066	488,74	0,0035	8,75E-06	515,7	1,28925
7600	92,7	7997,3	0,2127	479,91	0,0061	0,00001525	528,3	1,32075
8000	99,4	8537,2	0,2194	468,34	0,0067	0,00001675	539,9	1,34975
8400	102,5	9088,6	0,2225	479,14	0,0031	7,75E-06	551,4	1,3785
8800	105,5	9651,7	0,2255	490,06	0,003	7,5E-06	563,1	1,40775

ВАЛ 6 Время 13:09 Дата 20.10.2012, пряжа 54, кол-во нитей 440, вес пряжи 180 кг								
Количество оборотов вала, п	Толщина намотки, мм	Длина, м	Радиус намотки, м	Плотность намотки, кг/м <sup>3</sup>	Приращение радиуса намотки, м	Коэффициент нарастания толщины намотки, м/об.	Приращение длины нитей в слое, м	Коэффициент приращения длины в слое, м/об.
9200	109,3	10226,1	0,2293	495,72	0,0038	9,5E-06	574,4	1,436
9600	114,1	10812,1	0,2341	495,27	0,0048	1,2E-05	586	1,465
10000	119,8	11409,1	0,2398	489,87	0,0057	1,425E-05	597	1,4925
10400	123,2	12017,5	0,2432	497,05	0,0034	8,5E-06	608,4	1,521
10800	131,4	12637,4	0,2514	479,25	0,0082	0,0000205	619,9	1,54975
11200	136,7	13268,3	0,2567	476,87	0,0053	1,325E-05	630,9	1,57725
11600	140,6	13911,2	0,2606	481,12	0,0039	9,75E-06	642,9	1,60725
12000	144,5	14566	0,2645	485,20	0,0039	9,75E-06	654,8	1,637
12400	148,6	15231,2	0,2686	488,16	0,0041	0,00001025	665,2	1,663
12800	154,8	15907,7	0,2748	481,73	0,0062	1,55E-05	676,5	1,69125
13200	160,1	16596,3	0,2801	479,51	0,0053	1,325E-05	688,6	1,7215
13600	165,2	17295,8	0,2852	478,20	0,0051	0,00001275	699,5	1,74875
14000	169,1	18007,3	0,2891	481,75	0,0039	9,75E-06	711,5	1,77875
14400	174,6	18730,5	0,2946	478,87	0,0055	1,375E-05	723,2	1,808
14800	179,7	19464,7	0,2997	477,65	0,0051	0,00001275	734,2	1,8355
15200	184,5	20210,7	0,3045	477,59	0,0048	1,2E-05	746	1,865
15600	188,5	20968,1	0,3085	480,44	0,004	0,00001	757,4	1,8935
15943	191,9	21627,8	0,3119	482,95	0,0034	8,5E-06	659,7	1,64925
Итого по счетчику машины 21500								

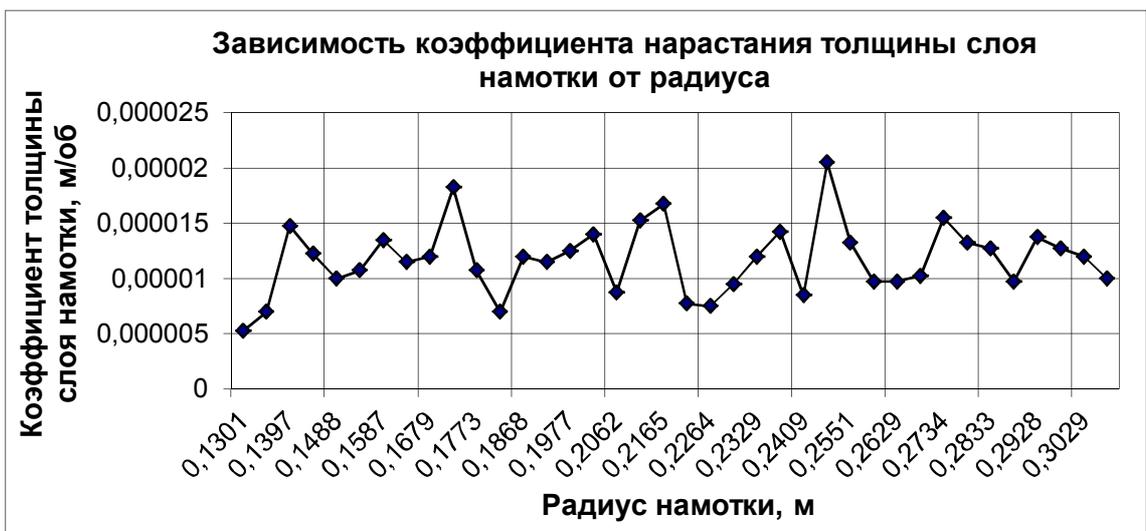
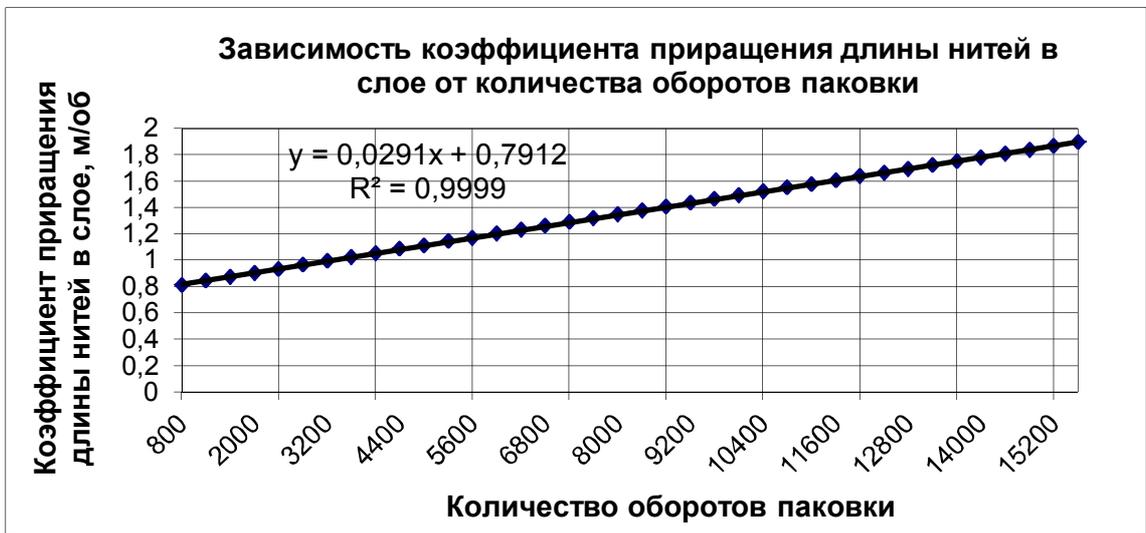
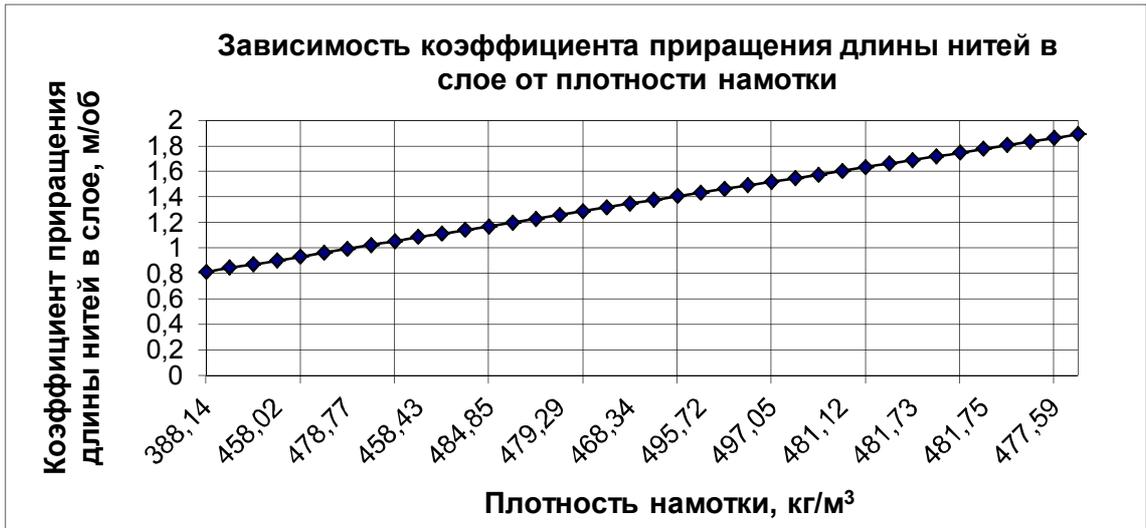


Рис. Б.6. Результаты обработки экспериментальных данных мониторинга вала № 6

Таблица Б.7. Результаты мониторинга экспериментального сновального вала № 7

ВАЛ 7 Время 14:35 Дата 20.10.2012, пряжа 54, кол-во нитей 440, вес пряжи 178 кг								
Количество оборотов вала, n	Толщина намотки, мм	Длина, м	Радиус намотки, м	Плотность намотки, кг/м <sup>3</sup>	Приращение радиуса намотки, м	Коэффициент нарастания толщины намотки, м/об.	Приращение длины нитей в слое, м	Коэффициент приращения длины в слое, м/об.
400	6	307,6	0,126	385,70				
800	11	627,5	0,131	420,62	0,005	0,0000125	319,9	0,79975
1200	15,2	959,1	0,1352	457,60	0,0042	0,0000105	331,6	0,829
1600	20,5	1302,6	0,1405	451,43	0,0053	0,00001325	343,5	0,85875
2000	24,4	1657,9	0,1444	475,61	0,0039	9,75E-06	355,3	0,88825
2400	29,4	2025	0,1494	473,18	0,005	0,0000125	367,1	0,91775
2800	33,9	2404,3	0,1539	479,23	0,0045	1,125E-05	379,3	0,94825
3200	40,1	2795,1	0,1601	460,56	0,0062	0,0000155	390,8	0,977
3600	43,2	3197,8	0,1632	483,75	0,0031	7,75E-06	402,7	1,00675
4000	48,5	3612,1	0,1685	477,77	0,0053	1,325E-05	414,3	1,03575
4400	52,3	4038,3	0,1723	488,89	0,0038	9,5E-06	426,2	1,0655
4800	57,5	4476,7	0,1775	484,34	0,0052	0,000013	438,4	1,096
5200	62	4927	0,182	487,00	0,0045	0,00001125	450,3	1,12575
5600	66,6	5389,4	0,1866	488,47	0,0046	0,0000115	462,4	1,156
6000	71,1	5863,8	0,1911	490,63	0,0045	0,00001125	474,4	1,186
6400	75,8	6349,9	0,1958	490,94	0,0047	0,00001175	486,1	1,21525
6800	80,2	6847,6	0,2002	493,50	0,0044	0,000011	497,7	1,24425
7200	85,5	7357,2	0,2055	489,26	0,0053	1,325E-05	509,6	1,274
7600	90,2	7878,6	0,2102	489,57	0,0047	0,00001175	521,4	1,3035
8000	94,9	8412,1	0,2149	489,86	0,0047	0,00001175	533,5	1,33375
8400	99,2	8957,2	0,2192	492,66	0,0043	0,00001075	545,1	1,36275
8800	104,3	9514,3	0,2243	490,34	0,0051	0,00001275	557,1	1,39275

ВАЛ 7 Время 14:35 Дата 20.10.2012, пряжа 54, кол-во нитей 440, вес пряжи 178 кг

Количество оборотов вала, п	Толщина намотки, мм	Длина, м	Радиус намотки, м	Плотность намотки, кг/м <sup>3</sup>	Приращение радиуса намотки, м	Коэффициент нарастания толщины намотки, м/об.	Приращение длины нитей в слое, м	Коэффициент приращения длины в слое, м/об.
9200	108,2	10083,3	0,2282	495,33	0,0039	9,75E-06	569	1,4225
9600	112,5	10664,2	0,2325	497,69	0,0043	1,075E-05	580,9	1,45225
10000	117,7	11257,1	0,2377	494,85	0,0052	0,000013	592,9	1,48225
10400	121,8	11861,8	0,2418	498,17	0,0041	0,00001025	604,7	1,51175
10800	126,1	12478,6	0,2461	500,26	0,0043	0,00001075	616,8	1,542
11200	133,7	13107,5	0,2537	485,52	0,0076	0,000019	628,9	1,57225
11600	138	13748,4	0,258	487,78	0,0043	1,075E-05	640,9	1,60225
12000	142,9	14401,3	0,2629	487,11	0,0049	0,00001225	652,9	1,63225
12400	145,4	15066,1	0,2654	497,59	0,0025	6,25E-06	664,8	1,662
12800	150,7	15742,9	0,2707	494,85	0,0053	1,325E-05	676,8	1,692
13200	157,1	16431,7	0,2771	487,47	0,0064	0,000016	688,8	1,722
13600	161,5	17132,6	0,2815	489,00	0,0044	1,1E-05	700,9	1,75225
14000	166,1	17845,5	0,2861	489,63	0,0046	1,15E-05	712,9	1,78225
14400	171,9	18570,5	0,2919	485,40	0,0058	1,45E-05	725	1,8125
14800	175,5	19307,5	0,2955	490,03	0,0036	9E-06	737	1,8425
15200	180,6	20056,5	0,3006	488,67	0,0051	0,00001275	749	1,8725
15600	185,5	20817,8	0,3055	488,13	0,0049	0,00001225	761,3	1,90325
15994	190,1	21578,1	0,3101	488,44	0,0046	0,0000115	760,3	1,90075
Итого по счетчику машины 21500								

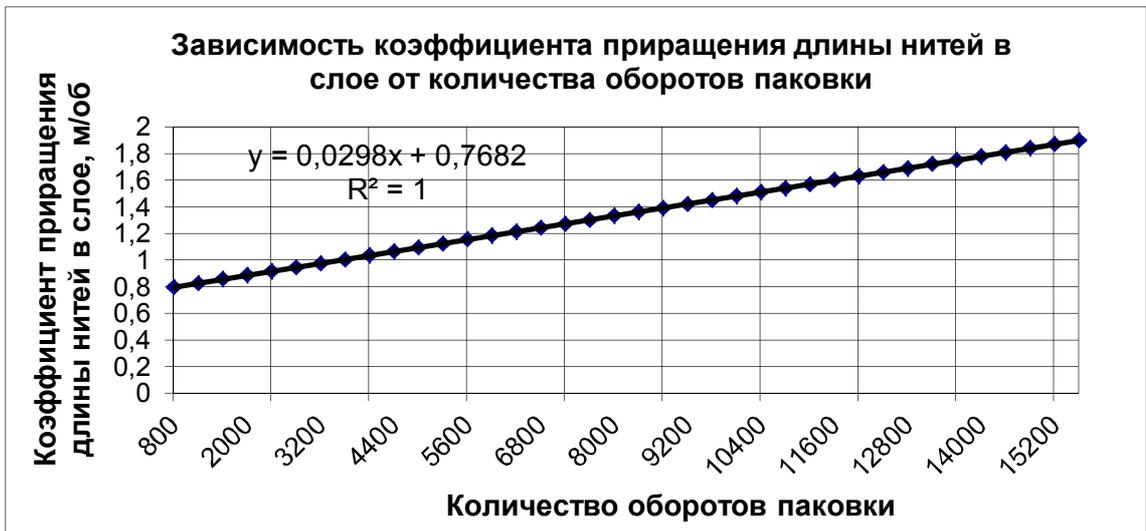
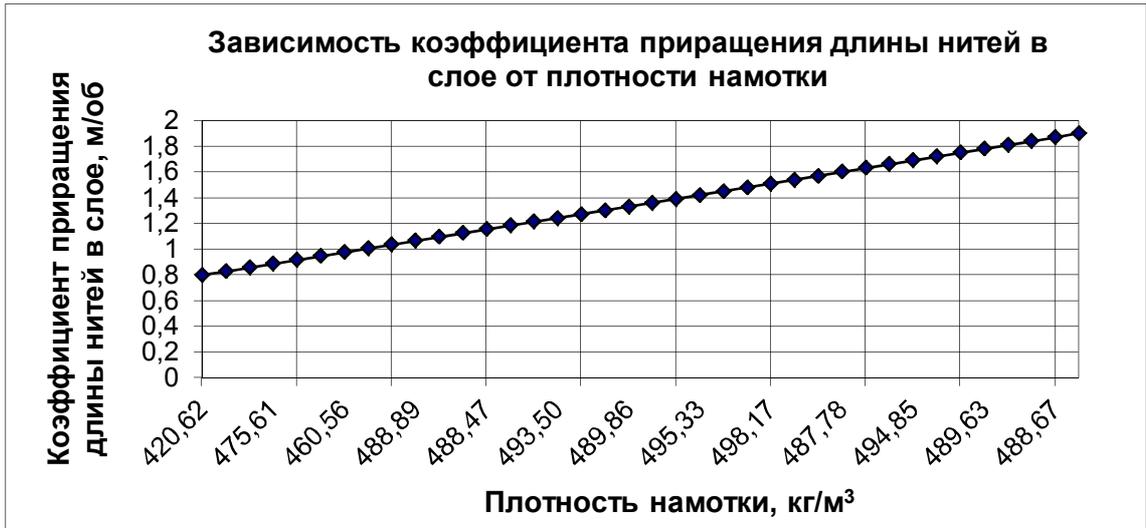


Рис. Б.7. Результаты обработки экспериментальных данных мониторинга вала № 7

Таблица Б.8. Результаты мониторинга экспериментального сновального вала № 8

ВАЛ 8 Время 15:44 Дата 20.10.2012, пряжа 54, кол-во нитей 440, вес пряжи 178 кг								
Количество оборотов вала, n	Толщина намотки, мм	Длина, м	Радиус намотки, м	Плотность намотки, кг/м <sup>3</sup>	Приращение радиуса намотки, м	Коэффициент нарастания толщины намотки, м/об.	Приращение длины нитей в слое, м	Коэффициент приращения длины в слое, м/об.
400	5,2	307,7	0,1252	446,63				
800	10,3	628,9	0,1303	451,47	0,0051	0,00001275	321,2	0,803
1200	14,4	961,6	0,1344	485,80	0,0041	0,00001025	332,7	0,83175
1600	19,9	1306	0,1399	467,34	0,0055	0,00001375	344,4	0,861
2000	23,8	1662	0,1438	489,92	0,0039	9,75E-06	356	0,89
2400	29,2	2029,8	0,1492	477,90	0,0054	0,0000135	367,8	0,9195
2800	33,3	2409,4	0,1533	489,97	0,0041	0,00001025	379,6	0,949
3200	37,8	2800,8	0,1578	493,63	0,0045	0,00001125	391,4	0,9785
3600	44,1	3204	0,1641	473,29	0,0063	0,00001575	403,2	1,008
4000	47,2	3619,2	0,1672	494,12	0,0031	7,75E-06	415,2	1,038
4400	52,8	4046	0,1728	484,36	0,0056	0,000014	426,8	1,067
4800	56,6	4484,9	0,1766	494,44	0,0038	9,5E-06	438,9	1,09725
5200	61,8	4936	0,1818	489,79	0,0052	0,000013	451,1	1,12775
5600	66,3	5398,7	0,1863	492,01	0,0045	0,00001125	462,7	1,15675
6000	70,9	5873,5	0,1909	493,15	0,0046	1,15E-05	474,8	1,187
6400	75,8	6360,3	0,1958	491,75	0,0049	1,225E-05	486,8	1,217
6800	80	6859,1	0,2	495,88	0,0042	1,05E-05	498,8	1,247
7200	84,8	7369,6	0,2048	495,20	0,0048	1,2E-05	510,5	1,27625
7600	89,5	7892,3	0,2095	495,30	0,0047	0,00001175	522,7	1,30675
8000	94,9	8427	0,2149	490,72	0,0054	0,0000135	534,7	1,33675
8400	100,5	8974	0,2205	485,34	0,0056	0,000014	547	1,3675
8800	104,6	9532,9	0,2246	489,47	0,0041	0,00001025	558,9	1,39725

ВАЛ 8 Время 15:44 Дата 20.10.2012, пряжа 54, кол-во нитей 440, вес пряжи 178 кг

Количество оборотов вала, n	Толщина намотки, мм	Длина, м	Радиус намотки, м	Плотность намотки, кг/м <sup>3</sup>	Приращение радиуса намотки, м	Коэффициент нарастания толщины намотки, м/об.	Приращение длины нитей в слое, м	Коэффициент приращения длины в слое, м/об.
9200	107,5	10103,7	0,2275	500,57	0,0029	7,25E-06	570,8	1,427
9600	110,9	10686,3	0,2309	508,23	0,0034	8,5E-06	582,6	1,4565
10000	117,7	11281	0,2377	495,90	0,0068	0,000017	594,7	1,48675
10400	120,7	11887,8	0,2407	505,35	0,003	7,5E-06	606,8	1,517
10800	125,2	12506,1	0,2452	506,21	0,0045	0,00001125	618,3	1,54575
11200	135,1	13136,6	0,2551	479,76	0,0099	0,00002475	630,5	1,57625
11600	137,4	13778,9	0,2574	491,78	0,0023	5,75E-06	642,3	1,60575
12000	141,9	14432,9	0,2619	492,91	0,0045	1,125E-05	654	1,635
12400	145,4	15098,8	0,2654	498,67	0,0035	8,75E-06	665,9	1,66475
12800	151,4	15776,8	0,2714	492,74	0,006	0,000015	678	1,695
13200	158,5	16466,8	0,2785	482,50	0,0071	0,00001775	690	1,725
13600	160,8	17168,7	0,2808	493,03	0,0023	5,75E-06	701,9	1,75475
14000	165,6	17882,3	0,2856	492,73	0,0048	1,2E-05	713,6	1,784
14400	170,2	18608	0,2902	493,28	0,0046	1,15E-05	725,7	1,81425
14800	175,5	19345,7	0,2955	491,00	0,0053	1,325E-05	737,7	1,84425
15200	179,7	20095,3	0,2997	493,12	0,0042	0,0000105	749,6	1,874
15600	184,8	20857,2	0,3048	491,72	0,0051	1,275E-05	761,9	1,90475
15962	189,2	21555,7	0,3092	491,28	0,0044	1,1E-05	698,5	1,74625
Итого по счетчику машины 21500								

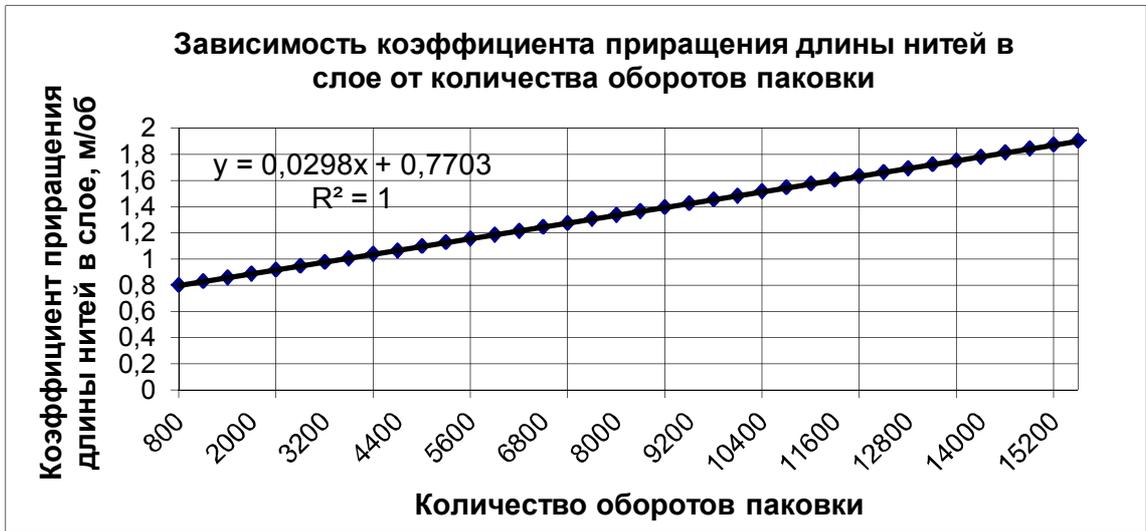
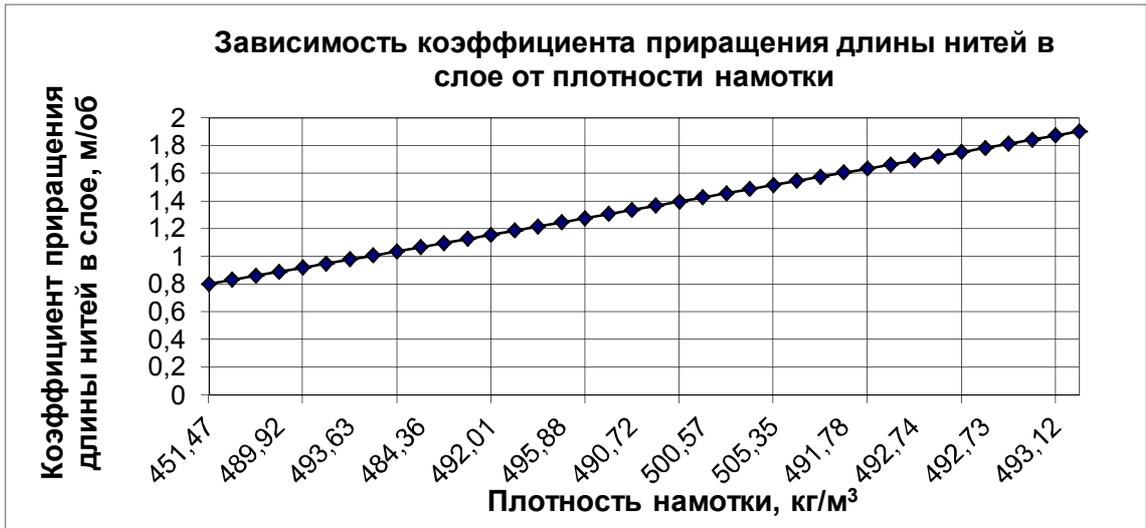


Рис. Б.8. Результаты обработки экспериментальных данных мониторинга вала № 8

Таблица Б.9. Результаты мониторинга экспериментального сновального вала № 9

ВАЛ 9 Время 16:50 Дата 20.10.2012, пряжа 54, кол-во нитей 440, вес пряжи 176 кг								
Количество оборотов вала, n	Толщина намотки, мм	Длина, м	Радиус намотки, м	Плотность намотки, кг/м <sup>3</sup>	Приращение радиуса намотки, м	Коэффициент нарастания толщины намотки, м/об.	Приращение длины нитей в слое, м	Коэффициент приращения длины в слое, м/об.
400	5,1	308,7	0,1251	457,06				
800	10,1	630,3	0,1301	461,80	0,005	0,0000125	321,6	0,804
1200	14,4	964	0,1344	487,02	0,0043	0,00001075	333,7	0,83425
1600	19,9	1309,2	0,1399	468,48	0,0055	0,00001375	345,2	0,863
2000	23,8	1666	0,1438	491,10	0,0039	9,75E-06	356,8	0,892
2400	29	2034,4	0,149	482,65	0,0052	0,000013	368,4	0,921
2800	33,3	2414,8	0,1533	491,07	0,0043	0,00001075	380,4	0,951
3200	38	2806,8	0,158	491,73	0,0047	0,00001175	392	0,98
3600	42,6	3210,5	0,1626	493,56	0,0046	0,0000115	403,7	1,00925
4000	47,4	3626,2	0,1674	492,64	0,0048	0,000012	415,7	1,03925
4400	51,9	4053,8	0,1719	495,23	0,0045	0,00001125	427,6	1,069
4800	56,6	4493,2	0,1766	495,35	0,0047	0,00001175	439,4	1,0985
5200	62	4944,2	0,182	488,70	0,0054	0,0000135	451	1,1275
5600	66,3	5407,2	0,1863	492,78	0,0043	0,00001075	463	1,1575
6000	70,7	5882,3	0,1907	495,60	0,0044	0,000011	475,1	1,18775
6400	75,5	6369,3	0,1955	494,87	0,0048	1,2E-05	487	1,2175
6800	79,7	6868,2	0,1997	498,87	0,0042	0,0000105	498,9	1,24725
7200	84,4	7378,9	0,2044	498,79	0,0047	0,00001175	510,7	1,27675
7600	88,9	7901,3	0,2089	500,12	0,0045	0,00001125	522,4	1,306
8000	94	8435,4	0,214	497,25	0,0051	0,00001275	534,1	1,33525
8400	98,7	8981,4	0,2187	497,23	0,0047	0,00001175	546	1,365
8800	103,4	9539,3	0,2234	497,21	0,0047	0,00001175	557,9	1,39475

ВАЛ 9 Время 16:50 Дата 20.10.2012, пряжа 54, кол-во нитей 440, вес пряжи 176 кг

Количество оборотов вала, n	Толщина намотки, мм	Длина, м	Радиус намотки, м	Плотность намотки, кг/м <sup>3</sup>	Приращение радиуса намотки, м	Коэффициент нарастания толщины намотки, м/об.	Приращение длины нитей в слое, м	Коэффициент приращения длины в слое, м/об.
9200	107,3	10109,1	0,2273	502,06	0,0039	9,75E-06	569,8	1,4245
9600	111,1	10690,8	0,2311	507,24	0,0038	9,5E-06	581,7	1,45425
10000	117,3	11284,3	0,2373	498,30	0,0062	1,55E-05	593,5	1,48375
10400	120,7	11889,5	0,2407	505,42	0,0034	8,5E-06	605,2	1,513
10800	126,8	12506,7	0,2468	497,67	0,0061	0,00001525	617,2	1,543
11200	132,8	13135,7	0,2528	491,05	0,006	1,5E-05	629	1,5725
11600	137,1	13776,7	0,2571	493,17	0,0043	1,075E-05	641	1,6025
12000	141,3	14429,6	0,2613	495,67	0,0042	0,0000105	652,9	1,63225
12400	144,2	15094,3	0,2642	504,24	0,0029	7,25E-06	664,7	1,66175
12800	150	15770,9	0,27	498,94	0,0058	1,45E-05	676,6	1,6915
13200	156	16459,4	0,276	493,11	0,006	0,000015	688,5	1,72125
13600	160,1	17159,8	0,2801	495,79	0,0041	0,00001025	700,4	1,751
14000	164,5	17872,2	0,2845	497,09	0,0044	1,1E-05	712,4	1,781
14400	169,6	18596,6	0,2896	495,44	0,0051	0,00001275	724,4	1,811
14800	174,2	19333	0,2942	495,89	0,0046	1,15E-05	736,4	1,841
15200	179	20081,2	0,299	495,53	0,0048	1,2E-05	748,2	1,8705
15600	183,9	20841,3	0,3039	494,79	0,0049	0,00001225	760,1	1,90025
15966	188	21547,2	0,308	495,60	0,0041	0,00001025	705,9	1,76475
Итого по счетчику машины 21500								

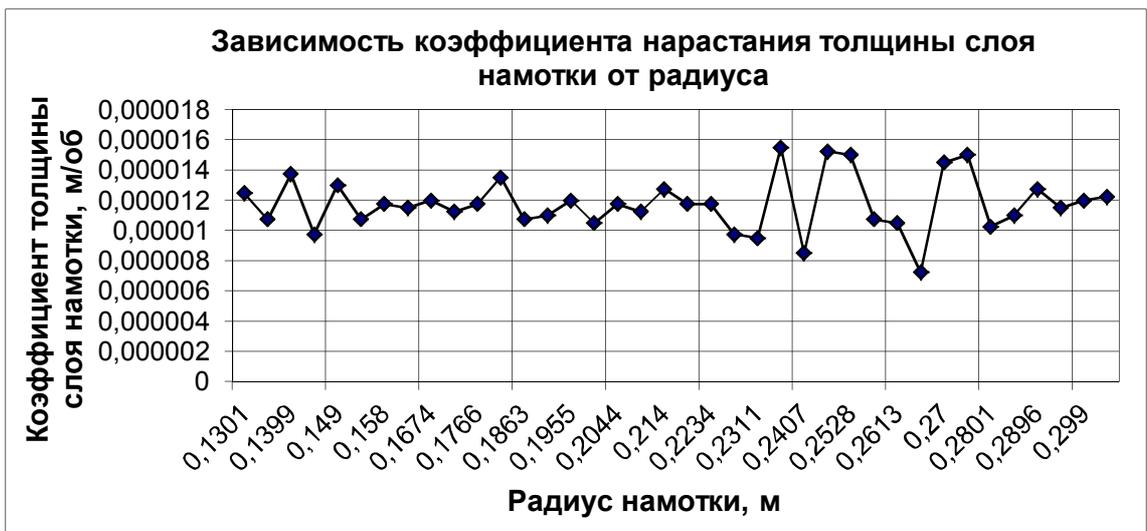
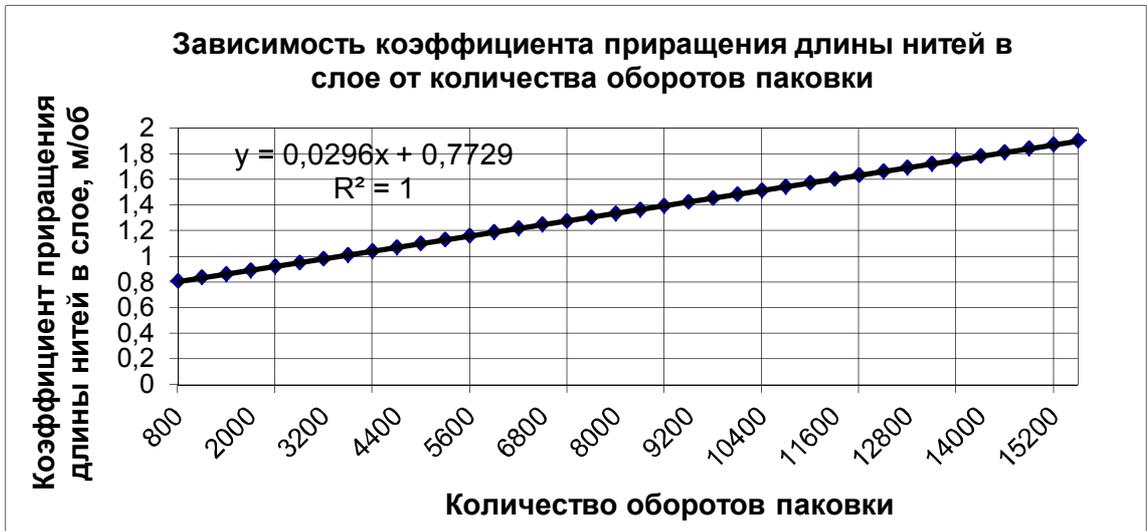
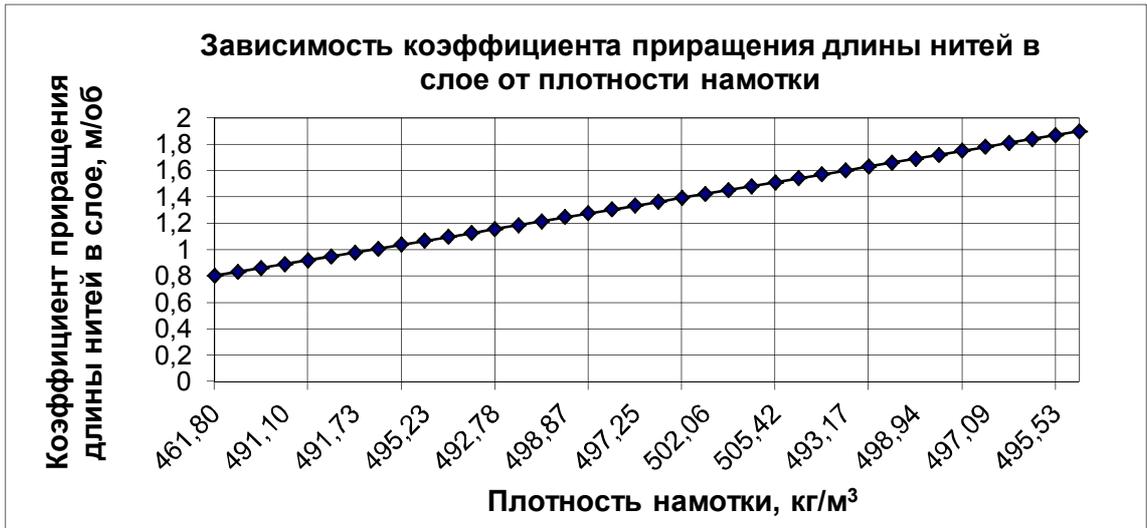


Рис. Б.9. Результаты обработки экспериментальных данных мониторинга вала № 9

Таблица Б.10. Результаты мониторинга экспериментального сновального вала № 10

ВАЛ 10 Время 18:23 Дата 20.10.2012, пряжа 54, кол-во нитей 440, вес пряжи 177 кг								
Количество оборотов вала, n	Толщина намотки, мм	Длина, м	Радиус намотки, м	Плотность намотки, кг/м <sup>3</sup>	Приращение радиуса намотки, м	Коэффициент нарастания толщины намотки, м/об.	Приращение длины нитей в слое, м	Коэффициент приращения длины в слое, м/об.
400	9,9	309,8	0,1299	231,75				
800	12	634,2	0,132	388,14	0,0021	5,25E-06	324,4	0,811
1200	14,8	972,7	0,1348	477,38	0,0028	7E-06	338,5	0,84625
1600	20,7	1321,6	0,1407	453,25	0,0059	0,00001475	348,9	0,87225
2000	25,6	1682,7	0,1456	458,02	0,0049	0,00001225	361,1	0,90275
2400	29,6	2055,8	0,1496	476,78	0,004	0,00001	373,1	0,93275
2800	33,9	2441,4	0,1539	486,62	0,0043	1,075E-05	385,6	0,964
3200	39,3	2839,5	0,1593	478,77	0,0054	0,0000135	398,1	0,99525
3600	43,9	3249,5	0,1639	482,54	0,0046	0,0000115	410	1,025
4000	48,7	3670,7	0,1687	483,19	0,0048	0,000012	421,2	1,053
4400	56	4105,9	0,176	458,43	0,0073	0,00001825	435,2	1,088
4800	60,3	4551,2	0,1803	465,16	0,0043	0,00001075	445,3	1,11325
5200	63,1	5008,6	0,1831	484,67	0,0028	7E-06	457,4	1,1435
5600	67,9	5477	0,1879	484,85	0,0048	1,2E-05	468,4	1,171
6000	72,5	5957,4	0,1925	486,65	0,0046	0,0000115	480,4	1,201
6400	77,5	6449,4	0,1975	485,09	0,005	0,0000125	492	1,23
6800	83,1	6953,3	0,2031	479,29	0,0056	0,000014	503,9	1,25975
7200	86,6	7469	0,2066	488,74	0,0035	8,75E-06	515,7	1,28925
7600	92,7	7997,3	0,2127	479,91	0,0061	0,00001525	528,3	1,32075
8000	99,4	8537,2	0,2194	468,34	0,0067	0,00001675	539,9	1,34975
8400	102,5	9088,6	0,2225	479,14	0,0031	7,75E-06	551,4	1,3785
8800	105,5	9651,7	0,2255	490,06	0,003	7,5E-06	563,1	1,40775

ВАЛ 10 Время 18:23 Дата 20.10.2012, пряжа 54, кол-во нитей 440, вес пряжи 177 кг								
Количество оборотов вала, п	Толщина намотки, мм	Длина, м	Радиус намотки, м	Плотность намотки, кг/м <sup>3</sup>	Приращение радиуса намотки, м	Коэффициент нарастания толщины намотки, м/об.	Приращение длины нитей в слое, м	Коэффициент приращения длины в слое, м/об.
9200	109,3	10226,1	0,2293	495,72	0,0038	9,5E-06	574,4	1,436
9600	114,1	10812,1	0,2341	495,27	0,0048	1,2E-05	586	1,465
10000	119,8	11409,1	0,2398	489,87	0,0057	1,425E-05	597	1,4925
10400	123,2	12017,5	0,2432	497,05	0,0034	8,5E-06	608,4	1,521
10800	131,4	12637,4	0,2514	479,25	0,0082	0,0000205	619,9	1,54975
11200	136,7	13268,3	0,2567	476,87	0,0053	1,325E-05	630,9	1,57725
11600	140,6	13911,2	0,2606	481,12	0,0039	9,75E-06	642,9	1,60725
12000	144,5	14566	0,2645	485,20	0,0039	9,75E-06	654,8	1,637
12400	148,6	15231,2	0,2686	488,16	0,0041	0,00001025	665,2	1,663
12800	154,8	15907,7	0,2748	481,73	0,0062	1,55E-05	676,5	1,69125
13200	160,1	16596,3	0,2801	479,51	0,0053	1,325E-05	688,6	1,7215
13600	165,2	17295,8	0,2852	478,20	0,0051	0,00001275	699,5	1,74875
14000	169,1	18007,3	0,2891	481,75	0,0039	9,75E-06	711,5	1,77875
14400	174,6	18730,5	0,2946	478,87	0,0055	1,375E-05	723,2	1,808
14800	179,7	19464,7	0,2997	477,65	0,0051	0,00001275	734,2	1,8355
15200	184,5	20210,7	0,3045	477,59	0,0048	1,2E-05	746	1,865
15600	188,5	20968,1	0,3085	480,44	0,004	0,00001	757,4	1,8935
15943	191,9	21627,8	0,3119	482,95	0,0034	8,5E-06	659,7	1,64925
Итого по счетчику машины 21500								

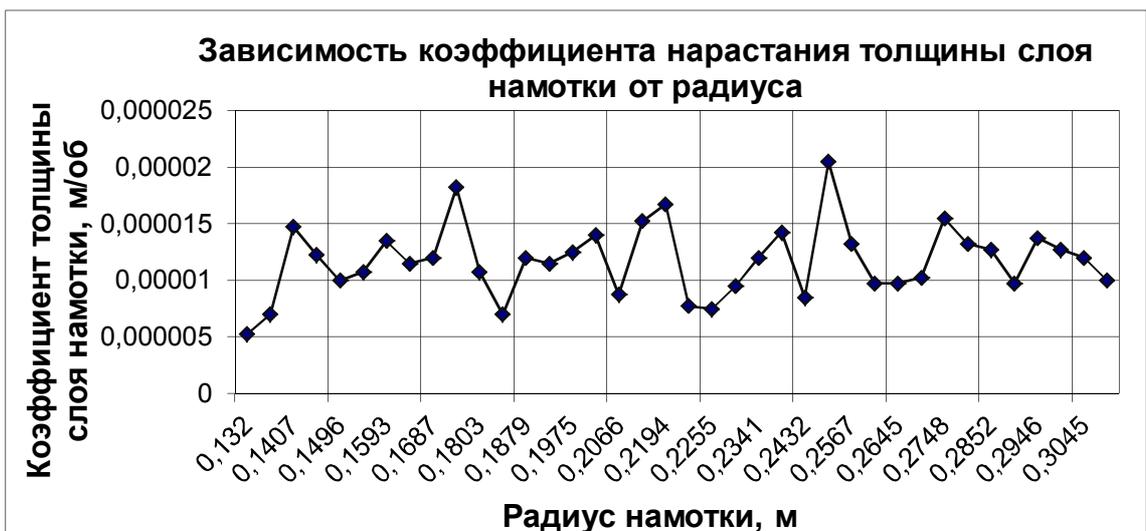
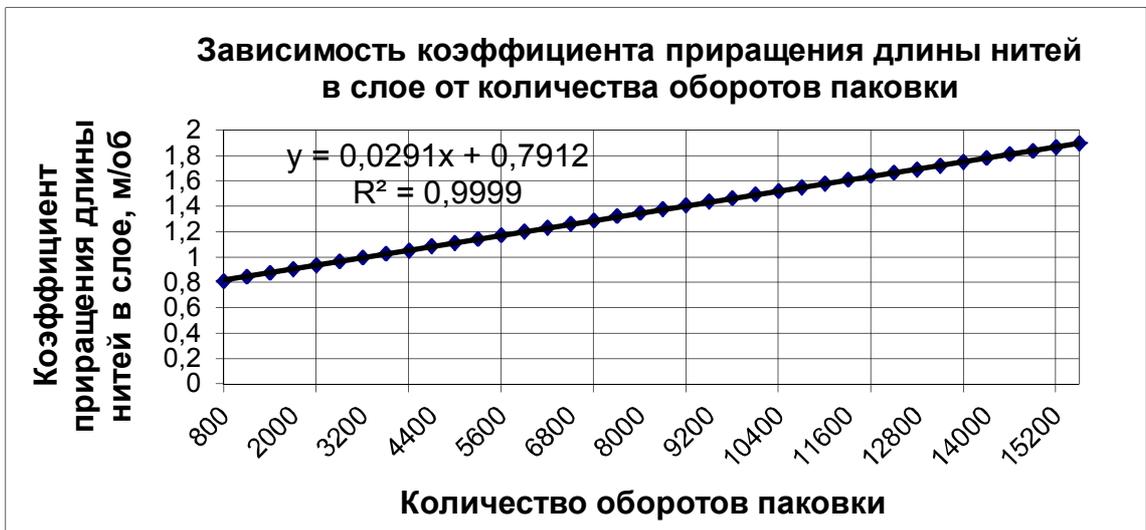
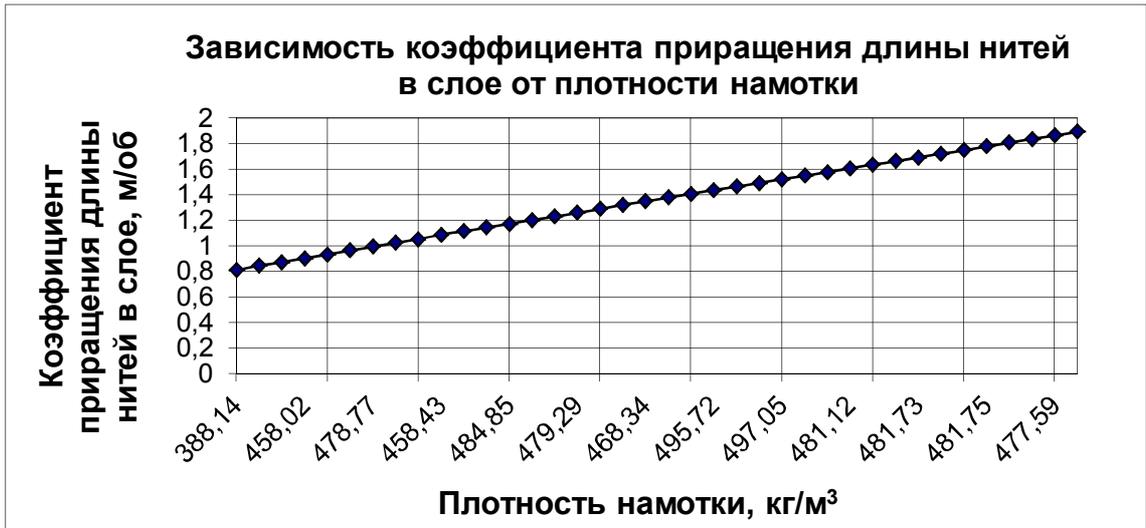


Рис. Б.10. Результаты обработки экспериментальных данных мониторинга вала № 10

Таблица Б.11. Результаты мониторинга экспериментального сновального вала № 11

ВАЛ 11 Время 12:49 Дата 21.10.2012, пряжа 54, кол-во нитей 440, вес пряжи 171 кг								
Количество оборотов вала, n	Толщина намотки, мм	Длина, м	Радиус намотки, м	Плотность намотки, кг/м <sup>3</sup>	Приращение радиуса намотки, м	Коэффициент нарастания толщины намотки, м/об.	Приращение длины нитей в слое, м	Коэффициент приращения длины в слое, м/об.
400	4,1	308,6	0,1241	570,68				
800	9,1	630,9	0,1291	515,10	0,005	0,0000125	322,3	0,80575
1200	13,3	965,4	0,1333	530,35	0,0042	0,0000105	334,5	0,83625
1600	18,1	1311,9	0,1381	519,73	0,0048	0,000012	346,5	0,86625
2000	23,2	1671	0,1432	506,46	0,0051	0,00001275	359,1	0,89775
2400	26,8	2042	0,1468	528,54	0,0036	9E-06	371	0,9275
2800	32,5	2424,8	0,1525	506,72	0,0057	0,00001425	382,8	0,957
3200	36,4	2819,2	0,1564	518,60	0,0039	9,75E-06	394,4	0,986
3600	42,4	3225,9	0,1624	498,62	0,006	0,000015	406,7	1,01675
4000	45,8	3644,1	0,1658	515,24	0,0034	8,5E-06	418,2	1,0455
4400	50,6	4074,5	0,1706	512,83	0,0048	0,000012	430,4	1,076
4800	55,1	4516,9	0,1751	514,12	0,0045	0,00001125	442,4	1,106
5200	60,9	4970,9	0,1809	502,04	0,0058	0,0000145	454	1,135
5600	64,8	5438,2	0,1848	509,58	0,0039	9,75E-06	467,3	1,16825
6000	69,6	5917,1	0,1896	508,21	0,0048	0,000012	478,9	1,19725
6400	76,2	6408,4	0,1962	492,24	0,0066	0,0000165	491,3	1,22825
6800	79,1	6911,4	0,1991	506,77	0,0029	7,25E-06	503	1,2575
7200	83,3	7426,3	0,2033	510,35	0,0042	0,0000105	514,9	1,28725
7600	86,4	7953,3	0,2064	521,95	0,0031	7,75E-06	527	1,3175
8000	92,7	8492,4	0,2127	509,62	0,0063	0,00001575	539,1	1,34775
8400	95,8	9043,3	0,2158	520,27	0,0031	7,75E-06	550,9	1,37725
8800	102,3	9606,3	0,2223	507,71	0,0065	0,00001625	563	1,4075

ВАЛ 11 Время 12:49 Дата 21.10.2012, пряжа 54, кол-во нитей 440, вес пряжи 171 кг								
Количество оборотов вала, n	Толщина намотки, мм	Длина, м	Радиус намотки, м	Плотность намотки, кг/м <sup>3</sup>	Приращение радиуса намотки, м	Коэффициент нарастания толщины намотки, м/об.	Приращение длины нитей в слое, м	Коэффициент приращения длины в слое, м/об.
9200	108,4	10181,2	0,2284	498,93	0,0061	0,00001525	574,9	1,43725
9600	112,9	10768,3	0,2329	500,20	0,0045	0,00001125	587,1	1,46775
10000	117,7	11367,3	0,2377	499,70	0,0048	0,000012	599	1,4975
10400	120	11978,5	0,24	513,17	0,0023	5,75E-06	611,2	1,528
10800	127,5	12601,7	0,2475	497,75	0,0075	0,00001875	623,2	1,558
11200	133,5	13236,8	0,2535	491,31	0,006	0,000015	635,1	1,58775
11600	136,7	13883,9	0,2567	498,99	0,0032	8E-06	647,1	1,61775
12000	142,9	14543,2	0,2629	491,91	0,0062	1,55E-05	659,3	1,64825
12400	146,8	15214,5	0,2668	495,90	0,0039	9,75E-06	671,3	1,67825
12800	151,1	15897,7	0,2711	497,88	0,0043	1,075E-05	683,2	1,708
13200	155,7	16593,1	0,2757	498,45	0,0046	1,15E-05	695,4	1,7385
13600	161	17300,6	0,281	495,95	0,0053	1,325E-05	707,5	1,76875
14000	165,9	18019,9	0,2859	495,26	0,0049	1,225E-05	719,3	1,79825
14400	171,9	18751,5	0,2919	490,13	0,006	0,000015	731,6	1,829
14800	175,3	19495,3	0,2953	495,60	0,0034	8,5E-06	743,8	1,8595
15200	180,6	20251,3	0,3006	493,41	0,0053	1,325E-05	756	1,89
15600	184,8	21019,3	0,3048	495,54	0,0042	1,05E-05	768	1,92
15886	188,5	21576,4	0,3085	494,38	0,0037	9,25E-06	557,1	1,39275
Итого по счетчику машины 21500								

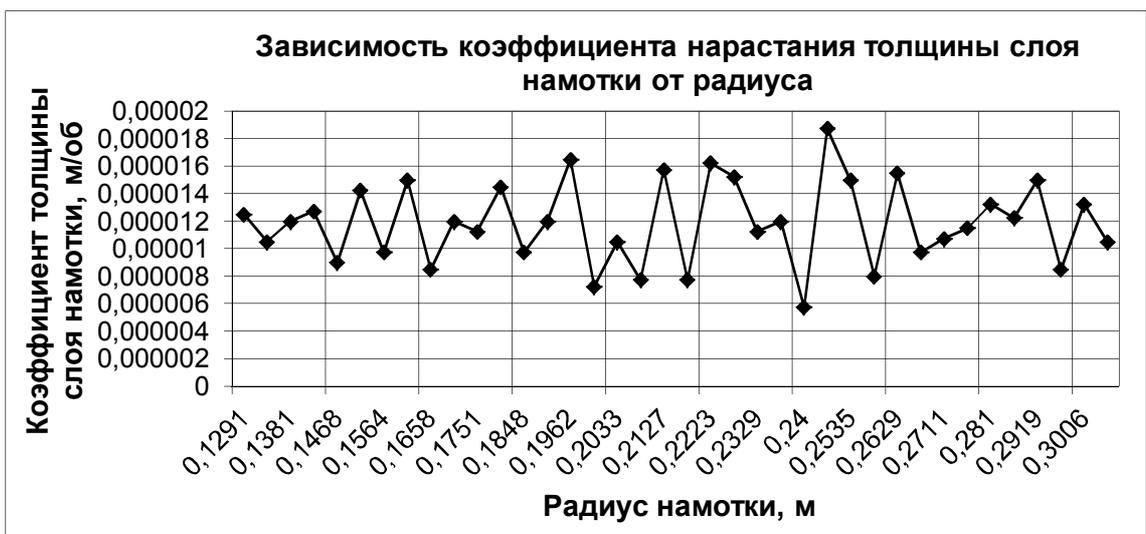
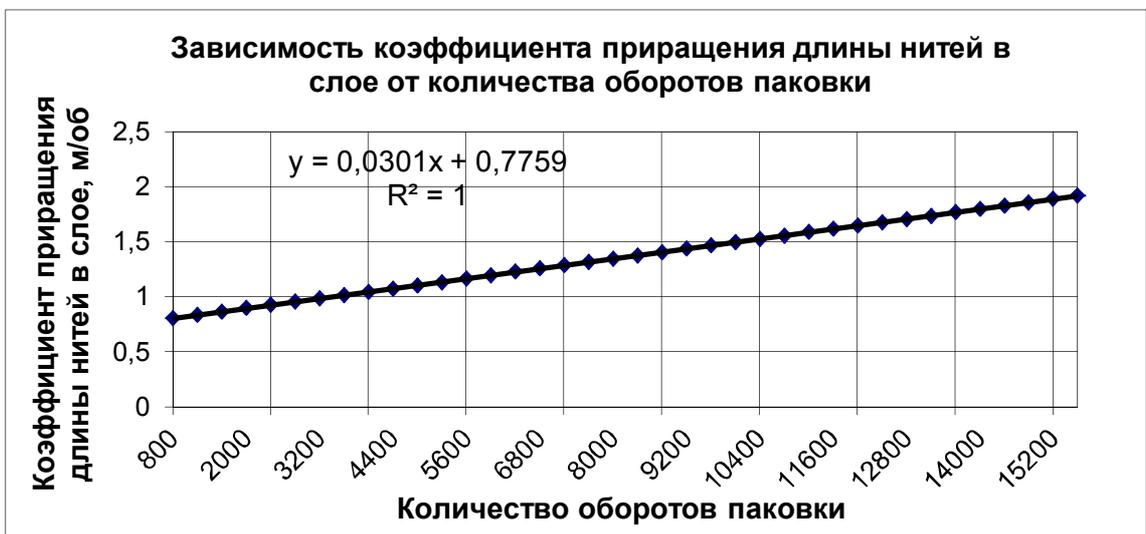
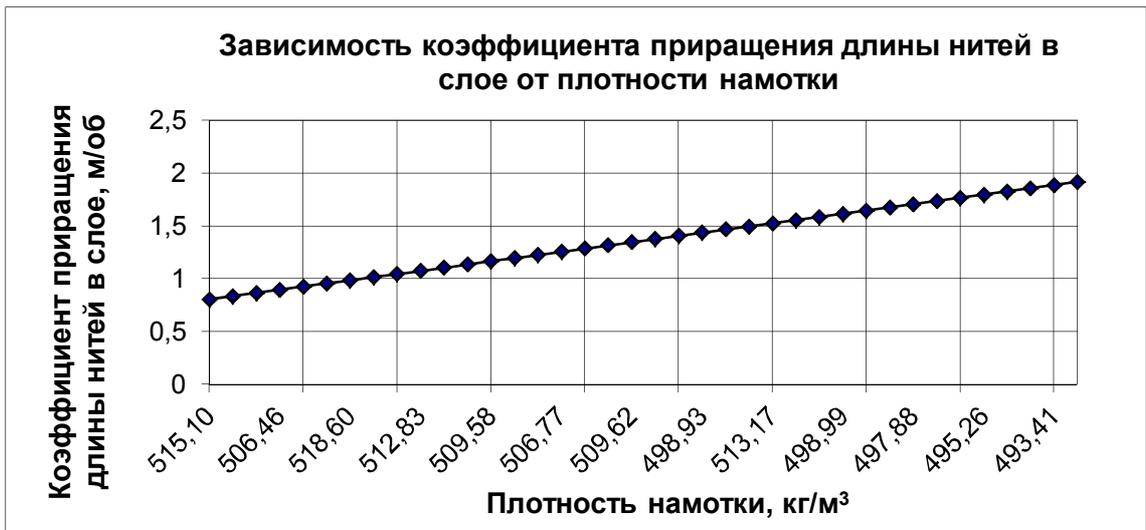


Рис. Б.11. Результаты обработки экспериментальных данных мониторинга вала № 11

Таблица Б.12. Результаты мониторинга экспериментального сновального вала № 12

ВАЛ 12 Время 16:02 Дата 21.10.2012, пряжа 54, кол-во нитей 440, вес пряжи 178 кг								
Количество оборотов вала, n	Толщина намотки, мм	Длина, м	Радиус намотки, м	Плотность намотки, кг/м <sup>3</sup>	Приращение радиуса намотки, м	Коэффициент нарастания толщины намотки, м/об.	Приращение длины нитей в слое, м	Коэффициент приращения длины в слое, м/об.
400	4,5	308,5	0,1245	518,93				
800	9,5	629,9	0,1295	491,84	0,005	0,0000125	321,4	0,8035
1200	13,3	963,6	0,1333	529,37	0,0038	9,5E-06	333,7	0,83425
1600	18,9	1309,1	0,1389	495,14	0,0056	0,000014	345,5	0,86375
2000	23,4	1666,6	0,1434	500,43	0,0045	0,00001125	357,5	0,89375
2400	27,6	2036,5	0,1476	510,31	0,0042	0,0000105	369,9	0,92475
2800	32,3	2418,5	0,1523	508,91	0,0047	0,00001175	382	0,955
3200	37,2	2812,6	0,1572	504,80	0,0049	0,00001225	394,1	0,98525
3600	41,6	3218,2	0,1616	508,43	0,0044	0,000011	405,6	1,014
4000	46,2	3635,8	0,1662	508,90	0,0046	1,15E-05	417,6	1,044
4400	51	4065,6	0,171	507,00	0,0048	1,2E-05	429,8	1,0745
4800	55,5	4506,9	0,1755	508,60	0,0045	0,00001125	441,3	1,10325
5200	59,8	4960	0,1798	512,03	0,0043	0,00001075	453,1	1,13275
5600	64,8	5425,2	0,1848	508,36	0,005	0,0000125	465,2	1,163
6000	70,7	5902,4	0,1907	497,29	0,0059	0,00001475	477,2	1,193
6400	74,4	6391,7	0,1944	505,72	0,0037	9,25E-06	489,3	1,22325
6800	78,9	6892,9	0,1989	507,01	0,0045	0,00001125	501,2	1,253
7200	82,6	7406,2	0,2026	514,39	0,0037	9,25E-06	513,3	1,28325
7600	86,4	7931,7	0,2064	520,53	0,0038	9,5E-06	525,5	1,31375
8000	93,1	8469,2	0,2131	505,43	0,0067	0,00001675	537,5	1,34375
8400	96,5	9018,6	0,2165	514,01	0,0034	8,5E-06	549,4	1,3735
8800	103	9580,3	0,223	501,87	0,0065	1,625E-05	561,7	1,40425

ВАЛ 12 Время 16:02 Дата 21.10.2012, пряжа 54, кол-во нитей 440, вес пряжи 178 кг

Количество оборотов вала, п	Толщина намотки, мм	Длина, м	Радиус намотки, м	Плотность намотки, кг/м <sup>3</sup>	Приращение радиуса намотки, м	Коэффициент нарастания толщины намотки, м/об.	Приращение длины нитей в слое, м	Коэффициент приращения длины в слое, м/об.
9200	109,8	10154,3	0,2298	489,30	0,0068	1,7E-05	574	1,435
9600	112,9	10740,5	0,2329	498,91	0,0031	7,75E-06	586,2	1,4655
10000	117,9	11338,9	0,2379	497,33	0,005	0,0000125	598,4	1,496
10400	122,5	11949,7	0,2425	498,03	0,0046	0,0000115	610,8	1,527
10800	127,3	12572,4	0,2473	497,64	0,0048	0,000012	622,7	1,55675
11200	133,9	13207,2	0,2539	488,23	0,0066	1,65E-05	634,8	1,587
11600	136,4	13854,2	0,2564	499,42	0,0025	6,25E-06	647	1,6175
12000	141,7	14513,3	0,2617	496,61	0,0053	1,325E-05	659,1	1,64775
12400	146,5	15184,5	0,2665	496,32	0,0048	1,2E-05	671,2	1,678
12800	151,4	15868,1	0,2714	495,59	0,0049	0,00001225	683,6	1,709
13200	156,6	16563,9	0,2766	493,59	0,0052	0,000013	695,8	1,7395
13600	161,5	17272	0,2815	492,98	0,0049	0,00001225	708,1	1,77025
14000	166,1	17992,3	0,2861	493,66	0,0046	1,15E-05	720,3	1,80075
14400	171,2	18725	0,2912	492,28	0,0051	0,00001275	732,7	1,83175
14800	176,2	19469,9	0,2962	491,36	0,005	0,0000125	744,9	1,86225
15200	180,9	20227,2	0,3009	491,66	0,0047	0,00001175	757,3	1,89325
15600	185,7	20996,7	0,3057	491,57	0,0048	1,2E-05	769,5	1,92375
15912	189,4	21605,7	0,3094	491,67	0,0037	9,25E-06	609	1,5225
Итого по счетчику машины 21500								

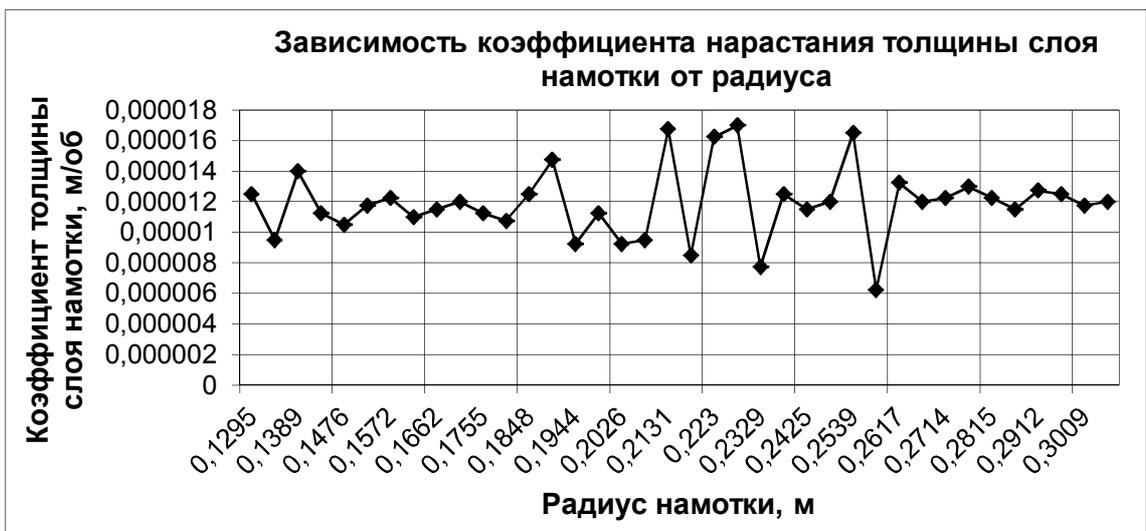
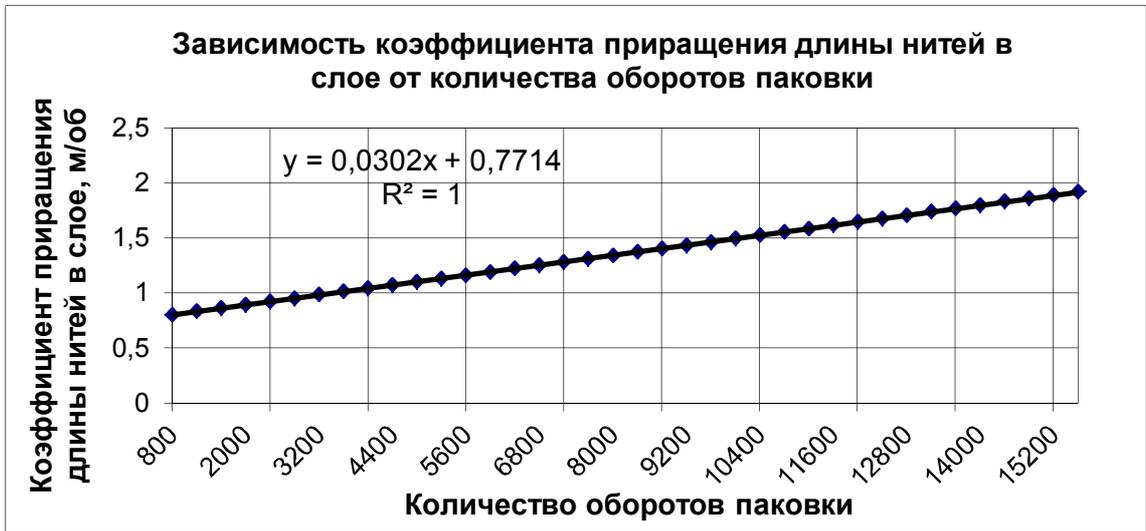
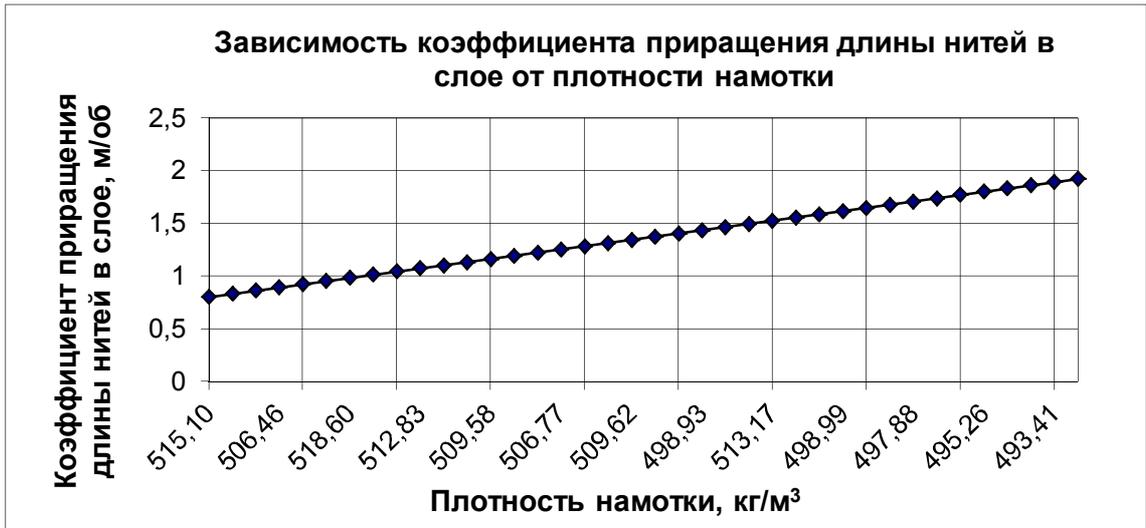


Рис. Б.12. Результаты обработки экспериментальных данных мониторинга вала № 12

Таблица Б.13. Результаты мониторинга экспериментального сновального вала № 13

ВАЛ 13 Время 17:21 Дата 21.10.2012, пряжа 54, кол-во нитей 440, вес пряжи 179 кг								
Количество оборотов вала, n	Толщина намотки, мм	Длина, м	Радиус намотки, м	Плотность намотки, кг/м <sup>3</sup>	Приращение радиуса намотки, м	Коэффициент нарастания толщины намотки, м/об.	Приращение длины нитей в слое, м	Коэффициент приращения длины в слое, м/об.
400	3,4	309,7	0,1234	692,61				
800	9,5	632	0,1295	493,48	0,0061	0,00001525	322,3	0,80575
1200	13,7	966	0,1337	514,38	0,0042	0,0000105	334	0,835
1600	18,1	1312,2	0,1381	519,85	0,0044	0,000011	346,2	0,8655
2000	22,4	1670,8	0,1424	526,09	0,0043	0,00001075	358,6	0,8965
2400	26,6	2040,4	0,1466	532,50	0,0042	0,0000105	369,6	0,924
2800	31,1	2421,9	0,1511	531,63	0,0045	0,00001125	381,5	0,95375
3200	36,2	2814,4	0,1562	520,95	0,0051	0,00001275	392,5	0,98125
3600	40,1	3217,9	0,1601	530,23	0,0039	9,75E-06	403,5	1,00875
4000	44,7	3633,7	0,1647	528,44	0,0046	1,15E-05	415,8	1,0395
4400	52,8	4062,8	0,1728	486,37	0,0081	0,00002025	429,1	1,07275
4800	54,5	4503,8	0,1745	519,33	0,0017	4,25E-06	441	1,1025
5200	60,1	4956,8	0,1801	508,64	0,0056	0,000014	453	1,1325
5600	64,2	5421,6	0,1842	513,78	0,0041	1,025E-05	464,8	1,162
6000	71,1	5898,4	0,1911	493,53	0,0069	0,00001725	476,8	1,192
6400	74,4	6386,9	0,1944	505,34	0,0033	8,25E-06	488,5	1,22125
6800	77,3	6887	0,1973	519,67	0,0029	7,25E-06	500,1	1,25025
7200	82,4	7399,1	0,2024	515,47	0,0051	1,275E-05	512,1	1,28025
7600	88	7922	0,208	507,95	0,0056	0,000014	522,9	1,30725
8000	90,9	8456,6	0,2109	520,33	0,0029	7,25E-06	534,6	1,3365
8400	94,7	9002,5	0,2147	525,66	0,0038	9,5E-06	545,9	1,36475
8800	99,8	9561,1	0,2198	521,79	0,0051	0,00001275	558,6	1,3965

ВАЛ 13 Время 17:21 Дата 21.10.2012, пряжа 54, кол-во нитей 440, вес пряжи 179 кг								
Количество оборотов вала, n	Толщина намотки, мм	Длина, м	Радиус намотки, м	Плотность намотки, кг/м <sup>3</sup>	Приращение радиуса намотки, м	Коэффициент нарастания толщины намотки, м/об.	Приращение длины нитей в слое, м	Коэффициент приращения длины в слое, м/об.
9200	104,8	10131,2	0,2248	518,89	0,005	0,0000125	570,1	1,42525
9600	111,6	10712,7	0,2316	505,28	0,0068	1,7E-05	581,5	1,45375
10000	115,9	11307	0,2359	507,32	0,0043	1,075E-05	594,3	1,48575
10400	118,6	11912,4	0,2386	518,38	0,0027	6,75E-06	605,4	1,5135
10800	122,7	12529,9	0,2427	521,08	0,0041	1,025E-05	617,5	1,54375
11200	128,2	13158,7	0,2482	515,93	0,0055	1,375E-05	628,8	1,572
11600	132,1	13799,1	0,2521	519,56	0,0039	9,75E-06	640,4	1,601
12000	138	14450,9	0,258	512,71	0,0059	0,00001475	651,8	1,6295
12400	142,2	15115	0,2622	514,71	0,0042	0,0000105	664,1	1,66025
12800	147,4	15790,7	0,2674	511,79	0,0052	0,000013	675,7	1,68925
13200	152,7	16478,5	0,2727	508,58	0,0053	1,325E-05	687,8	1,7195
13600	159	17178,2	0,279	501,13	0,0063	1,575E-05	699,7	1,74925
14000	162,4	17890,1	0,2824	506,66	0,0034	8,5E-06	711,9	1,77975
14400	167,5	18614,1	0,2875	504,71	0,0051	0,00001275	724	1,81
14800	170,7	19349,1	0,2907	510,80	0,0032	8E-06	735	1,8375
15200	176,2	20096,4	0,2962	507,17	0,0055	1,375E-05	747,3	1,86825
15600	181,8	20855,3	0,3018	503,34	0,0056	0,000014	758,9	1,89725
16000	186,6	21626,2	0,3066	502,80	0,0048	1,2E-05	770,9	1,92725
16013	186,9	21652,5	0,3069	502,25	0,0003	7,5E-07	26,3	0,06575
Итого по счетчику машины 21500								

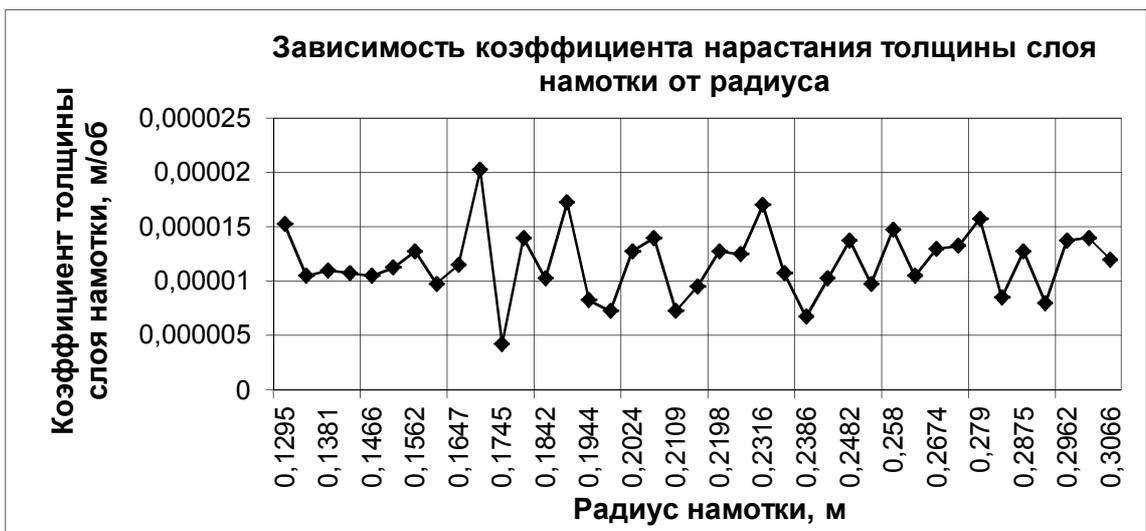
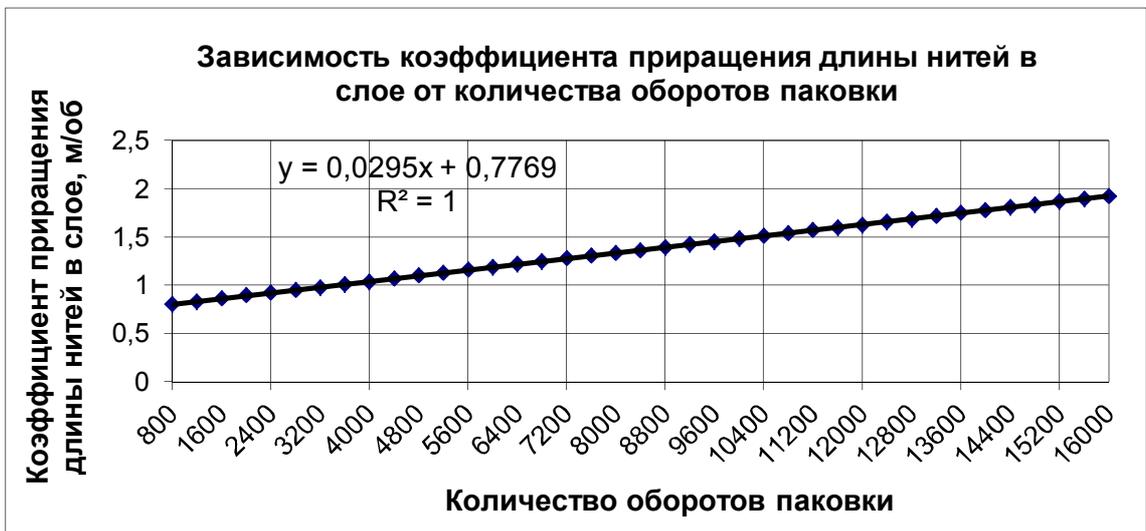
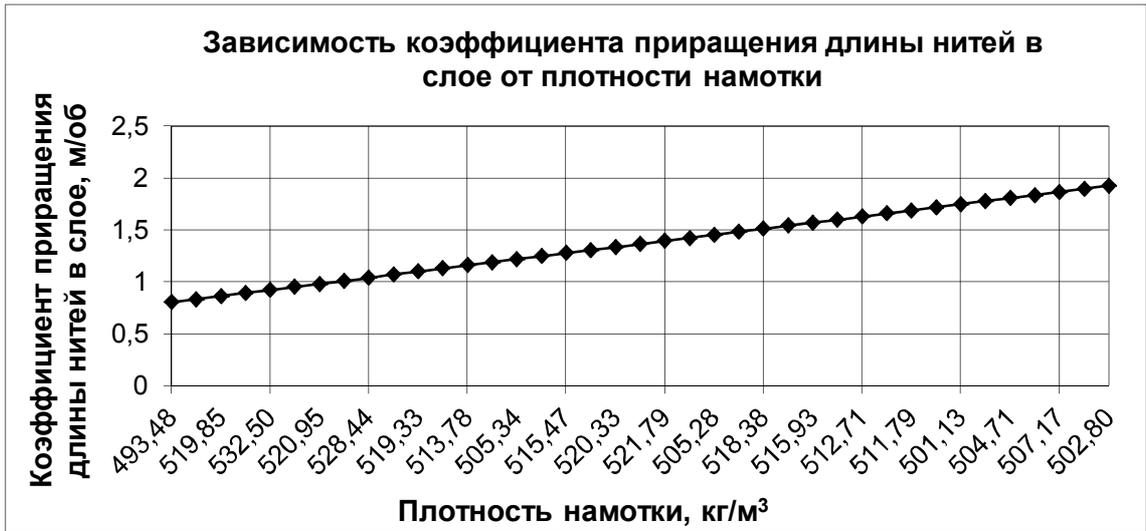


Рис. Б.13. Результаты обработки экспериментальных данных мониторинга вала № 13

Таблица Б.14. Результаты мониторинга экспериментального сновального вала № 14

ВАЛ 14 Время 18:42 Дата 21.10.2012, пряжа 54, кол-во нитей 440, вес пряжи 178 кг								
Количество оборотов вала, n	Толщина намотки, мм	Длина, м	Радиус намотки, м	Плотность намотки, кг/м <sup>3</sup>	Приращение радиуса намотки, м	Коэффициент нарастания толщины намотки, м/об.	Приращение длины нитей в слое, м	Коэффициент приращения длины в слое, м/об.
400	4,3	308,2	0,1243	542,98				
800	9,1	629,7	0,1291	514,12	0,0048	0,000012	321,5	0,80375
1200	13,5	963	0,1335	520,79	0,0044	0,000011	333,3	0,83325
1600	18,7	1308	0,1387	500,40	0,0052	0,000013	345	0,8625
2000	23,2	1665	0,1432	504,64	0,0045	0,00001125	357	0,8925
2400	27,6	2033,6	0,1476	509,58	0,0044	0,000011	368,6	0,9215
2800	32,3	2413,7	0,1523	507,90	0,0047	0,00001175	380,1	0,95025
3200	36,6	2805,5	0,1566	512,89	0,0043	0,00001075	391,8	0,9795
3600	40,9	3208,9	0,1609	516,92	0,0043	0,00001075	403,4	1,0085
4000	45,5	3624	0,1655	516,32	0,0046	0,0000115	415,1	1,03775
4400	50,2	4050,8	0,1702	514,62	0,0047	0,00001175	426,8	1,067
4800	55,1	4489,4	0,1751	510,99	0,0049	0,00001225	438,6	1,0965
5200	59,6	4939,8	0,1796	512,00	0,0045	1,125E-05	450,4	1,126
5600	64,2	5401,9	0,1842	511,91	0,0046	1,15E-05	462,1	1,15525
6000	68,7	5876	0,1887	512,78	0,0045	1,125E-05	474,1	1,18525
6400	73,6	6362	0,1936	510,14	0,0049	0,00001225	486	1,215
6800	78,4	6860	0,1984	508,60	0,0048	1,2E-05	498	1,245
7200	82,8	7369,7	0,2028	510,31	0,0044	1,1E-05	509,7	1,27425
7600	85,5	7891,2	0,2055	524,77	0,0027	6,75E-06	521,5	1,30375
8000	91,3	8424,5	0,2113	515,46	0,0058	1,45E-05	533,3	1,33325
8400	95,6	8969,6	0,2156	517,41	0,0043	0,00001075	545,1	1,36275
8800	100,1	9526,6	0,2201	517,90	0,0045	0,00001125	557	1,3925

ВАЛ 14 Время 18:42 Дата 21.10.2012, пряжа 54, кол-во нитей 440, вес пряжи 178 кг								
Количество оборотов вала, п	Толщина намотки, мм	Длина, м	Радиус намотки, м	Плотность намотки, кг/м <sup>3</sup>	Приращение радиуса намотки, м	Коэффициент нарастания толщины намотки, м/об.	Приращение длины нитей в слое, м	Коэффициент приращения длины в слое, м/об.
9200	107,1	10095,4	0,2271	502,60	0,007	0,0000175	568,8	1,422
9600	111,8	10675,9	0,2318	502,36	0,0047	0,00001175	580,5	1,45125
10000	116,1	11268,2	0,2361	504,42	0,0043	1,075E-05	592,3	1,48075
10400	120,7	11872,1	0,2407	504,68	0,0046	1,15E-05	603,9	1,50975
10800	125	12487,9	0,245	506,56	0,0043	0,00001075	615,8	1,5395
11200	129,6	13115,1	0,2496	506,73	0,0046	0,0000115	627,2	1,568
11600	134,6	13754,2	0,2546	504,86	0,005	0,0000125	639,1	1,59775
12000	139,2	14404,9	0,2592	505,07	0,0046	0,0000115	650,7	1,62675
12400	143,3	15067,4	0,2633	507,69	0,0041	0,00001025	662,5	1,65625
12800	148,6	15740	0,2686	504,46	0,0053	1,325E-05	672,6	1,6815
13200	153,2	16426,1	0,2732	504,67	0,0046	1,15E-05	686,1	1,71525
13600	158,3	17124,1	0,2783	502,65	0,0051	0,00001275	698	1,745
14000	162,9	17834	0,2829	502,89	0,0046	1,15E-05	709,9	1,77475
14400	167,5	18555,6	0,2875	503,13	0,0046	1,15E-05	721,6	1,804
14800	172,3	19289,2	0,2923	502,53	0,0048	1,2E-05	733,6	1,834
15200	177,4	20034,6	0,2974	500,75	0,0051	0,00001275	745,4	1,8635
15600	181,8	20791,9	0,3018	501,81	0,0044	0,000011	757,3	1,89325
15989	186,6	21539,8	0,3066	500,79	0,0048	1,2E-05	747,9	1,86975
Итого по счетчику машины 21500								

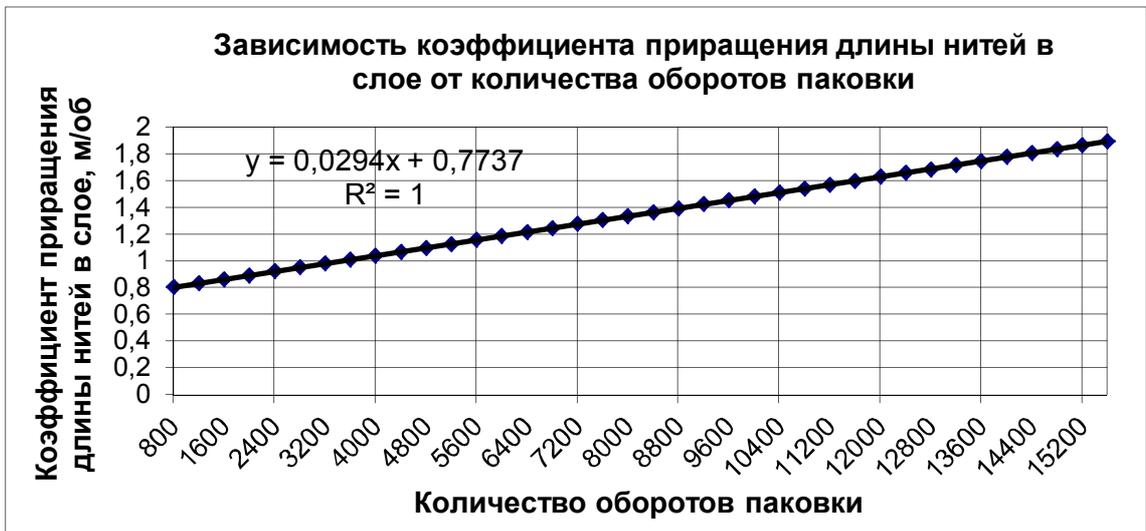
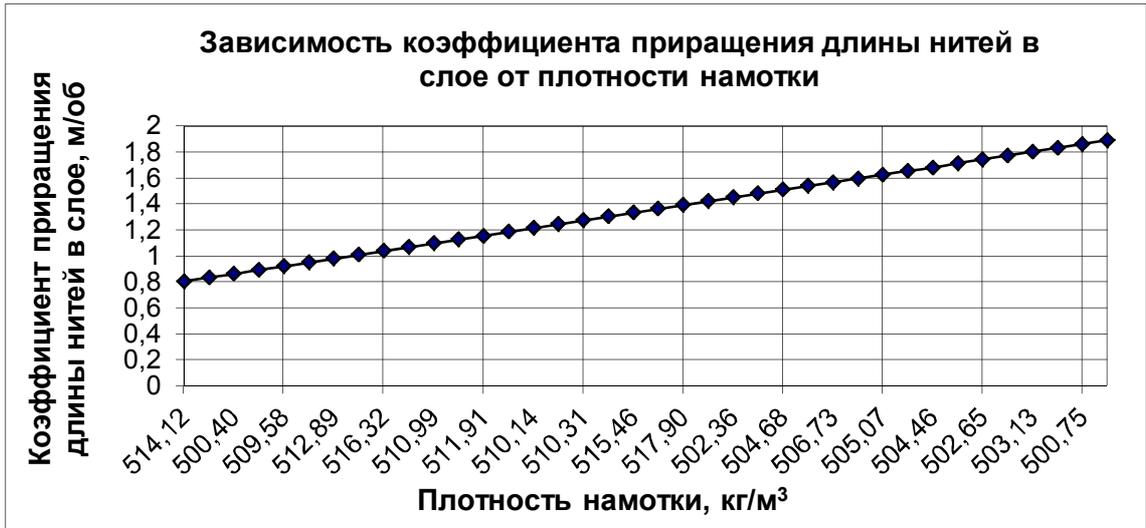


Рис. Б.14. Результаты обработки экспериментальных данных мониторинга вала № 14

Таблица Б.15. Результаты мониторинга экспериментального сновального вала № 15

ВАЛ 15 Время 20:12 Дата 21.10.2012, пряжа 54, кол-во нитей 440, вес пряжи 178 кг								
Количество оборотов вала, n	Толщина намотки, мм	Длина, м	Радиус намотки, м	Плотность намотки, кг/м <sup>3</sup>	Приращение радиуса намотки, м	Коэффициент нарастания толщины намотки, м/об.	Приращение длины нитей в слое, м	Коэффициент приращения длины в слое, м/об.
400	5,6	309,1	0,1256	415,94				
800	10,6	631,7	0,1306	440,12	0,005	0,0000125	322,6	0,8065
1200	16	966,1	0,136	436,52	0,0054	0,0000135	334,4	0,836
1600	22,2	1312,9	0,1422	417,44	0,0062	0,0000155	346,8	0,867
2000	25,2	1672,1	0,1452	463,06	0,003	7,5E-06	359,2	0,898
2400	30,2	2043,3	0,1502	463,43	0,005	0,0000125	371,2	0,928
2800	35,8	2426	0,1558	454,74	0,0056	0,000014	382,7	0,95675
3200	42	2820,5	0,162	440,73	0,0062	0,0000155	394,5	0,98625
3600	45,5	3226,8	0,1655	459,73	0,0035	8,75E-06	406,3	1,01575
4000	51,9	3645,1	0,1719	445,30	0,0064	0,000016	418,3	1,04575
4400	56,8	4075,5	0,1768	447,42	0,0049	0,00001225	430,4	1,076
4800	59,8	4517,4	0,1798	466,34	0,003	7,5E-06	441,9	1,10475
5200	63,7	4967	0,1837	475,18	0,0039	9,75E-06	449,6	1,124
5600	69,2	5430,7	0,1892	469,74	0,0055	1,375E-05	463,7	1,15925
6000	73,1	5905,9	0,1931	477,56	0,0039	9,75E-06	475,2	1,188
6400	78,4	6393,1	0,1984	473,99	0,0053	1,325E-05	487,2	1,218
6800	83,5	6891,9	0,2035	472,20	0,0051	0,00001275	498,8	1,247
7200	88	7402,4	0,208	474,64	0,0045	1,125E-05	510,5	1,27625
7600	92,7	7924,3	0,2127	475,53	0,0047	0,00001175	521,9	1,30475
8000	97,1	8457,9	0,2171	478,22	0,0044	0,000011	533,6	1,334
8400	100,5	9003,1	0,2205	486,92	0,0034	8,5E-06	545,2	1,363
8800	106,4	9559,9	0,2264	480,04	0,0059	0,00001475	556,8	1,392

ВАЛ 15 Время 20:12 Дата 21.10.2012, пряжа 54, кол-во нитей 440, вес пряжи 178 кг								
Количество оборотов вала, п	Толщина намотки, мм	Длина, м	Радиус намотки, м	Плотность намотки, кг/м <sup>3</sup>	Приращение радиуса намотки, м	Коэффициент нарастания толщины намотки, м/об.	Приращение длины нитей в слое, м	Коэффициент приращения длины в слое, м/об.
9200	110	10128,5	0,23	486,89	0,0036	9E-06	568,6	1,4215
9600	115,9	10708,9	0,2359	480,48	0,0059	0,00001475	580,4	1,451
10000	117,5	11301,1	0,2375	497,91	0,0016	4E-06	592,2	1,4805
10400	128,7	12443,1	0,2487	485,31	0,0112	0,000028	1142	2,855
10800	134,6	13157,8	0,2546	482,97	0,0059	0,00001475	714,7	1,78675
11200	140,3	13896,1	0,2603	482,01	0,0057	0,00001425	738,3	1,84575
11600	146,1	14630,5	0,2661	480,01	0,0058	1,45E-05	734,4	1,836
12000	151,6	15422,6	0,2716	480,80	0,0055	1,375E-05	792,1	1,98025
12400	157,3	16181,8	0,2773	479,21	0,0057	1,425E-05	759,2	1,898
12800	161,5	17008,4	0,2815	485,46	0,0042	0,0000105	826,6	2,0665
13200	167,9	17880,8	0,2879	483,20	0,0064	0,000016	872,4	2,181
13600	173,9	18775	0,2939	482,76	0,006	0,000015	894,2	2,2355
14000	178,3	19707,9	0,2983	489,04	0,0044	0,000011	932,9	2,33225
14400	186,4	20702,9	0,3064	482,07	0,0081	0,00002025	995	2,4875
14795	190,5	21605,3	0,3105	487,57	0,0041	0,00001025	902,4	2,256
Итого по счетчику машины 21500								

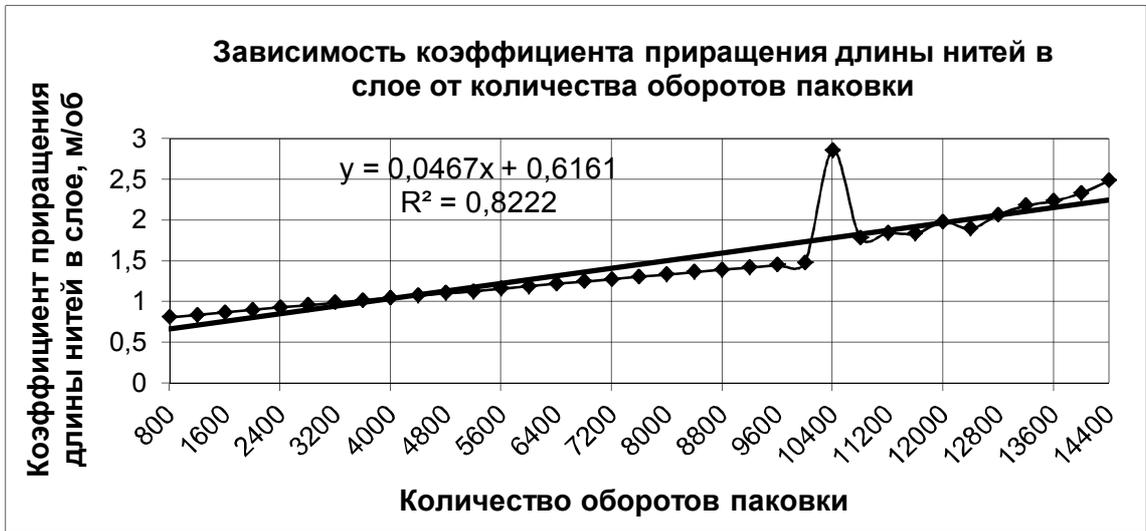
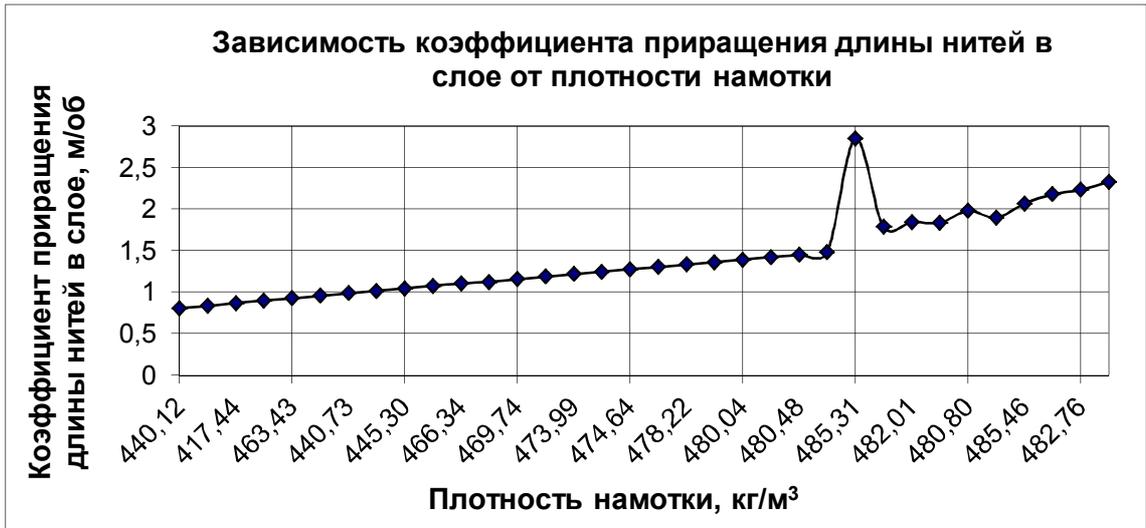


Рис. Б.15. Результаты обработки экспериментальных данных мониторинга вала № 15

Таблица Б.16. Результаты мониторинга экспериментального сновального вала № 16

ВАЛ 16 Время 11:22 Дата 22.10.2012, пряжа 54, кол-во нитей 440, вес пряжи 177 кг								
Количество оборотов вала, n	Толщина намотки, мм	Длина, м	Радиус намотки, м	Плотность намотки, кг/м <sup>3</sup>	Приращение радиуса намотки, м	Коэффициент нарастания толщины намотки, м/об.	Приращение длины нитей в слое, м	Коэффициент приращения длины в слое, м/об.
400	6,2	308,9	0,1262	374,53				
800	12	631,8	0,132	386,67	0,0058	0,0000145	322,9	0,80725
1200	16	967,5	0,136	437,16	0,004	0,00001	335,7	0,83925
1600	23	1315,9	0,143	402,61	0,007	1,75E-05	348,4	0,871
2000	25,6	1675,7	0,1456	456,11	0,0026	6,5E-06	359,8	0,8995
2400	31,5	2046,7	0,1515	442,91	0,0059	0,00001475	371	0,9275
2800	35,6	2429,5	0,1556	458,28	0,0041	0,00001025	382,8	0,957
3200	42	2823,8	0,162	441,25	0,0064	0,000016	394,3	0,98575
3600	45,3	3230,2	0,1653	462,57	0,0033	8,25E-06	406,4	1,016
4000	51	3646,7	0,171	454,76	0,0057	0,00001425	416,5	1,04125
4400	55,3	4075,1	0,1753	461,84	0,0043	0,00001075	428,4	1,071
4800	59,8	4515,5	0,1798	466,14	0,0045	0,00001125	440,4	1,101
5200	64,8	4970,9	0,1848	465,79	0,005	0,0000125	455,4	1,1385
5600	69,4	5436,6	0,1894	468,59	0,0046	1,15E-05	465,7	1,16425
6000	74,2	5914,4	0,1942	469,51	0,0048	1,2E-05	477,8	1,1945
6400	79,1	6404,2	0,1991	469,58	0,0049	0,00001225	489,8	1,2245
6800	85,7	6905,9	0,2057	457,90	0,0066	0,0000165	501,7	1,25425
7200	89,3	7419,7	0,2093	466,97	0,0036	9E-06	513,8	1,2845
7600	95,1	7945,5	0,2151	461,44	0,0058	0,0000145	525,8	1,3145
8000	97,8	8483,5	0,2178	475,25	0,0027	6,75E-06	538	1,345
8400	103,4	9033,6	0,2234	470,85	0,0056	0,000014	550,1	1,37525
8800	109,1	9595,9	0,2291	466,29	0,0057	0,00001425	562,3	1,40575

ВАЛ 16 Время 11:22 Дата 22.10.2012, пряжа 54, кол-во нитей 440, вес пряжи 177 кг								
Количество оборотов вала, n	Толщина намотки, мм	Длина, м	Радиус намотки, м	Плотность намотки, кг/м <sup>3</sup>	Приращение радиуса намотки, м	Коэффициент нарастания толщины намотки, м/об.	Приращение длины нитей в слое, м	Коэффициент приращения длины в слое, м/об.
9200	113,9	10170,4	0,2339	466,96	0,0048	1,2E-05	574,5	1,43625
9600	118,2	10757,1	0,2382	470,22	0,0043	0,00001075	586,7	1,46675
10000	123	11356	0,243	470,72	0,0048	0,000012	598,9	1,49725
10400	124,1	11905	0,2441	487,62	0,0011	2,75E-06	549	1,3725
10800	129,6	12520,5	0,2496	483,76	0,0055	0,00001375	615,5	1,53875
11200	132,8	13147,8	0,2528	491,50	0,0032	8E-06	627,3	1,56825
11600	138,5	13786,8	0,2585	486,74	0,0057	0,00001425	639	1,5975
12000	141,9	14437,8	0,2619	493,08	0,0034	8,5E-06	651	1,6275
12400	148,6	15100,6	0,2686	483,97	0,0067	1,675E-05	662,8	1,657
12800	152	15775,5	0,272	490,00	0,0034	8,5E-06	674,9	1,68725
13200	157,1	16462,3	0,2771	488,38	0,0051	0,00001275	686,8	1,717
13600	161	17161	0,281	491,95	0,0039	9,75E-06	698,7	1,74675
14000	167	17871,8	0,287	486,63	0,006	0,000015	710,8	1,777
14400	171,4	18594,8	0,2914	488,05	0,0044	1,1E-05	723	1,8075
14800	175,8	19329,8	0,2958	489,41	0,0044	0,000011	735	1,8375
15200	179,9	20077,1	0,2999	491,89	0,0041	0,00001025	747,3	1,86825
15600	185	20837,2	0,305	490,48	0,0051	0,00001275	760,1	1,90025
15970	191,5	21549,6	0,3115	482,65	0,0065	0,00001625	712,4	1,781
Итого по счетчику машины 21500								

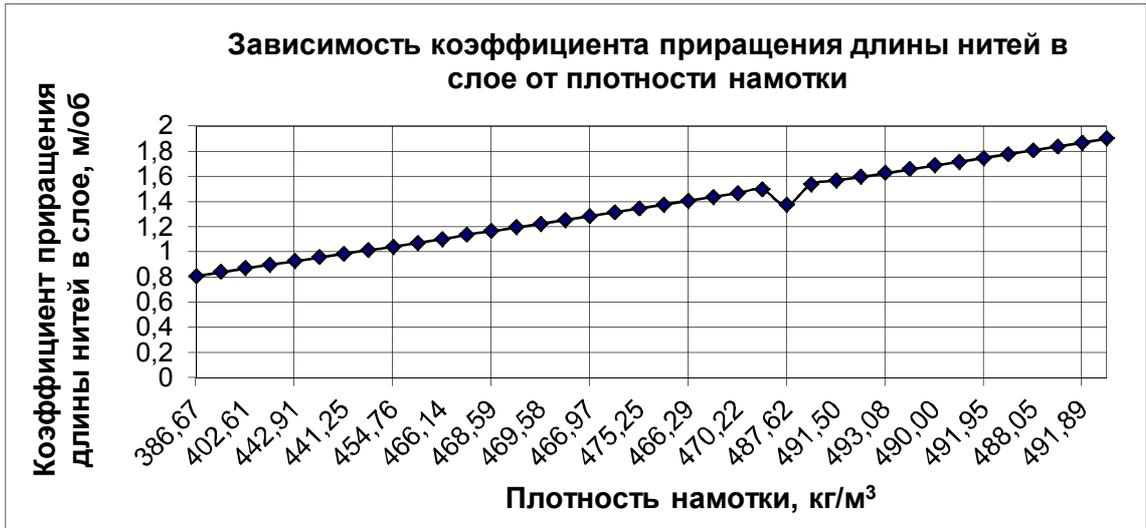


Рис. Б.16. Результаты обработки экспериментальных данных мониторинга вала № 16

Таблица Б.17. Результаты мониторинга экспериментального сновального вала № 17

ВАЛ 17 Время 13:07 Дата 22.10.2012, пряжа 54, кол-во нитей 440, вес пряжи 178 кг								
Количество оборотов вала, n	Толщина намотки, мм	Длина, м	Радиус намотки, м	Плотность намотки, кг/м <sup>3</sup>	Приращение радиуса намотки, м	Коэффициент нарастания толщины намотки, м/об.	Приращение длины нитей в слое, м	Коэффициент приращения длины в слое, м/об.
400	7,1	308,8	0,1271	325,76				
800	10,6	634,1	0,1306	441,79	0,0035	8,75E-06	325,3	0,81325
1200	16,4	969,4	0,1364	426,66	0,0058	0,0000145	335,3	0,83825
1600	21,2	1315	0,1412	439,50	0,0048	0,000012	345,6	0,864
2000	26,6	1672,4	0,1466	436,46	0,0054	0,0000135	357,4	0,8935
2400	31,7	2045,9	0,1517	439,62	0,0051	0,00001275	373,5	0,93375
2800	35,8	2427,3	0,1558	454,98	0,0041	0,00001025	381,4	0,9535
3200	40,3	2820,9	0,1603	462,17	0,0045	0,00001125	393,6	0,984
3600	46,4	3227,3	0,1664	449,46	0,0061	0,00001525	406,4	1,016
4000	52,1	3646	0,1721	443,40	0,0057	0,00001425	418,7	1,04675
4400	56,8	4076,3	0,1768	447,51	0,0047	0,00001175	430,3	1,07575
4800	62,4	4517,6	0,1824	443,08	0,0056	1,4E-05	441,3	1,10325
5200	64,8	4981,3	0,1848	466,76	0,0024	6E-06	463,7	1,15925
5600	69,4	5449,8	0,1894	469,73	0,0046	1,15E-05	468,5	1,17125
6000	74,2	5930,5	0,1942	470,79	0,0048	1,2E-05	480,7	1,20175
6400	79,1	6416,1	0,1991	470,45	0,0049	0,00001225	485,6	1,214
6800	85,7	6919,5	0,2057	458,80	0,0066	0,0000165	503,4	1,2585
7200	89,3	7437,4	0,2093	468,08	0,0036	9E-06	517,9	1,29475
7600	95,1	7968,4	0,2151	462,77	0,0058	0,0000145	531	1,3275
8000	97,8	8529,9	0,2178	477,85	0,0027	6,75E-06	561,5	1,40375
8400	103,4	9139,1	0,2234	476,35	0,0056	0,000014	609,2	1,523
8800	109,1	9750,7	0,2291	473,81	0,0057	0,00001425	611,6	1,529

ВАЛ 17 Время 13:07 Дата 22.10.2012, пряжа 54, кол-во нитей 440, вес пряжи 178 кг

Количество оборотов вала, n	Толщина намотки, мм	Длина, м	Радиус намотки, м	Плотность намотки, кг/м <sup>3</sup>	Приращение радиуса намотки, м	Коэффициент нарастания толщины намотки, м/об.	Приращение длины нитей в слое, м	Коэффициент приращения длины в слое, м/об.
9200	113,9	10398,9	0,2339	477,45	0,0048	1,2E-05	648,2	1,6205
9600	118,2	11079,1	0,2382	484,29	0,0043	0,00001075	680,2	1,7005
10000	123	11726,9	0,243	486,09	0,0048	0,000012	647,8	1,6195
10400	128,4	11963,2	0,2484	468,07	0,0054	0,0000135	236,3	0,59075
10800	133	12590,5	0,253	469,71	0,0046	0,0000115	627,3	1,56825
11200	137,6	13231	0,2576	471,29	0,0046	0,0000115	640,5	1,60125
11600	142,6	13882,8	0,2626	470,93	0,005	0,0000125	651,8	1,6295
12000	147,4	14553,2	0,2674	471,68	0,0048	1,2E-05	670,4	1,676
12400	152	15221,2	0,272	472,79	0,0046	1,15E-05	668	1,67
12800	156,9	15910,4	0,2769	472,85	0,0049	0,00001225	689,2	1,723
13200	161,5	16607,4	0,2815	474,01	0,0046	1,15E-05	697	1,7425
13600	166,3	17313,4	0,2863	474,23	0,0048	1,2E-05	706	1,765
14000	172,1	18041,1	0,2921	470,79	0,0058	1,45E-05	727,7	1,81925
14400	176,2	18782	0,2962	474,00	0,0041	0,00001025	740,9	1,85225
14800	180,6	19526,2	0,3006	475,75	0,0044	1,1E-05	744,2	1,8605
15200	185,2	20287,3	0,3052	476,80	0,0046	0,0000115	761,1	1,90275
15600	189,9	21051,1	0,3099	477,23	0,0047	1,175E-05	763,8	1,9095
15995	193,1	21581	0,3131	477,58	0,0032	8E-06	529,9	1,32475
Итого по счетчику машины 21500								

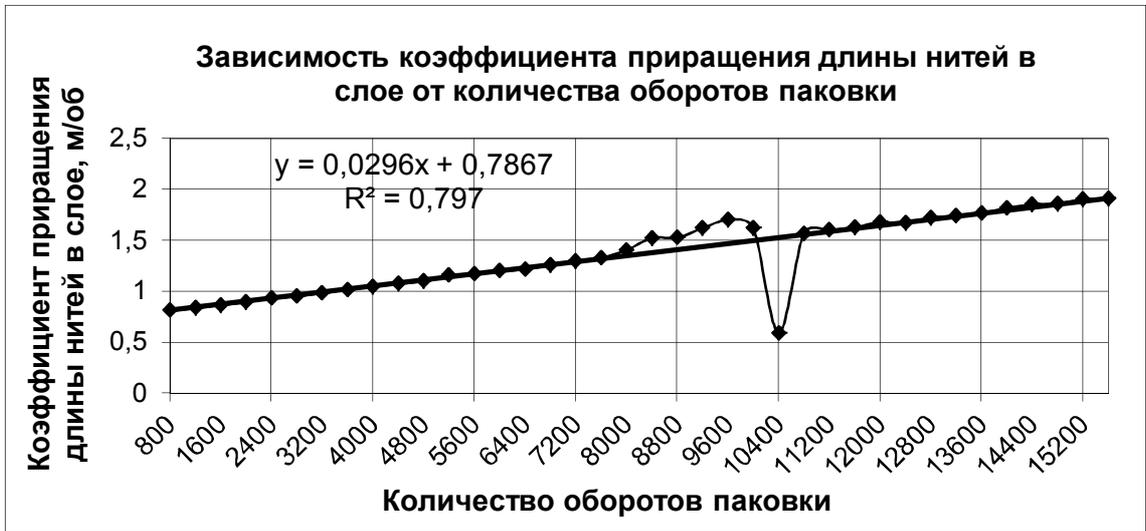
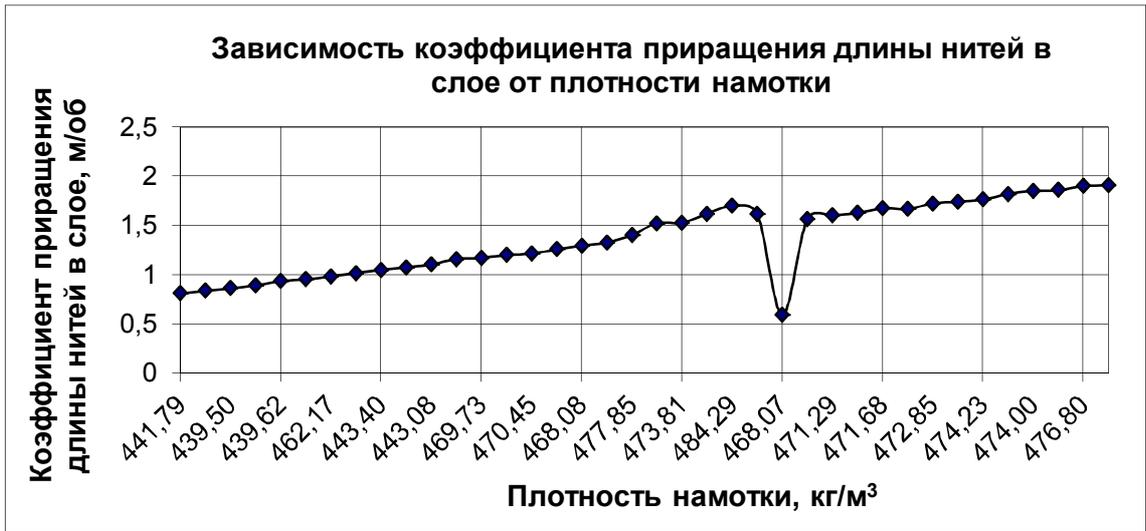


Рис. Б.17. Результаты обработки экспериментальных данных мониторинга вала № 17

Таблица Б.18. Результаты мониторинга экспериментального сновального вала № 18

ВАЛ 18 Время 15:00 Дата 22.10.2012, пряжа 54, кол-во нитей 440, вес пряжи 177 кг								
Количество оборотов вала, n	Толщина намотки, мм	Длина, м	Радиус намотки, м	Плотность намотки, кг/м <sup>3</sup>	Приращение радиуса намотки, м	Коэффициент нарастания толщины намотки, м/об.	Приращение длины нитей в слое, м	Коэффициент приращения длины в слое, м/об.
400	6	307,6	0,126	385,70				
800	11	627,5	0,131	420,62	0,005	0,0000125	319,9	0,79975
1200	15,2	959,1	0,1352	457,60	0,0042	0,0000105	331,6	0,829
1600	20,5	1302,6	0,1405	451,43	0,0053	0,00001325	343,5	0,85875
2000	24,4	1657,9	0,1444	475,61	0,0039	9,75E-06	355,3	0,88825
2400	29,4	2025	0,1494	473,18	0,005	0,0000125	367,1	0,91775
2800	33,9	2404,3	0,1539	479,23	0,0045	1,125E-05	379,3	0,94825
3200	40,1	2795,1	0,1601	460,56	0,0062	0,0000155	390,8	0,977
3600	43,2	3197,8	0,1632	483,75	0,0031	7,75E-06	402,7	1,00675
4000	48,5	3612,1	0,1685	477,77	0,0053	1,325E-05	414,3	1,03575
4400	52,3	4038,3	0,1723	488,89	0,0038	9,5E-06	426,2	1,0655
4800	57,5	4476,7	0,1775	484,34	0,0052	0,000013	438,4	1,096
5200	61,8	4936	0,1818	489,79	0,0043	0,00001075	459,3	1,14825
5600	66,3	5398,7	0,1863	492,01	0,0045	0,00001125	462,7	1,15675
6000	70,9	5873,5	0,1909	493,15	0,0046	1,15E-05	474,8	1,187
6400	75,8	6360,3	0,1958	491,75	0,0049	1,225E-05	486,8	1,217
6800	80	6859,1	0,2	495,88	0,0042	1,05E-05	498,8	1,247
7200	84,8	7369,6	0,2048	495,20	0,0048	1,2E-05	510,5	1,27625
7600	89,5	7892,3	0,2095	495,30	0,0047	0,00001175	522,7	1,30675
8000	94,9	8427	0,2149	490,72	0,0054	0,0000135	534,7	1,33675
8400	100,5	8974	0,2205	485,34	0,0056	0,000014	547	1,3675
8800	104,6	9532,9	0,2246	489,47	0,0041	0,00001025	558,9	1,39725

ВАЛ 18 Время 15:00 Дата 22.10.2012, пряжа 54, кол-во нитей 440, вес пряжи 177 кг

Количество оборотов вала, n	Толщина намотки, мм	Длина, м	Радиус намотки, м	Плотность намотки, кг/м <sup>3</sup>	Приращение радиуса намотки, м	Коэффициент нарастания толщины намотки, м/об.	Приращение длины нитей в слое, м	Коэффициент приращения длины в слое, м/об.
9200	107,5	10103,7	0,2275	500,57	0,0029	7,25E-06	570,8	1,427
9600	110,9	10686,3	0,2309	508,23	0,0034	8,5E-06	582,6	1,4565
10000	117,7	11281	0,2377	495,90	0,0068	0,000017	594,7	1,48675
10400	120,7	11889,5	0,2407	505,42	0,003	7,5E-06	608,5	1,52125
10800	126,8	12506,7	0,2468	497,67	0,0061	0,00001525	617,2	1,543
11200	132,8	13135,7	0,2528	491,05	0,006	1,5E-05	629	1,5725
11600	137,1	13776,7	0,2571	493,17	0,0043	1,075E-05	641	1,6025
12000	141,3	14429,6	0,2613	495,67	0,0042	0,0000105	652,9	1,63225
12400	144,2	15094,3	0,2642	504,24	0,0029	7,25E-06	664,7	1,66175
12800	150	15770,9	0,27	498,94	0,0058	1,45E-05	676,6	1,6915
13200	156	16459,4	0,276	493,11	0,006	0,000015	688,5	1,72125
13600	160,1	17159,8	0,2801	495,79	0,0041	0,00001025	700,4	1,751
14000	164,5	17872,2	0,2845	497,09	0,0044	1,1E-05	712,4	1,781
14400	169,6	18596,6	0,2896	495,44	0,0051	0,00001275	724,4	1,811
14800	174,2	19333	0,2942	495,89	0,0046	1,15E-05	736,4	1,841
15200	179	20081,2	0,299	495,53	0,0048	1,2E-05	748,2	1,8705
15600	183,9	20841,3	0,3039	494,79	0,0049	0,00001225	760,1	1,90025
15915	191,3	21552,7	0,3113	483,45	0,0074	0,0000185	711,4	1,7785
Итого по счетчику машины 21500								

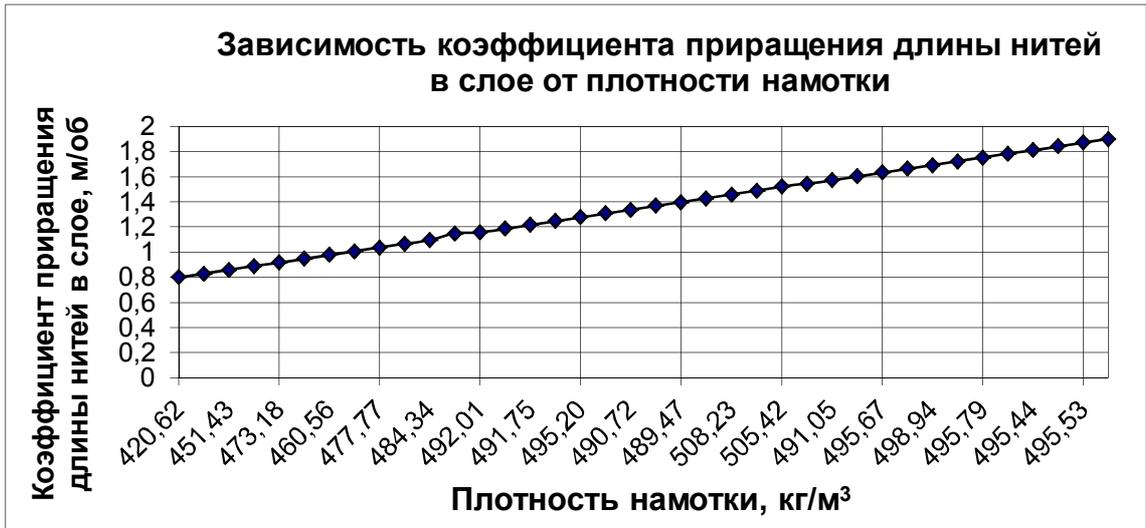


Рис. Б.18. Результаты обработки экспериментальных данных мониторинга вала № 18

Таблица Б.19. Результаты мониторинга экспериментального сновального вала № 19

ВАЛ 19 Время 17:50 Дата 22.10.2012, пряжа 54, кол-во нитей 440, вес пряжи 177 кг								
Количество оборотов вала, n	Толщина намотки, мм	Длина, м	Радиус намотки, м	Плотность намотки, кг/м <sup>3</sup>	Приращение радиуса намотки, м	Коэффициент нарастания толщины намотки, м/об.	Приращение длины нитей в слое, м	Коэффициент приращения длины в слое, м/об.
400	5,2	307,7	0,1252	446,63				
800	10,3	628,9	0,1303	451,47	0,0051	0,00001275	321,2	0,803
1200	14,4	961,6	0,1344	485,80	0,0041	0,00001025	332,7	0,83175
1600	19,9	1306	0,1399	467,34	0,0055	0,00001375	344,4	0,861
2000	23,8	1662	0,1438	489,92	0,0039	9,75E-06	356	0,89
2400	29,2	2029,8	0,1492	477,90	0,0054	0,0000135	367,8	0,9195
2800	33,3	2409,4	0,1533	489,97	0,0041	0,00001025	379,6	0,949
3200	37,8	2800,8	0,1578	493,63	0,0045	0,00001125	391,4	0,9785
3600	44,1	3204	0,1641	473,29	0,0063	0,00001575	403,2	1,008
4000	47,2	3619,2	0,1672	494,12	0,0031	7,75E-06	415,2	1,038
4400	52,8	4046	0,1728	484,36	0,0056	0,000014	426,8	1,067
4800	56,6	4484,9	0,1766	494,44	0,0038	9,5E-06	438,9	1,09725
5200	62	4944,2	0,182	488,70	0,0054	0,0000135	459,3	1,14825
5600	66,3	5407,2	0,1863	492,78	0,0043	0,00001075	463	1,1575
6000	70,7	5882,3	0,1907	495,60	0,0044	0,000011	475,1	1,18775
6400	75,5	6369,3	0,1955	494,87	0,0048	1,2E-05	487	1,2175
6800	79,7	6868,2	0,1997	498,87	0,0042	0,0000105	498,9	1,24725
7200	84,4	7378,9	0,2044	498,79	0,0047	0,00001175	510,7	1,27675
7600	88,9	7901,3	0,2089	500,12	0,0045	0,00001125	522,4	1,306
8000	94	8435,4	0,214	497,25	0,0051	0,00001275	534,1	1,33525
8400	98,7	8981,4	0,2187	497,23	0,0047	0,00001175	546	1,365
8800	103,4	9539,3	0,2234	497,21	0,0047	0,00001175	557,9	1,39475

ВАЛ 19 Время 17:50 Дата 22.10.2012, пряжа 54, кол-во нитей 440, вес пряжи 177 кг

Количество оборотов вала, n	Толщина намотки, мм	Длина, м	Радиус намотки, м	Плотность намотки, кг/м <sup>3</sup>	Приращение радиуса намотки, м	Коэффициент нарастания толщины намотки, м/об.	Приращение длины нитей в слое, м	Коэффициент приращения длины в слое, м/об.
9200	107,3	10109,1	0,2273	502,06	0,0039	9,75E-06	569,8	1,4245
9600	111,1	10690,8	0,2311	507,24	0,0038	9,5E-06	581,7	1,45425
10000	117,3	11284,3	0,2373	498,30	0,0062	1,55E-05	593,5	1,48375
10400	120,9	11726,9	0,2409	497,41	0,0036	9E-06	442,6	1,1065
10800	125,5	12178,5	0,2455	491,37	0,0046	0,0000115	451,6	1,129
11200	129,6	12800,1	0,2496	494,56	0,0041	0,00001025	621,6	1,554
11600	135,3	13433,2	0,2553	489,61	0,0057	0,00001425	633,1	1,58275
12000	140,1	14078,1	0,2601	489,28	0,0048	1,2E-05	644,9	1,61225
12400	144,9	14734,8	0,2649	488,96	0,0048	1,2E-05	656,7	1,64175
12800	150,9	15403,1	0,2709	483,28	0,006	0,000015	668,3	1,67075
13200	155	16081,5	0,275	486,12	0,0041	0,00001025	678,4	1,696
13600	158,3	16773,6	0,2783	492,36	0,0033	8,25E-06	692,1	1,73025
14000	164	17477,6	0,284	488,20	0,0057	1,425E-05	704	1,76
14400	168,6	18193,3	0,2886	488,77	0,0046	1,15E-05	715,7	1,78925
14800	173,9	18920,9	0,2939	486,51	0,0053	1,325E-05	727,6	1,819
15200	177,4	19660,4	0,2974	491,40	0,0035	8,75E-06	739,5	1,84875
15600	183,4	20411,7	0,3034	486,49	0,006	0,000015	751,3	1,87825
16000	187,3	21175,1	0,3073	489,67	0,0039	9,75E-06	763,4	1,9085
16235	189,9	21539,8	0,3099	488,31	0,0026	6,5E-06	364,7	0,91175

Итого по счетчику машины 21500



Рис. Б.19. Результаты обработки экспериментальных данных мониторинга вала № 19

Таблица Б.20. Результаты мониторинга экспериментального сновального вала № 20

ВАЛ 20 Время 19:35 Дата 22.10.2012, пряжа 54, кол-во нитей 440, вес пряжи 179 кг								
Количество оборотов вала, n	Толщина намотки, мм	Длина, м	Радиус намотки, м	Плотность намотки, кг/м <sup>3</sup>	Приращение радиуса намотки, м	Коэффициент нарастания толщины намотки, м/об.	Приращение длины нитей в слое, м	Коэффициент приращения длины в слое, м/об.
400	5,1	308,7	0,1251	457,06				
800	10,1	630,3	0,1301	461,80	0,005	0,0000125	321,6	0,804
1200	14,4	964	0,1344	487,02	0,0043	0,00001075	333,7	0,83425
1600	19,9	1309,2	0,1399	468,48	0,0055	0,00001375	345,2	0,863
2000	23,8	1666	0,1438	491,10	0,0039	9,75E-06	356,8	0,892
2400	29	2034,4	0,149	482,65	0,0052	0,000013	368,4	0,921
2800	33,3	2414,8	0,1533	491,07	0,0043	0,00001075	380,4	0,951
3200	38	2806,8	0,158	491,73	0,0047	0,00001175	392	0,98
3600	42,6	3210,5	0,1626	493,56	0,0046	0,0000115	403,7	1,00925
4000	47,4	3626,2	0,1674	492,64	0,0048	0,000012	415,7	1,03925
4400	51,9	4053,8	0,1719	495,23	0,0045	0,00001125	427,6	1,069
4800	56,6	4493,2	0,1766	495,35	0,0047	0,00001175	439,4	1,0985
5200	60,1	4956,8	0,1801	508,64	0,0035	8,75E-06	463,6	1,159
5600	64,2	5421,6	0,1842	513,78	0,0041	1,025E-05	464,8	1,162
6000	71,1	5898,4	0,1911	493,53	0,0069	0,00001725	476,8	1,192
6400	74,4	6386,9	0,1944	505,34	0,0033	8,25E-06	488,5	1,22125
6800	77,3	6887	0,1973	519,67	0,0029	7,25E-06	500,1	1,25025
7200	82,4	7399,1	0,2024	515,47	0,0051	1,275E-05	512,1	1,28025
7600	88	7922	0,208	507,95	0,0056	0,000014	522,9	1,30725
8000	90,9	8456,6	0,2109	520,33	0,0029	7,25E-06	534,6	1,3365
8400	94,7	9002,5	0,2147	525,66	0,0038	9,5E-06	545,9	1,36475
8800	99,8	9561,1	0,2198	521,79	0,0051	0,00001275	558,6	1,3965

ВАЛ 20 Время 19:35 Дата 22.10.2012, пряжа 54, кол-во нитей 440, вес пряжи 179 кг

Количество оборотов вала, n	Толщина намотки, мм	Длина, м	Радиус намотки, м	Плотность намотки, кг/м <sup>3</sup>	Приращение радиуса намотки, м	Коэффициент нарастания толщины намотки, м/об.	Приращение длины нитей в слое, м	Коэффициент приращения длины в слое, м/об.
9200	104,8	10131,2	0,2248	518,89	0,005	0,0000125	570,1	1,42525
9600	111,6	10712,7	0,2316	505,28	0,0068	1,7E-05	581,5	1,45375
10000	115,9	11307	0,2359	507,32	0,0043	1,075E-05	594,3	1,48575
10400	119,3	12072,7	0,2393	521,26	0,0034	8,5E-06	765,7	1,91425
10800	124,1	12799,4	0,2441	524,26	0,0048	1,2E-05	726,7	1,81675
11200	128,7	13529,5	0,2487	527,69	0,0046	0,0000115	730,1	1,82525
11600	132,8	14261,3	0,2528	533,13	0,0041	1,025E-05	731,8	1,8295
12000	138,5	15006,5	0,2585	529,80	0,0057	0,00001425	745,2	1,863
12400	142,9	15801,8	0,2629	534,48	0,0044	0,000011	795,3	1,98825
12800	147,4	16576,8	0,2674	537,27	0,0045	1,125E-05	775	1,9375
13200	152,3	17453,7	0,2723	540,65	0,0049	0,00001225	876,9	2,19225
13600	156,2	18314,1	0,2762	547,69	0,0039	9,75E-06	860,4	2,151
14000	161,3	19224,5	0,2813	549,66	0,0051	0,00001275	910,4	2,276
14400	166,1	20174	0,2861	553,52	0,0048	1,2E-05	949,5	2,37375
14800	170,2	21209	0,2902	562,23	0,0041	0,00001025	1035	2,5875
15050	173	21630	0,293	560,28	0,0028	7E-06	421	1,0525
Итого по счетчику машины 21500								

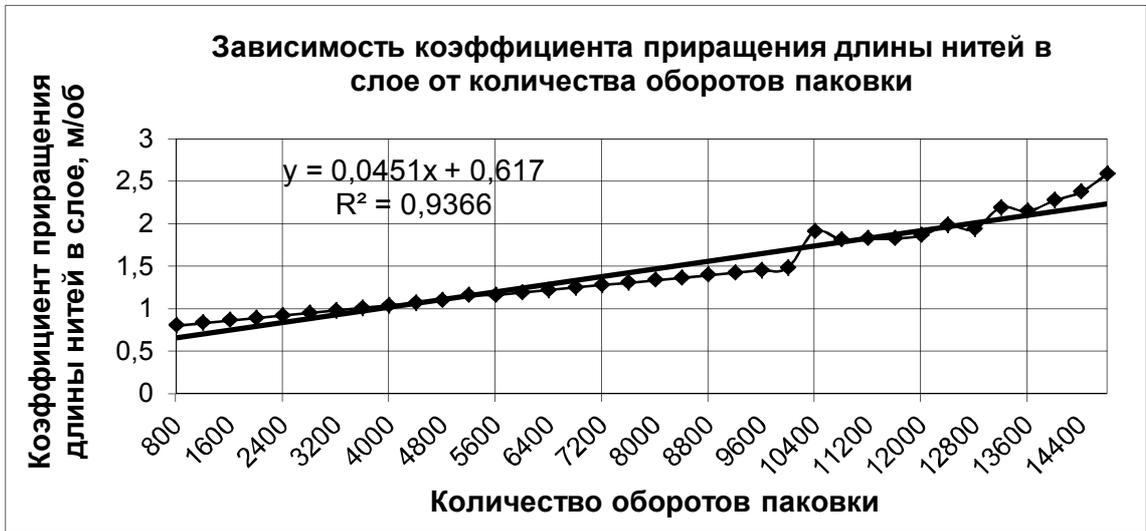
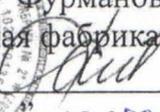


Рис. Б.20. Результаты обработки экспериментальных данных мониторинга вала № 20

АКТ  
ИСПЫТАНИЯ МИКРОПРОЦЕССОРНОЙ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА  
КИНЕМАТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПАРТИОННОГО СТРОВАНИЯ

**УТВЕРЖДАЮ:**  
Генеральный директор  
ОАО «Фурмановская прядильно-ткацкая фабрика № 2»  
  
Е.В. Каблуков  
« 23 » марта 2015 г.



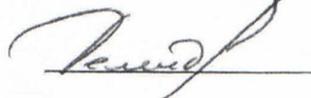
## АКТ

### испытания микропроцессорной системы мониторинга кинематических параметров партионного снования

Настоящий акт составлен представителем ОАО «Фурмановская прядильно-ткацкая фабрика № 2» в лице начальника подготовительного отдела ткацкого производства Василидова Б.И. с одной стороны, и представителем федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Ивановский государственный политехнический университет» в лице аспиранта кафедры автоматики и радиоэлектроники Демидова Н.А. в том, что на предприятии испытана микропроцессорная система мониторинга кинематических параметров партионного снования для определения структурной однородности сновальных валов в партии для шлихтовальной машины. Испытания подтвердили возможность определения параметров напряженно-деформированного состояния по закономерности изменения в процессе формирования паковки коэффициента нарастания длины нитей в слое. Снижение количества мягких отходов при шлихтовании хлопчатобумажной пряжи 18,5 текс в результате формирования партии сновальных валов с однородной структурой составило не менее 65%.

От ФГБОУ ВПО  
«Ивановский государственный  
политехнический университет»

Аспирант каф. автоматики и  
радиоэлектроники

  
Н.А. Демидов

От ОАО «Фурмановская прядильно-ткацкая фабрика № 2»

Начальник подготовительного отдела

  
В.И. Василидов

АКТ  
ВНЕДРЕНИЯ В УЧЕБНЫЙ ПРОЦЕСС РЕЗУЛЬТАТОВ  
ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

