Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Костромской государственный университет»

На правах рукописи

Лапшин Валерий Васильевич

РАЗРАБОТКА МЕТОДОЛОГИЧЕСКИХ ОСНОВ И АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ОЦЕНКИ СВОЙСТВ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Специальность 05.19.01 - Материаловедение производств
текстильной и легкой промышленности

ДИССЕРТАЦИЯ
на соискание ученой степени доктора технических наук

Научный консультант:
Заслуженный деятель науки РФ,
доктор технических наук, профессор
Смирнова Надежда Анатольевна

Кострома
2019

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....5
1. АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ ОЦЕНКИ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ШВЕЙНЫХ ИЗДЕЛИЙ. ПРОБЛЕМЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ КОНФЕКЦИОНИРОВАНИЯ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ОДЕЖДЫ 13
1.1. Анализ методов определения характеристик изгиба полотен.....13
1.2. Анализ методов определения характеристик растяжения текстильных материалов.....35
1.3. Анализ методов определения способности тканей к сдвигу нитей.....50
1.4. Разработка методологических основ создания автоматизированного измерительного комплекса.....55
Выводы по главе…….....61
2. РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ИЗГИБА 63
2.1. Определение характеристик изгиба материалов в квазистатическом режиме.....63
2.2. Расчет метрологических характеристик автоматизированного устройства …….....84
2.3. Определение характеристик изгиба в динамическом режиме.....94
Выводы по главе.....114
3. РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК СДВИГА.....116
Выводы по главе.....127
4. РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК РАСТЯЖЕНИЯ.....128
4.1. Определение одноцикловых характеристик текстильных материалов в динамических условиях растяжения..... 128
4.2. Термомеханические исследования материалов.....137
4.3. Расчет динамической погрешности измерительного канала.....146

Выводы по главе.....151
5. РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ И ЭКСПЛУТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ.....153
5.1. Определение коэффициента тангенциального сопротивления по методу Эдерлея……..…….....…….....153
5.2. Определение осыпаемости тканей.....158
5.3. Определение формуемости и пластичности материалов при пространственном растяжении.....160
5.4. Определение свойств полотен при складкообразовании……..…….....168
Выводы по главе.....170
6. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ РАЗРАБОТКИ МЕТОДОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ .....…….....172
6.1. Моделирование свойств материалов.....172
6.2. Прогнозирование свойств материалов с использованием интеллектуальной системы, созданной на базе искусственных нейронных сетей.....176
6.3. Прогнозирование свойств тканей с использованием системного подхода 190
6.3.1. Проектирование тканей с заданными свойствами……..…190
6.3.2. Прогнозирование свойств тканей при конфекционировании……...193
Выводы по главе.....200
7. ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ РАБОТЫ.....201
7.1. Конфекционирование материалов с учетом свойств материалов.....201
7.2. Разработка проекта предварительного национального стандарта определения характеристик изгиба.....204
Выводы по главе.....216
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....217
Библиографический список.....219

Приложение 1. Статическая характеристика датчика положения ткани.....243
Приложение 2. Статическая характеристика датчика определения силы сдвига.....248
Приложение 3. Исследование статических характеристик автоматизированных устройств к стандартному оборудованию.....252
Приложение 4. Инструкция по эксплуатации автоматизированной системы для определения характеристик изгиба в квазистатическом режиме.....264
Приложение 5. Расчет договорной цены автоматизированного устройства для определения характеристик изгиба в квазистатическом режиме.....278
Приложение 6. Шкала деформационных свойств материалов для реализации цифровизации конфекционирования.....284
Приложение 7. Патенты на изобретения, полезные модели, свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.....285
Приложение 7. Акты внедрения результатов диссертационного исследования.....308
Приложение 7.1.....308
Приложение 7.2.....309
Приложение 7.3.....310
Приложение 7.4.....311
Приложение 7.5.....312
Приложение 7.6.....313
Приложение 7.7.....314
Приложение 7.8.....315
Приложение 7.9.....317
Приложение 7.10.....318

ВЕДЕНИЕ

Актуальность. В Указах Президента Российской Федерации «О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации» (от 01.12.2016 г. № 642) и «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года» (от 07.05.2018 г. № 204), а также Государственной программе «Цифровая экономика Российской Федерации» (от 28 июля 2017 г. № 1632-р) установлены приоритеты развития цифровой экономики и цифрового производства на основе отечественных разработок, импортозамещения, обновления приборной базы организаций, выполняющих научные исследования и разработки.

Обеспечение качества продукции требует знания свойств материалов, умения правильно измерять и объективно оценивать важнейшие показатели качества, а также достоверно прогнозировать количественные характеристики свойств продукции. Решение этих проблемных задач достигается применением современных компьютерных технологий, позволяющих цифровизировать конфекционирование материалов, создать базу данных по материалам различных групп и разработать методы прогнозирования их технологических и эксплуатационных свойств.

Значительные работы в области исследования свойств текстильных материалов принадлежат Г.Н. Кукину, А.Н. Соловьеву, Б.А. Бузову, А.П. Жихареву, К.Е. Перепелкину. В настоящее время проблемами оценки и исследования свойств активно занимаются Б.Н. Гусев, Ю.С. Шустов, Н.А. Смирнова, С.В. Роде, В.Н. Белокуров, А.В. Куличенко, А.Ю. Матрохин, С.М. Кирюхин, В.Е. Кузьмичев и др. В зарубежных странах Ф. Пирс, В. Мортон, Д. Херл, Т. Кавабата и др.

Не смотря на значительное количество нормативно-технической документации, регламентирующей методики проведения испытаний, существующие методы обеспечивают только выходной контроль качества продукции текстильных предприятий и требуют значительных материальных и

временных затрат, большинство из них устарели и не позволяют прогнозировать поведение материалов в условиях их дальнейшей переработки и эксплуатации в изделиях.

На сегодняшний день отсутствует единый подход при выборе средств измерений и характеристик свойств материалов, определяющих их функциональное назначение.

Вследствие этого, разработка автоматизированных систем измерений и методов прогнозирования свойств материалов, направленных на снижение временных и материальных затрат при оценке качества текстильных материалов с одновременным повышением их информативности является **актуальной научной и практической задачей.**

Диссертационная работа выполнялась в соответствии с тематикой госбюджетных научно-исследовательских работ, финансируемых по единому заказу-наряду: 1.7-БФ-07 «Разработка методов оценки и прогнозирования качества изделий на основе исследований свойств материалов, входящих в пакет одежды» и 1.7-БФ-11 «Развитие научных основ проектирования и разработка методов оценки свойств различных материалов с целью совершенствования ассортимента, технологии изготовления и экспертизы швейных изделий».

Цель диссертационной работы заключается в разработке и использовании автоматизированных систем для комплексного определения свойств материалов, позволяющих расширить информативность измерений, реализовать цифровизацию конфекционирования, моделирование и прогнозирование свойств при изготовлении и эксплуатации, обеспечивающего улучшение оценки качества продукции.

Для достижения поставленной цели в работе решены следующие задачи:

– методологически обоснованы, разработаны и реализованы новые автоматизированные системы и устройства для комплексного определения свойств текстильных материалов, основанные на современной

микроэлектронной базе, объединенные в автоматизированный измерительный комплекс позволяющий определять характеристики изгиба в статическом и динамическом режимах, характеристики сдвига и растяжения, коэффициенты тангенциального сопротивления, осыпаемость тканей, устойчивость складок, формуемость и пластичность при пространственном растяжении;

– проведен анализ методов определения свойств материалов для изделий легкой промышленности;

– выполнена систематизация и классификация методов определения основных свойств материалов;

– разработано программное обеспечение, управляющее в режиме реального времени работой автоматизированных систем и устройств, входящих в автоматизированный комплекс;

– на основе проведенных комплексных экспериментальных исследований обосновано расширение информативности измерений за счет графического представления результатов испытаний и информации об изменении свойств в процессе испытательного цикла «нагрузка – разгрузка – отдых»;

– разработаны и апробированы методы прогнозирования свойств материалов и их изменений в условиях изготовления и эксплуатации изделий с использованием новых характеристик;

– разработан проект предварительного национального стандарта ГОСТ Р «Материалы для изделий легкой промышленности. Метод определения характеристик изгиба».

Объект исследования. Текстильные материалы для изделий легкой промышленности и их свойства.

Предмет исследования. Методы и технические средства измерений показателей свойств.

Область исследования. Работа выполнена в соответствии пунктами 2, 6, 7, 8, 10 Паспорта специальности 05.19.01 – Материаловедение производств текстильной и легкой промышленности.

Методология исследования основывается на использовании общенаучных методов исследования, позволяющих решить поставленные задачи: анализе и синтезе теоретического и практического материала, группировке и сравнении, научной абстракции и прогнозировании, математическом моделировании, а также на системном подходе, что обеспечивает достоверность диссертационного исследования.

В работе использованы методы квалиметрии, теоретические основы метрологии, теория колебаний систем с распределенной и сосредоточенной массой, методы математического анализа, теоретические и практические знания в области создания интеллектуальных систем. При обработке экспериментальных данных использовались методы математической статистики, корреляционно-регрессионного анализа, аналитического моделирования, программные продукты: MathCad, MatLab, NeuroOffise, пакеты прикладных программ, разработанных автором. Достоверность результатов и проведенных исследований подтверждается применением современных методов исследований апробацией основных положений диссертации в научной периодической печати и на конференциях, а также патентами и актами производственной апробации.

Научная новизна результатов работы заключается в разработке методологии комплексной оценки свойств текстильных материалов в системе «характеристики строения материала – свойства материала» базирующейся на автоматизированных методах измерения, моделирования и прогнозирования свойств текстильных материалов для обеспечения улучшения оценки их качества. Наиболее существенные результаты, выносимые на защиту:

– разработанный автоматизированный комплекс, объединяющий автоматизированные системы и устройства для определения свойств текстильных материалов, новизна которых подтверждена патентами РФ на изобретения и полезные модели, позволяющий получить новые характеристики свойств материалов, повышающие объективность оценки их качества и расширяющие информативность измерений, осуществляющий реализацию

новых методов: определение характеристик изгиба в статическом и динамическом режимах, определение характеристик сдвига и растяжения и усовершенствованных методик: определения коэффициента тангенциального сопротивления, осыпаемости тканей, устойчивости складок, формуемости и пластичности при пространственном растяжении;

– разработанные методологические основы создания автоматизированного измерительного комплекса, способы регистрации изучаемых процессов, конструкции автоматизированных систем и устройств, алгоритмы измерений;

– разработанная интеллектуальная система для прогнозирования свойств материалов на основе искусственных нейронных сетей;

– разработанный расчетный метод, который определяет динамические свойства материалов в процессе их восстановления после изгиба, в котором осуществлено моделирование процесса восстановления ткани после изгиба;

– разработанная методология цифровизации конфекционирования;

– разработанный метод определения модуля упругости $E_и$ и жесткости $D_и$ на изгиб при свободных колебаниях консольно закрепленных проб;

– предложенный метод проектирования тканей с заданными свойствами с использованием системного подхода;

– разработанная методика расчета метрологических характеристик измерительных автоматизированных систем и устройств;

– разработанная методика определения динамической погрешности измерительного канала автоматизированных систем и устройств.

Практическая значимость работы.

Разработаны и внедрены в практику научных исследований автоматизированный комплекс и методы прогнозирования свойств текстильных материалов, позволяющие оценить их качество при незначительных временных затратах на проведение испытаний и не требующие дорогостоящего испытательного оборудования.

Разработаны и используются методы прогнозирования свойств при проектировании тканей с использованием системного подхода, позволяющие обеспечить экономию сырья.

Разработана методика реализации цифровизации конфекционирования позволяющая сократить затраты времени на конфекционирование материалов и разработку конструкций и снизить себестоимость продукции.

Предложены новые справочные сведения и шкалы технологических и эксплуатационных свойств по материалам для одежды.

Разработан проект предварительного национального стандарта ГОСТ Р «Материалы для изделий легкой промышленности. Метод определения характеристик изгиба».

Апробация и реализация результатов работы. Основные положения и результаты диссертационной работы изложены, обсуждены и получили положительную оценку на следующих конференциях: Международной научно-технической конференции «Современные наукоемкие технологии и перспективные материалы текстильной и легкой промышленности» «ПРОГРЕСС» (г. Иваново, ИГТА, 1997, 2002, 2004, 2010, 2012, 2013); Международной научно-технической конференции «Современные наукоемкие инновационные технологии развития промышленности региона» «ЛЕН» (г. Кострома, КГТУ, 1998, 2004, 2006, 2008, 2012, 2014, 2016); Международной научно-технической конференции «Роль предметов личного потребления в формировании среды жизнедеятельности человека» (г. Москва, МГУДТ, 2002); Международной конференции и выставке «Волокнистые материалы – XXI век» (г. Санкт-Петербург, СПГУТД, 2005); Всероссийском научно-методическом семинаре по материаловедению «Совершенствование профессиональной подготовки специалистов в области материаловедения, экспертизы и управления качеством изделий, услуг и работ» (Черкизово, МГУСТ, 2008); Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы создания и использования новых материалов и оценки их качества» «МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ» (Москва, РГУТиС, 2010); Международной научно-

технической конференции «Современные технологии и оборудование текстильной промышленности» «ТЕКСТИЛЬ» (Москва, МГТУ им. А.Н. Косыгина, 2010); Международной научно-практической конференции «Техническое регулирование: базовая основа качества материалов, товаров и услуг» (Шахты, ФГБОУ ВПО «ЮРГУЭС» 2011, 2012, 2013); Всероссийской научно-практической конференции «Экология и качество современных изделий легкой промышленности» (г. Киров, ВятГГУ, 2012 г); 2nd World & Science: materials of the international research and practice conference, Brno, Czeh.Rep,July 1 2014; Международной научно-практической конференции «Модели инновационного развития текстильной и легкой промышленности на базе интеграции университетской науки и индустрии образование–наука–производство» (Казань, КНИТУ, 2016); Третьем международном научно-практическом симпозиуме «Научно-производственное партнерство: взаимодействия науки и текстильных предприятий и новые сферы применения технического текстиля» (г. Москва, 2018); Всероссийской научно-практической конференции «Научные исследования и разработки в области дизайна и технологий» (г. Кострома, 2019); заседаниях кафедры дизайна, технологии, материаловедения и экспертизы потребительских товаров и на университетском научно-методическом семинаре «Материаловедение производств текстильной и легкой промышленности (г. Кострома, 2008–2019 гг.).

Автоматизированная система определения характеристик изгиба апробирована и получила положительную оценку ОАО «ЦНИИПИК» г. Москва, на предприятии ИП «Метелева О.В.» г. Киров, на ЗАО «Новый мир» г. Переславль-Залесский.

Разработанный метод автоматизированного прогнозирования, созданный на базе искусственных нейронных сетей и цифровая база данных по свойствам тканей используются ООО «ПАЗЛ» г. Кострома, ООО «Вотекс», г. Вологда.

Основные результаты работы также нашли применение на предприятиях: ООО «Серебряная нить» г. Псков, ЗАО «МОДА», ИП «Беляева Н.В.» г. Нерехта.

Результаты диссертационной работы используются в научно-исследовательском и учебном процессах КГУ (г. Кострома) и ИВГПУ (г. Иваново).

Автоматизированный измерительный комплекс позволяющий реализовать новые методы оценки свойств полотен апробирован при выполнении научных работ аспирантами университета: Д.А. Козловским, Л.В. Вороновой, И.Б. Пугачевой, В.В. Замышляевой, Н.Н. Добрыниной, М.В. Томиловой, что отражено в совместных публикациях.

Личный вклад автора состоит в постановке и обосновании проблемы, разработке методологии, решении задач теоретического и экспериментального характера, обобщении результатов, их анализе и формулировании выводов, изложенных в диссертации. При непосредственном участии автора разработана аппаратура и методики исследований свойств текстильных материалов. **Публикации.** Основные результаты диссертационной работы изложены в 96 публикациях, из них: 26 статей в журналах, рекомендованных ВАК для опубликования основных научных результатов докторских диссертаций, 11 патентов на изобретения и полезные модели, свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ, 6 авторских программ для ЭВМ зарегистрированных в каталоге средств программного обеспечения, применяемого в КГУ, 2 монографии. Остальные публикации представлены в журналах, сборниках материалов и тезисах докладов конференций различного уровня.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, семи глав, выводов, библиографического списка, включающего 204 наименования и 8 приложений. Общий объем работы составляет 318 страниц, включая 124 рисунка и 38 таблиц.

1. Анализ современного состояния оценки технологических и эксплуатационных свойств материалов для изделий легкой промышленности

1.1. Анализ методов определения характеристик изгиба полотен

Текстильные материалы и изделия легкой промышленности являются объектами, для которых действуют законы и методы механики. Изучение механических свойств этих объектов имеет большой практический интерес с целью проектирования изделий и совершенствования технологического процесса их производства с учетом механических свойств материалов для повышения качества выпускаемой продукции [1, 2].

Научные труды по исследованию свойств текстильных материалов принадлежат Г.Н. Кукину, А.Н. Соловьеву, Б.А. Бузову, А.П. Жихареву, С.М. Кирюхину, Б.Н. Гусеву, Ю.С. Шустову, К.Е. Перепелкину, Н.А. Смирновой, С.В. Роде, В.Н. Белокурову, А.В. Куличенко, А.Ю. Матрохину и др.

Под «механическими свойствами материалов следует понимать совокупность показателей, характеризующих сопротивление материала воздействующей на него нагрузке, его способность деформироваться при этом, а также особенности его поведения в процессе разрушения» [3].

Процессы, протекающие во времени и приводящие к установлению равновесного состояния материала называются релаксационными. Релаксационные процессы в текстильных материалах наблюдаются при всех видах механических воздействий на материал (растяжение, изгиб, сжатие и др.). Эти процессы в текстильных материалах оказывают большое влияние как на качество изготовления, так и на эксплуатацию швейных изделий [1, 11].

Для деформации изгиба и сдвига эти процессы остаются мало исследованными.

Б.А. Бузов отмечает, что «теория динамики цельных упругих тел, широко применяемая в механике, может быть справедливо применена по отношению к

тканям лишь в некоторых частных случаях. Например, при малых кратковременных нагрузках материала» [1]. Профессор Б.А. Бузов предложил классификацию характеристик изгиба материалов для одежды (рис. 1.1).

Рисунок 1.1 – Классификация характеристик изгиба

К характеристикам изгиба относят: стрелу прогиба, изгибающее усилие, изгибающий момент, угол изгиба, различные относительные показатели, характеризующие особенности деформации [8].

Однако, удобной классификации характеристик изгиба и сдвига с рассмотрением параметров испытаний, форм и размеров проб и приборов не существует. В существующих классификациях перечень характеристик недостаточно информативный.

Поведение ткани при изгибе традиционно характеризуется жесткостью и упругостью [1].

Жесткость на изгиб – это способность материала сопротивляться изменению формы при действии некоторой внешней изгибающей силы [4].

В отношении текстильных материалов, наделенным, кроме упругого, эластическим компонентом деформации, понятие жесткости является

условным, тем более, что прогибы текстильных изделий обычно характеризуются достаточно большими величинами [8].

Жесткость определяет поведение материала при действии на него силы. Для оценки поведения материала при прекращении действия силы в свободно-деформированном состоянии используют показатель упругости.

Упругость – это свойство тела изменять форму и размеры под действием внешних нагрузок и восстанавливать исходную конфигурацию при снятии нагрузок [4].

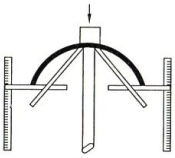
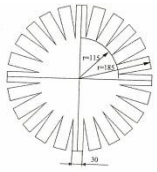
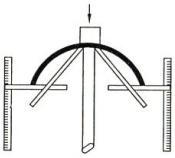
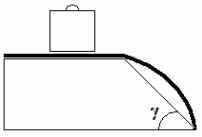
Упругость, применительно к текстильным материалам, характеризует способность материала, пакета материалов, швейного изделия восстанавливать свою форму после действия нагрузки. Показатель упругости показывает степень восстановления материалом первоначальной формы [20].

Жесткость является одной из самых важных характеристик, применяемых для оценки возможности текстильного материала к переработке в технологическом процессе [8, 10]. Жесткость материалов учитывают при проектировании одежды на стадии конфекционирования. Жесткость при изгибе текстильных изделий является для технолога необходимой характеристикой, так как определяет поведение изделия в технологическом процессе при выборе видов и режимов обработки.

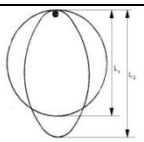
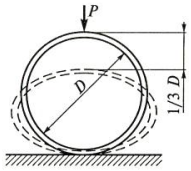
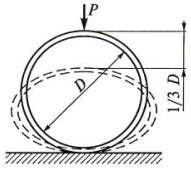
Имеют место разнообразные методы оценки жесткости при изгибе в статическом условиях (табл. 1.1). Предлагаемая классификация наглядно представляет многообразие экспериментальных методов определения жесткости при изгибе материалов, применяемых в легкой промышленности.

В качестве классификационных признаков выбраны: вид исследуемых объектов, форма и размеры проб, критерии оценки, инструментальное обеспечение и алгоритм испытаний. Основным классификационным признаком предложен характер воздействия, отражающий технологию производства и эксплуатацию изделий легкой промышленности [28].

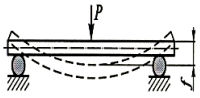
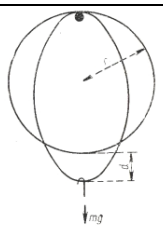
Таблица 1.1 – Методы определения характеристик изгиба в статическом режиме

Название метода / ГОСТ	Объект исследования	Форма, размер проб и направление измерения образца	Критерий оценки	Прибор и приспособления	Схема испытания
1	2	3	4	5	6
Консольный бесконтактный метод ГОСТ 10550–93	Текстильные материалы, имеющие стрелу прогиба f ≥ 10 мм	160×30 мм. Продольное, поперечное; О, У	Жесткость *EI*, мкН·см^2; Коэффициент жесткости K_{EI}	Прибор ПТ–2	
Метод переменной длины ГОСТ 10550–93	Текстильные материалы, имеющие стрелу прогиба f ≥ 60 мм	260×30 мм. Продольное, поперечное; О, У	Жесткость $EI_{0,5}$, мкН·см^2; Коэффициент жесткости $K_{EI_{0,5}}$		
Метод определения жесткости текстильных материалов при изгибе	Текстильные материалы	Проба в виде «ромашки» $r_{нар}$ = 185 мм; $r_{внут}$ = 115 мм; «лепестки» – 70×30 мм  0 °–345°	Жесткость *EI*, мкН·см^2	Горизонтальная опорная площадка радиусом 190 мм с грузом, прижимающим пробу радиусом 115 мм	
Консольный контактный метод ВНИИТТ, г. Ярославль	Текстильные материалы технического назначения	250×30 мм. О, У	Жесткость G, сН·см; Общая жесткость $G_{общ}$, сН·см	Установка для определения жесткости	 γ = 41,3°
Метод определения жесткости при изгибе ГОСТ 6943.11–93	Ткани со стекловолокном	250×25 мм. О, У	Жесткость G, мН·м	Флексометр с постоянным углом	

Продолжение таблицы 1.1

1	2	3	4	5	6
Экспресс-метод фирмы «Каннегиссер»	Текстильные материалы	Кольцо определенного радиуса. О, У	Жесткость D, %	Металличес-кий стержень	
Метод кольца ГОСТ 8977–74	Кожа искусственная и синтетическая, переплетные материалы, клеенки столовые, полимерные пленочные материалы бытового назначения	70×20 мм, d = 22 мм, прогиб – 7 мм. 95×20 мм, d = 30 мм, прогиб – 10 мм. 160×20 мм, d = 51 мм, прогиб – 17 мм. Продольное, поперечное; О, У	Жесткость P, гс или сН; Коэффициент жесткости K_P Упругость У, %	Прибор ПЖУ-12М	
Метод кольца ГОСТ 10550–93	Текстильные материалы, имеющие стрелу прогиба f < 10 мм	125×25 мм, d = 40 мм, прогиб – 13 мм. 160×20 мм, d = 51 мм, прогиб – 17 мм. Длина 125 мм, d = 40 мм, прогиб – 13 мм. Продольное, поперечное; О, У	Жесткость P, гс или сН; Коэффициент жесткости K_P Упругость У, %	Прибор ПЖУ-12М	
Метод продольного изгиба ИвНИИОТ, г. Иваново	Текстильные материалы, швы, пакеты одежды	90×30 мм. 45×30 мм. О, У	Жесткость $P_{изг}$, мН; Работа изгиба А, Дж	Продольный изгибатель ПИ, осциллограф	
Метод определения жесткости при изгибе ГОСТ 12.4.090–86	Швы и материалы, применяемые для средств индивидуаль-ной защиты	90×30 мм. 45×30 мм. Продольное, поперечное	Жесткость $P_{изг}$, мН; Работа изгиба А, Дж	Прибор ПЖШ-2, осциллограф	

Окончание таблицы 1.1

1	2	3	4	5	6
Метод определения жесткости и изгибостойкости при статическом изгибе ГОСТ 9187–74	Картон обувной	50×10 мм. Направление в соответствии НД	Жесткость D, Н	Разрывная машина с приспособлением для изгиба	
Метод петли Пирса	Текстильные материалы	Кольцо определенного радиуса. О, У	Жесткость D, Н·м^2	Металлический стержень, груз	

Многообразие методов обусловлено тем, что материалы, применяющиеся для изготовления изделий, имеют разные структуру и назначение. Принципиальными различиями методов являются: характер изгиба, форма и размеры проб, способ закрепления проб, параметры испытаний, инструментальное обеспечение метода измерений, информативность измеряемых показателей.

Для оценки жесткости применяют различные критерии, которые зависят от вида и назначения материалов. В качестве показателей используют стрелу прогиба, изгибающие моменты или усилие, необходимое для деформирования пробы или отклонения ее на заданный угол. На основе результатов измерений вычисляют различные характеристики: условную жесткость на изгиб, упругость и др.

Испытания материалов на жесткость могут иметь статический и динамический характер.

Экспериментальные стандартные методы получили наибольшее распространение для оценки способности материалов к изгибу, так как получаемые ими показатели не зависят от субъективного мнения эксперта: метод кольца, метод переменной длины, консольный бесконтактный метод, (ГОСТ 10550-93 и ГОСТ 8977-74) [21, 22]. Существуют отдельные стандарты

на испытание средств индивидуальной защиты (ГОСТ 12.4.090-86) [23] и картона (ГОСТ 9187-74) [24].

Оценка жесткости в консольном бесконтактном методе (см. табл. 1.1) происходит путем определения изгиба материала под действием распределенной нагрузки – собственной массы [21]. Если стрела прогиба материала менее 10 мм, то материал имеет высокую жесткость и метод к нему не чувствителен, тогда применяется метод кольца. В методе кольца материал изгибается под действием сосредоточенной нагрузки [22].

Метод консоли используется для материалов с относительно небольшой жесткостью: трикотажных полотен, нетканых полотен, тканей, дублированных материалов. Метод кольца используется для бортовых тканей, пакетов одежды, натуральных необувных кож, искусственных и синтетических кож, переплетных материалов, пленочных материалов, прокладочных материалов, дублированных материалов [1, 25].

В основу метода консоли положен принцип оценки деформационной способности материала по величине деформации пробы с заданными размерами. Испытания проводятся на приборе ПТ-2.

Для определения жесткости материала по консольному бесконтактному методу измеряют стрелу прогиба консольно-закрепленной прямоугольной пробы и ее массу. По стреле прогиба определяют значение функции относительного прогиба.

Метод переменной длины применяется когда материал имеет абсолютный прогиб более 60 мм. Путем перемещения пробы под грузом находят такое ее положение, чтобы отношение прогиба пробы к длине l свешивающейся части было равно 0,5 и вычисляют значение жесткости [21].

Метод консоли и метод переменной длины дают возможность оценки жесткости материалов только со средней жесткостью (стрела прогиба не менее 10 мм и не более 60 мм). Жесткость является расчетной характеристикой, что условно и приблизительно. Методы предусматривают оценку жесткости только по ортогональным направлениям (по основе и утку), коэффициент жесткости

представляет собой отношение продольной и поперечной жесткости. Проба деформируется под собственной массой, что делает эту характеристику сходной с драпируемостью. Р. Кесвелл отмечает высокую степень корреляции показателей драпируемости и жесткости тканей, определяемой консольным методом [26]. Недостатком методов является то, что испытания пробы материала дают представление о анизотропии жесткости.

Метод в котором используется проба в виде «ромашки» [29] отличается большей информативностью измерений благодаря оригинальной форме пробы и способу ее закрепления. Достоинство метода заключается в определении анизотропии жесткости текстильных материалов при изгибе и приближении условий испытаний к условиям изготовления и эксплуатации одежды.

Консольный контактный метод [32] применяют для определения жесткости текстильных материалов технического назначения на основе которого разработан стандартный метод определения жесткости при изгибе тканей со стекловолокном [31]. В этих методах жесткость материала определяется длиной свисающего конца пробы в момент контакта с платформой, расположенной под заданным углом. При испытании текстильных материалов экспресс-методом фирмы «Каннегиссер» [30] жесткость характеризуется увеличением диаметра по отношению к первоначальной длине пробы в виде кольца, висящей на стальном стержне под действием собственного веса, по истечению суток. Недостатком этого метода является длительность испытания.

В процессах переработки и эксплуатации на материал действуют различные внешние силы и необходимо знать реакцию материала на эти воздействия, характеризуемую показателями жесткости и упругости.

Методы кольца по ГОСТ 8977-74 [22] и ГОСТ 10550-93 [21], метод продольного изгиба [25], метод определения жесткости по ГОСТ 12.4.090-86 [23], метод определения жесткости и изгибостойкости по ГОСТ 9187-74 [24] и метод петли Пирса [12] предусматривают действие на пробу сосредоточенной нагрузки.

Жесткость материала по ГОСТ 8977-74 определяют как нагрузку, необходимую для прогиба согнутого в кольцо образца на 1/3 диаметра, а условную упругость, как отношение величины распрямления согнутого в форме кольца образца после снятия нагрузки к заданной величине прогиба при определении жесткости [22]. Для определения условной жесткости и условной упругости применяется прибор ПЖУ-12М (рис. 1.2).

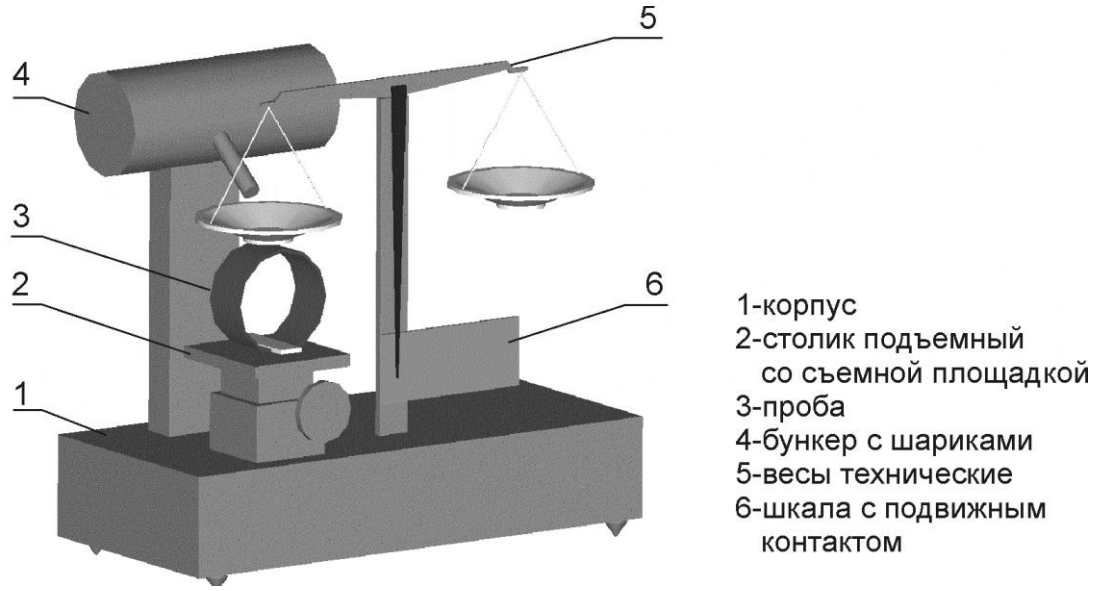


Рисунок 1.2 – Стандартный прибор ПЖУ-12М

Определение характеристик изгиба следующая: из бункера 4 падают шарики на чашу весов 5, под давлением чаши проба прогибается; процесс происходит до тех пор, пока проба не прогнется на 1/3 своей высоты. По результатам эксперимента определяют значение жесткости P (*сН* или *гс*) путем взвешивания массы шариков в чаше весов.

В этом методе жесткость определяется как нагрузка, которая деформирует материал. Жесткость приписывают не объекту исследования, а средству воздействия, средству проведения испытания.

Второй стандартной характеристикой является условная упругость, определяемая при восстановлении пробы после снятия нагрузки, путем перемещения подъемного столика до контакта верхней точки кольца и чаши весов без груза.

Получаемая характеристика жесткости обладает малой информативностью, так как не позволяет оценить непрерывное изменение силы

сопротивления образца в процессе изгиба. Определяется только конечное значение жесткости, не раскрывается сам процесс деформирования.

В этом методе предусматривается использование проб материала прямоугольной формы, которые раскроены в ортогональных направлениях.

В качестве нагрузки в приборе ПЖУ-12М используются стальные шарики. Падение шариков не обеспечивает равномерную деформацию пробы – получается ударный характер нагрузки, который вызывает колебания и вибрации. Падение шариков вызывает качание чашки весов и контактирующей пробы, нажимная площадка не параллельна съемной площадке в процессе изгиба, что обуславливает неоднозначность приложения силы к образцу и как следствие возникает случайная составляющая в результатах испытаний на жесткость.

Скорость падения шариков регламентируются стандартом, однако скорость снятия деформирующего воздействия определяется скоростью вращения ручки подъемного столика экспериментатором, что не контролируется и вносит случайную составляющую в определение упругости.

Сложный характер деформации не фиксируется потому, что средства измерения технически несовершенны.

Существующие стандартные методы различаются по характеру воздействия и параметрам испытаний для материалов, используемых в одном пакете одежды и находящихся в одинаковых условиях в процессе изготовления швейных изделий и их эксплуатации. Для оценки жесткости основных материалов для верхней одежды, например, драпа, используется метод кольца, а для подкладочных тканей – метод консоли. Это обуславливает несопоставимость показателей жесткости и затрудняет конфекционирование материалов для швейных изделий.

Жесткость материалов, швов и пакетов материалов, определяемая методами продольного изгиба ИвНИИОТ [25] и определения жесткости по ГОСТ 12.4.090-86 [23] характеризуется величиной усилия, приложенного вдоль пробы и необходимого для ее изгиба. Осциллограф позволяет записать кривую

нарастания усилия сопротивления пробы изгибу. Эти методы являются более информативными, так как кроме жесткости можно рассчитать работу изгиба, по площади, ограниченной кривой зависимости усилия от деформации и осью абсцисс.

В методе [24], применяемом для испытаний обувного картона, жесткость характеризуется величиной усилия, необходимого для изгиба на определенную величину образца, свободно лежащего на двух опорах. Метод [27] заключается в измерении силы, приложенной к свободному концу консольно закрепленного образца бумаги или картона и изгибающей его на определенный угол.

По методу петли Пирса [12] жесткость характеризуется деформацией пробы, закрепленной в виде петли, под действием приложенной нагрузки. Метод позволяет испытывать материалы, обладающие значительной жесткостью.

В работе [43] Ливсэй и Оуэн, а также в работе [44] Еголофсон проводили исследования когда ткань подвергается изгибающему моменту M и изгибаясь, описывает дугу радиусом p. Исследователи установили, что зависимость между кривизной ткани и моментом пары сил не прямолинейная и деформация ткани изгибом в двух направлениях дает гистерезис. На рис. 1.3 показана зависимость изгибающего момента M *(сН·см)* от образующейся величины радиуса кривизны $1/p$ *(см*$^{-1}$*)*.

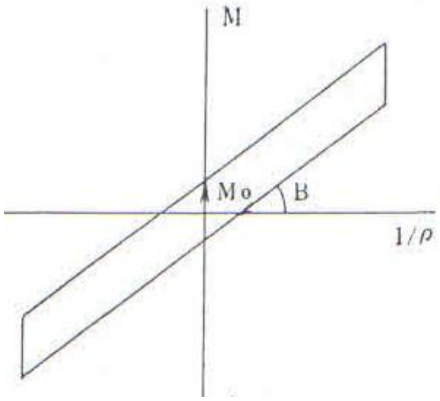


Рисунок 1.3 – Зависимость изгибающего момента от радиуса кривизны ткани

Величина *Mo* обозначает момент сопротивления изгибу, остающемуся в ткани из-за силы трения между волокнами. Пока *M* меньше *Mo*, величина *1/p* весьма мала, поэтому можно пренебречь начальным изгибом. Если *M* превышает *Mo*, то ткань начинает изгибаться, превышая момент сопротивления возникающего из-за трения между волокнами. При этом начинает действовать коэффициент упругости, т.е. жесткость на изгиб, выражаемая формулой

$$B/p=M-Mo, \qquad (1.1)$$

Жесткость на изгиб *B* определяется соотношением между прилагаемым изгибающим моментом и кривизной ткани.

К недостаткам вышеизложенных методов относятся: механические элементы измерительных приборов, низкая информативность и достоверность полученных данных, отсутствие автоматизации проведения экспериментов. Поэтому целесообразна разработка автоматизированных устройств для проведения испытаний, которые позволяют снизить трудоемкость и исключить влияние человеческого фактора на результаты экспериментов.

К современным приборам можно отнести измеритель жесткости на изгиб текстильных, бумажных материалов МТ-360 [5] (фирма «МЕТРОТЕКС»), но этого прибора отсутствует связь с компьютером и графическая запись процесса изгиба, что значительно снижает информативность исследований.

В зарубежной практике при оценке жесткости на изгиб используют автоматизированный прибор KES-FB2 (Япония) [7]. Этот прибор не имеет распространения в России, поэтому отечественные исследователи испытывают затруднения при сравнении результатов своих исследований с общепризнанной базой, сформированной в зарубежном текстильном материаловедении.

Процесс изгиба можно описать аналитически, но для этого необходимы методы, которые дают набор показателей, достаточный для его описания.

В практических расчетах отдельными свойствами материала пренебрегают, введя ограничения на модель. Зачастую авторы пренебрегают высокоэластической и пластической составляющими деформации, рассматривают текстильные материалы только с позиции упругости.

На основании определенных из эксперимента параметров линии изгиба с помощью аналитических методов расчета рассчитывают характеристики жесткости в физических величинах.

Капелевич Г.М. определил математическую связь между стрелой прогиба консольно-закрепленной полоски ткани, погонным весом g (*г/см*) и условной жесткостью EI ($гс \cdot см^2$). При этом он рассматривал материала как ортотропный со сплошным прямоугольным сечением.

Дифференциальное уравнение упругой линии Г.М. Капелевич решал вариационным методом, который является приближенным. Он рассматривал случай, когда на полоску ткани действует равномерно распределенная нагрузка интенсивностью g, и на конце полоски сосредоточена сила P [24].

Ф. Пирс определял изгибающий момент М более упрощенно – по весу материала и длине дуги:

$$M = W \cdot \frac{\cos 0{,}5\alpha}{8 \cdot tg\alpha} \cdot l^3, \qquad (1.2)$$

где W – вес материала, г;

l – длина свешивающейся части образца, см;

α - угол между горизонтальной и наклонными плоскостями (рис. 1.4).

Многие аналитические методы определения жесткости текстильных материалов при изгибе основаны на классической линейной модели, для которой зависимости «напряжение – удлинение» ($\sigma = f(\varepsilon)$) и «изгибающий момент – кривизна» ($\mu_u = f(k)$) – прямопропорциональны, а жесткость EI не зависит от изгибающего момента (рис. 1.5).

Исследователи Гросберг и Шмельтер предложили аналитические модели, которыми зависимость изгибающего момента μ_u от кривизны k представлена кусочно-линейными функциями (рис. 1.6). Параметры модели можно определить в результате эксперимента по консольно-контактному методу [6].

Математические расчеты проводились не только консольно-закрепленной пробы, английские ученые Оуен и Ридинг определяли уравнение упругой линии деформированного кольца в виде степенного ряда.

Метод конечных элементов применялся японскими учеными при исследовании изгиба более сложных поверхностей [37].

В работе П. Фишера и С. Крзивинского для моделирования поведения ткани при изгибе использовалась теория гибких оболочек [38].

Однако для оценки способности материалов к изгибу наибольшее распространение получили экспериментальные методы, так как получаемые с помощью этих методов показатели реально отражают процессы изгиба.

В современном промышленном производстве большое место занимают технологические процессы и механические операции, использующие для воздействия на материалы переменные динамические нагрузки. В процессе эксплуатации большинство изделий также подвергается периодическим силовым воздействиям.

Все методы определения характеристик изгиба, рассмотренные выше, предполагают статический характер испытаний, однако в практике швейного производства при переработке и эксплуатации материал подвергается динамическим кратковременным воздействиям, оценить которые количественно достаточно сложно. Более объективную информацию о поведении материалов при переработке и эксплуатации изделий дают результаты динамических испытаний. Этим обусловлена разработка динамических методов определения характеристик изгиба (табл. 1.2).

Жесткость при изгибе можно определять динамическим путем [12], один конец образца неподвижно (консольно) закрепляют, другой повергают вибрации, частоту которой изменяют до тех пор, пока не достигают условия резонанса. Ballou J. W. и Smith J. C. [12] исследовали образец который представлял собой распрямленное волокно длиной 0,5 см. Частота при испытании составляла от 20 Гц до 10 кГц. За ходом испытания наблюдали через микроскоп. Жесткость при изгибе вычислялась (пренебрегая сопротивлением воздуха) по формуле:

$$\frac{4\pi^2 A\rho l^4 f^2}{m^4}\cdot l^3, \qquad (1.3)$$

где A – площадь поперечного сечения;

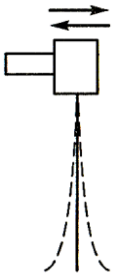
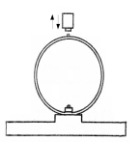
ρ – плотность образца;

l – длина образца;

f – частота при резонансе;

m – коэффициент, зависящий от гармонических колебаний (m=1,8751).

Таблица 1.2 – Методы определения характеристик изгиба в динамическом режиме

Название метода / ГОСТ	Объект исследования	Форма, размер проб и направление измерения образца	Критерий оценки	Прибор и приспособления	Схема испытания
Метод вынужденных резонансных изгибных колебаний	Кожевенные, пленочные, текстильные материалы	25×5 мм, 40×5 мм Прямоугольник определенных размеров. Продольное, поперечное; О, У	Динамическая жесткость $D_и$, Н·м^2 Динамический комплексный модуль упругости $E^*_{дин}$, МПа Коэффициент механических потерь tg β	Установка для оценки динамических свойств материалов	
Метод определения деформационных показателей полимерных материалов	Полимерные материалы	Прямоугольник определенных размеров, консольно закрепленный 0 – 345^o	Динамическая жесткость D, Н·м^2 Динамический модуль упругости $E^*_{дин}$, МПа Коэффициент механических потерь tg δ Добротность материала Q Модуль механических потерь E", МПа	Устройство для измерения динамической резонансной деформации изгиба кож	
		Прямоугольник определенных размеров, закрепленный в виде кольца 0 – 345^o		Устройство для определения динамической жесткости образцов кож, свернутых в виде кольца	

Профессор А. П. Жихарев, профессор В. Н. Белокуров и др. при изучении свойств кожевенных и текстильных материалов применяли акустические методы испытания (см. табл. 1.2): метод вынужденных резонансных изгибных колебаний [42] и метод определения деформационных показателей полимерных материалов [33, 34]. Это связано с тем, что при изготовлении и эксплуатации одежды, обуви и других изделий на них действуют внешние механические силы, частотный диапазон которых лежит в пределах от 1 до 200 Гц. Кроме того, эти методы позволяют оценить свойства материалов и влияние различных факторов (температуры, влаги и др.) без разрушения исходной структуры испытуемой пробы материала.

Принцип действия акустических методов испытаний основан на возбуждении в материале механических колебаний с длиной волны, которая превышает размеры пор, при этом упругие колебания распространяются по твердому каркасу материала.

Метод вынужденных резонансных изгибных колебаний [42] заключается в измерении специальной установкой амплитуды колебаний свободного конца пробы при изменении частоты прикладываемой силы и позволяет охватить частотный диапазон механических воздействий до 500 Гц.

При исследовании динамических свойств материалов определяется резонансная частота f_r, которая соответствует максимальной амплитуде колеблющейся пробы. Измерение амплитуды колеблющейся пробы осуществляется микроскопом. Затем измеряют амплитуды колеблющейся пробы на частотах меньших и больших f_r и по десяти значениям амплитуд и по соответствующим им частотам определяют амплитудно-частотную характеристику (АЧХ) исследуемой пробы. Общий вид амплитудно-частотной характеристики пробы представлен на рис. 1.7б.

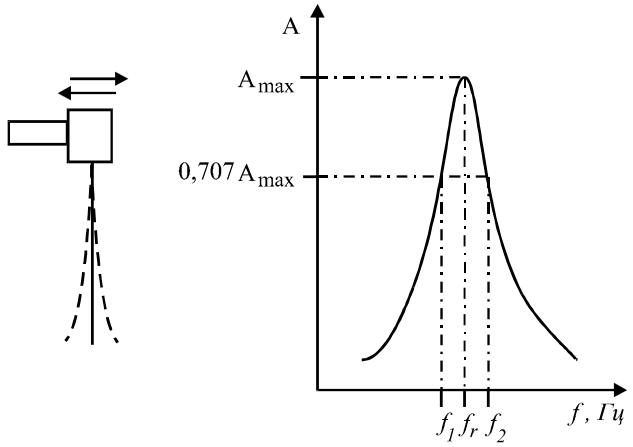


Рисунок 1.7 – Амплитудно-частотная характеристика пробы материала:

а – деформация пробы материала при консольном закреплении;

б – амплитудно-частотная характеристика пробы материала

Теория метода вынужденных колебаний консольно закрепленного стержня описана в работах [42, 55, 56]. Уравнение движения консольно закрепленной пробы (рис. 1.7а) имеет вид:

$$m\frac{\partial^2 y}{\partial t^2} + E'k^2\frac{\partial^4 y}{\partial x^4} + \eta k^2\frac{\partial^5 y}{\partial x^4 \partial t} = 0\ , \qquad (1.4)$$

где первая составляющая уравнения − сила инерции; вторя − упругость пробы материала; третья – внутренние потери по модели Кельвина–Фойгта;

m – масса пробы материала; y – прогиб пробы; E' – динамический модуль упругости; k – радиус инерции поперечного сечения относительно нейтральной оси, $k = h^2/12$; h – толщина пробы; η – динамическая вязкость материала.

Решение уравнения (1.4) приводит к определению комплексного модуля упругости пробы материала:

$$E^* = E' + iE'', \qquad (1.5)$$

где E`– модуль упругих потерь, МПа, равный

$$E' = \frac{48\pi^2 l^4 \rho}{a_0^4 h^2}\left(f_r^2 + \frac{\Delta f^2}{8}\right), \qquad (1.6)$$

E'' – модуль вязких потерь, МПа, равный

$$E'' = \frac{48\pi^2 l^4 \rho}{a_0^4 h^2}(f_r \cdot \Delta f)\ , \qquad (1.7)$$

где l – длина незакрепленной части пробы материала, м; ρ – средняя плотность материала, кг/м^3; a_0 – коэффициент для первой гармоники (a_0 = 1,875); h – толщина пробы, м; f_r – резонансная частота, Гц; Δf – разность между частотами, Гц, амплитуда которых равна 0,707A_{max} от максимальной (см. рис. 1.7 б), $\Delta f = f_2 - f_1$.

Отношение модуля вязких потерь и модуля упругости позволяет определить коэффициент механических потерь:

$$tg\beta = E''/E'\ , \qquad (1.8)$$

характеризующий рассеивание механической энергии за один цикл колебаний. В том случае, если $tg\beta \Rightarrow 0$, в материале преобладают упругие свойства, а если $tg\beta > 1$, то в материале начинают преобладать пластические свойства.

Жесткость при изгибе материала вычисляется по формуле:

$$D_u = E'J\ , \qquad (1.9)$$

где J – момент инерции поперечного сечения пробы материала, м^4, $J = bh^3/12$, b – ширина пробы, м; а низкочастотная скорость звука:

$$v = \sqrt{E'/\rho}\ , \qquad (1.10)$$

В приведенном уравнении (1.4) нет члена, который бы учитывал потери материала на преодоление сил аэродинамического сопротивления. По результатам работы [56] определен коэффициент аэродинамического влияния φ:

$$\varphi = 100\frac{\phi''}{\phi'}\ , \qquad (1.11)$$

где ϕ'' – коэффициент диссипации энергии во внешнюю среду;

ϕ' – коэффициент внутренней диссипации энергии.

Авторы установили, что коэффициент аэродинамического влияния φ зависит от жесткости материала при изгибе D_u и величины атмосферного давления (рис. 1.8). На рис. 1.9 показана зависимость φ от площади

колеблющейся пробы.

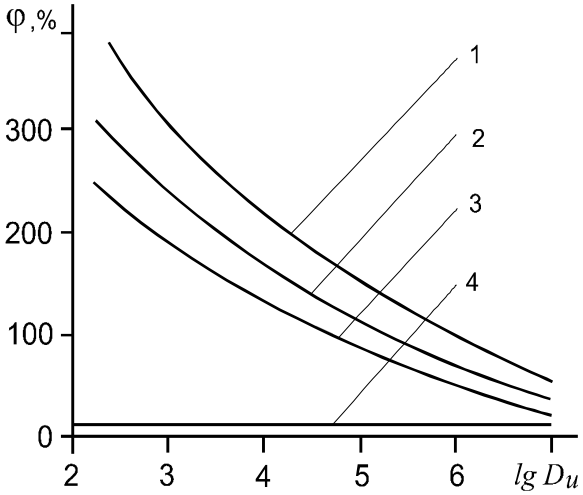


Рисунок 1.8 – Зависимость коэффициента аэродинамического влияния от логарифма жесткости проб при различном давлении:
1 – давление атмосферы – 101,3 кПа;
2 – 66,7 кПа; 3 – 39,9 кПа; 4 – 226,6 Па

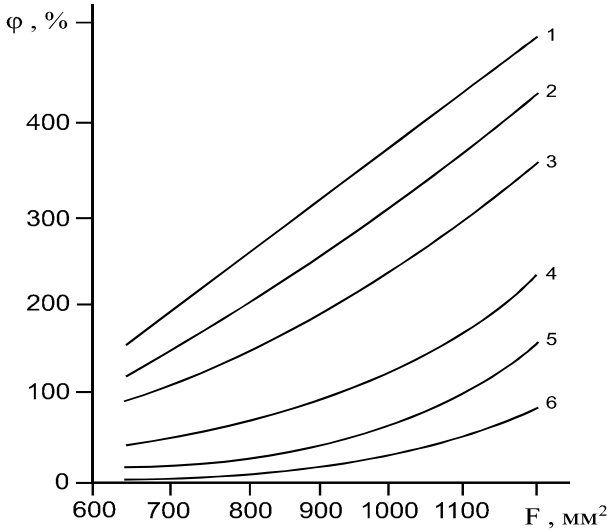


Рисунок 1.9 – Зависимость коэффициента аэродинамического влияния от площади пробы при атмосферном давлении:
1 – полиэтилен; 2 – лавсан; 3 – капрон;
4 – сталь (D_u = 10^{-4} Н·м^2); 5 – сталь (D_u = 10^{-2} Н·м^2); 6 – сталь (D_u = 10^{-1} Н·м^2)

Полученные экспериментальные данные позволили Васильеву С.С. и Смирнову А.П. [57], уточнить уравнение колебаний стержней с распределенной массой, введя в уравнение (1.4) член, учитывающий рассеивание механической энергии пробы на аэродинамическое сопротивление среды:

$$m\frac{\partial^2 y}{\partial t^2} + E'k^2\frac{\partial^4 y}{\partial x^4} + \eta k^2\frac{\partial^5 y}{\partial x^4 \partial t} + \gamma\eta^* r\frac{\partial y}{\partial x} = 0\ , \qquad (1.12)$$

где γ – коэффициент $\gamma = 2\pi C\vartheta$, C – постоянная аэродинамического сопротивления для материала, которая определяется экспериментально; ϑ – коэффициент формы сечения пробы материала; η^* – коэффициент динамической вязкости среды; r – радиус круга, площадь которого равна площади фронта колеблющейся пробы.

В результате решения уравнения (1.12) динамические модули упругих и вязких потерь вычисляются по формулам:

$$E' = \frac{48\pi^2 l^4 \rho}{a_0^4 h^2} f_r^2\left[1 + \frac{39{,}4\Delta f^2 + 12{,}56\Delta f \cdot C + C^2}{8(39{,}4 f_r^2 - 12{,}56\Delta f \cdot C)}\right], \qquad (1.13)$$

E'' – модуль вязких потерь, МПа, равный

$$E'' = \frac{48\pi^2 l^4 \rho}{a_0^4 h^2} f_r \cdot \left(\Delta f^2 - \frac{C}{2\pi} \right), \quad (1.14)$$

В том случае, если $C = 0$, значения E' и E'' вычисляют по уравнениям (1.6) и (1.7).

Профессор А.П. Жихарев в своей работе делает вывод, что «для кожи и других материалов, имеющих волокнистые, сетчатые и волокнисто-сетчатые структуры, с понижением внешнего атмосферного давления практически не наблюдается изменение собственной частоты колебаний, как у пленочных материалов монолитных структур» [42]. В связи с этим для расчета E' и E'' можно воспользоваться формулами (1.6) и (1.7).

Метод определения деформационных показателей полимерных материалов [33, 34] основан на резонансном методе неразрушающего контроля деформационных показателей полимерных материалов. Расчет деформационных показателей осуществляется в соответствии с теорией колебаний вязко-упругого тела (модели линейного гармонического осциллятора без учета сопротивления внешней среды), с помощью которой можно практически определять коэффициент жесткости, коэффициент вязкого трения, модуль упругости, время релаксации напряжения, тангенс угла механических потерь, величину добротности материала, характеризующую количественную меру сочетания упругих и вязких свойств материалов.

Достоинствами методов, использующих явление вынужденных резонансных колебаний [42, 33], являются бесконтактный принцип измерения и возможность проведения неоднократных испытаний одной и той же пробы материала без изменения ее первоначальных свойств. Этими методами определяется динамическая жесткость, которая характеризуется динамическим модулем упругости, а также ряд других характеристик, например, модуль динамических потерь и коэффициент механических потерь, позволяющий оценить соотношение между упругими и вязкими механическими свойствами материала. Недостатками акустических резонансных испытаний являются трудность определения амплитудно-частотной характеристики проб материала

(используется микроскоп), что вносит субъективную составляющую в процесс измерения, отсутствие автоматизированной записи и обработки результатов эксперимента (графики АЧХ строятся в ручную), что снижает информативность полученных данных.

Для определения полной картины представлений о деформационных процессах, происходящих в ткани при изгибе, необходимо исследовать процесс – как восстанавливается ткань после изгиба. Анализ литературных источников показал что, данная проблема является мало изученной, в связи с тем, что эксперименты и теоретические расчеты сопровождаются такими трудностями, как большая скорость деформации, необходимость учета аэродинамического сопротивления воздуха и т.п.

В работах [43, 44] описывается контактный и бесконтактный способы определения времени восстановления ткани после снятия изгибающего усилия. Здесь полагается, что скорость восстановления образца пропорциональна деформации (кривизне) и время восстановления обратно пропорционально квадратному корню его жесткости на изгиб. Общими недостатками методов являются низкая автоматизация, точность измерений, ограничение накладываемое на вид исследуемой ткани. Ткань должна быть достаточно тяжелой.

На основании анализа существующих экспериментальных методов определения характеристик изгиба материалов, применяемых в текстильной и легкой промышленности разработана классификационная схема (рис. 1.10), позволяющая наглядно представить схему проведения испытаний, сравнить форму и размеры проб и параметры испытаний [28].

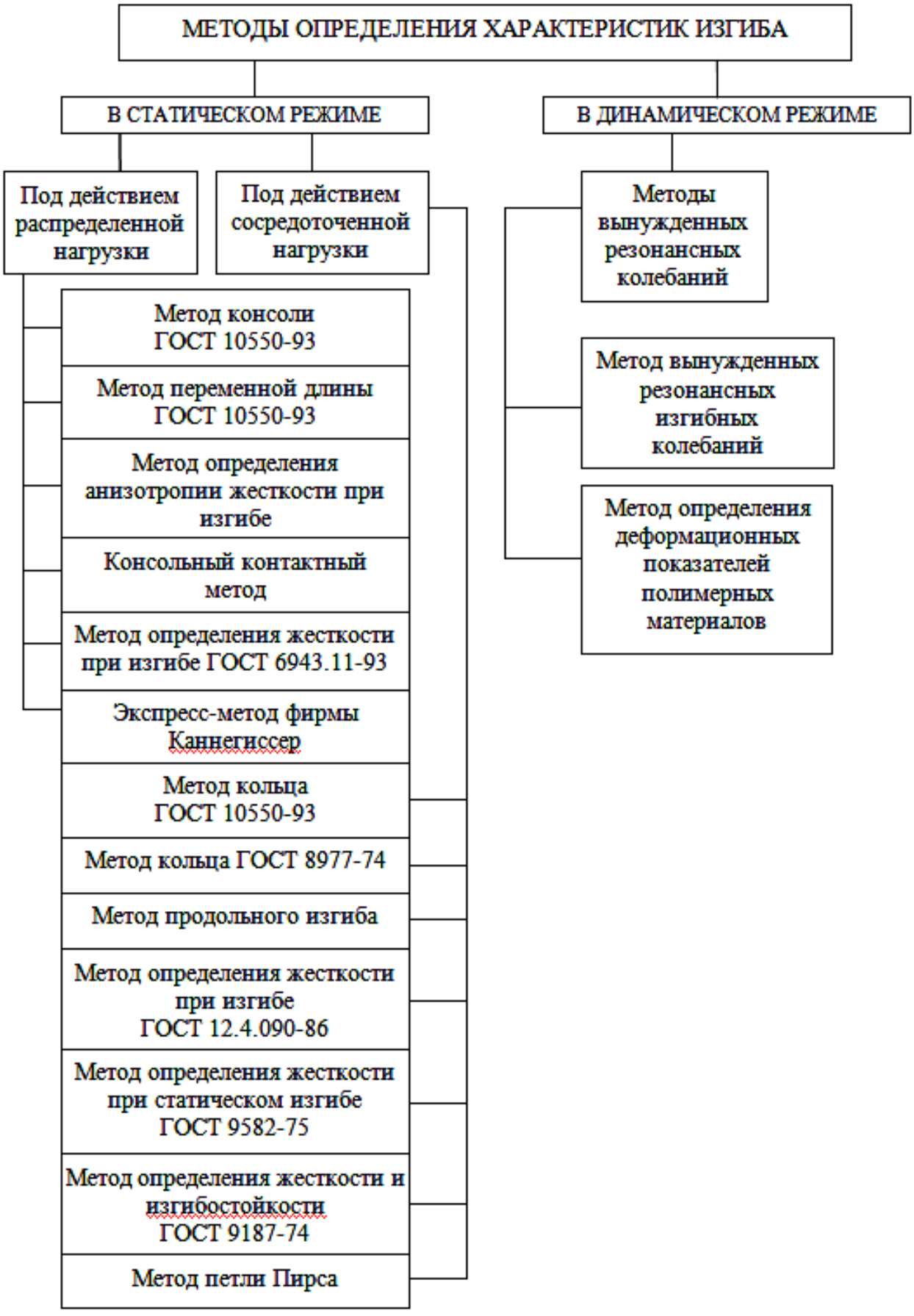


Рисунок 1.10 – Классификация методов определения характеристик изгиба

1.2. Анализ методов определения характеристик растяжения текстильных материалов

Деформация растяжения является наиболее изученной. Существующие методы (табл. 1.3) различаются по объектам исследований, формой и размерами проб и определяемым характеристикам [35]. По характеру испытаний методы целесообразно разделить на две группы: статические и динамические. Больший интерес представляют испытания с динамическим характером воздействия на пробу, так как они отражают реальные условия изготовления и эксплуатации швейных изделий.

Таблица 1.3 – Методы определения характеристик при растяжении

Название метода / ГОСТ	Объект исследования	Форма и размеры проб	Направление измерения образца	Критерий оценки	Приборы и приспособления
1	2	3	4	5	6
ГОСТ 3813–72	Текстильные материалы	50×200 мм – все ткани и штучные изделия кроме ч/ш и п/ш материалов; 50×100 мм – ч/ш и п/ш материалы и штучные изделия	О, У	Жесткость D, Н Модуль упругости $E_у$, МПа	Разрывные машины различных конструкций с устройством для записи диаграммы «усилие–удлинение»
ГОСТ 8847–85	Трикотажные полотна, искусственный трикотажный мех бытового и технического назначения, суровые товарные полотна из всех видов пряжи (нитей)	50×200 мм – полотна; 50×220 мм – мех	В направлении петельных столбиков и петельных рядов		
ГОСТ 15902.3–79	Полотна нетканые из волокон всех видов различного способа производства	50×200 мм	О, У		
ГОСТ 29104.4–91	Ткани технические	25×500 мм или 50×500 мм	О, У		

Окончание таблицы 1.3

1	2	3	4	5	6
ГОСТ 6611.2–73	Нити текстильные	Длина 500 мм	—	Жесткость D, Н Модуль упругости $E_у$, МПа	Разрывные машины различных конструкций с устройством для записи диаграммы «усилие–удлинение»
ГОСТ 23364–2001	Нити синтетические текстурированные	Длина 200 или 250 мм – для крученых нитей технического и специального назначения и имеющих удлинение > 40 %; 500 мм – для всех остальных	—		
ГОСТ 938.11–69	Кожа всех видов	30×200 мм – чепрак ремневый; 20×200 мм – кожа сыромятная и ремни; 15×150 мм – кожа для шорно-седельных изделий; 5×50 мм – овчина шубная; 10×50 мм – для всех остальных кож	Продольное, поперечное	Жесткость D, Н Условный модуль упругости E, Па	
Метод кратковременных деформаций	Пряжа, волокна и нити различного волокнистого состава	Длина 10–12 м – при горизонтальном подвесе пробы; 3,2 м – при вертикальном подвесе пробы	—	Коэффициент жесткости C, Н/м	Установка с осциллографом
Метод вынужденных многократных деформаций	Пряжа, волокна и нити различного волокнистого состава	Длина 1 м	—	Коэффициент жесткости C, Н/м	Тензоциклограф с осциллографом
Метод интерференции	Волокна и нити различного волокнистого состава	—	О, У	Динамический модуль 1-го рода $E_{дин}$, Па	Установка для интерференционного метода с осциллографом
Метод свободных продольных колебаний СПГУТД	Синтетические нити	—	—	Динамическая жесткость $D_{дин}$, Н·м^2; Динамический модуль упругости $E_{дин}$, Па; Коэффициент жесткости $k_ж$	Установка для динамических испытаний с осциллографом

Характеристики свойств материалов при растяжении в статическом режиме определяется по диаграмме «усилие-удлинение», получаемой при определении прочностных характеристик текстильных материалов. Испытания проводят на разрывных машинах различных конструкций, снабженных прибором для записи диаграммы. По диаграмме «усилие-удлинение» можно рассчитать условную жесткость D_y и модуль жесткости (модуль упругости или модуль 1-го рода) E.

$$D_y = \frac{100 \cdot P_y}{\varepsilon_y}, \tag{1.15}$$

где P_y – условное усилие; ε_y - условная деформация.

$$D_y = E \cdot F, \tag{1.16}$$

где E – модуль жесткости; F – площадь поперечного сечения образца.

$$E = \frac{100 \cdot \sigma}{\varepsilon}, \tag{1.17}$$

где σ – напряжение, развиваемое в материале; ε – относительная деформация материала для участка прямой пропорциональной зависимости на диаграмме «напряжение – деформация» (рис. 1.11).

Модуль жесткости можно также характеризовать углом наклона α_1 и α_2 прямолинейного участка на диаграмме «напряжение – деформация».

$$E_y = tg\alpha, \tag{1.18}$$

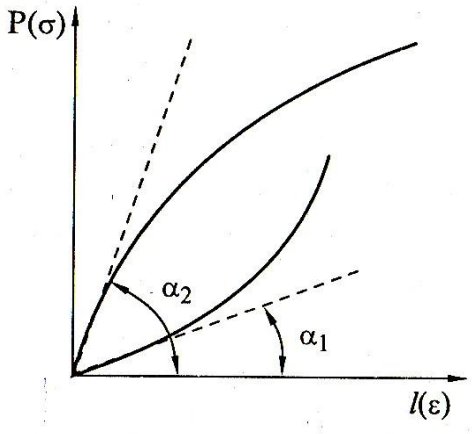


Рисунок 1.11 – Диаграмма «напряжение – деформация»

Стандартные методы определения разрывных характеристик текстильных материалов [13–19] (см. табл. 1.3) реализуют статический характер нагружения проб, при котором материал подвергается растяжению с малой скоростью деформирования, и ограничиваются однократным нагружением пробы до момента разрыва. Однако текстильные материалы и изделия из них при изготовлении и эксплуатации испытывают в основном кратковременные воздействия сравнительно малые по величине.

Разрывные машины для динамических испытаний применяют сравнительно редко, в тех случаях, когда нужно моделировать динамические нагрузки, например нагрузки, испытываемые тканями в момент раскрытия парашюта. К ним относится машины маятникового типа, где усилие к пробе прикладывается со скоростью до 120 м/мин.

Примером динамических испытаний по определению показателей жесткости текстильных материалов при растяжении являются изучение свободных колебаний массы, подвешенной на пробе, и гармонических колебаний пробы, вызванных принудительной многократной деформацией [9]. С помощью этих методов определяют коэффициенты жесткости текстильных материалов по параметрам колебаний пробы, которые регистрируются осциллографом.

По параметрам колебаний рассчитывают модуль жесткости (модуль 1-го рода) E, Па и коэффициент вязкости η, Н·с/м^2:

$$E = \frac{ml}{AT^2}, \tag{1.19}$$

$$\eta = \frac{ml\lambda}{AT}, \tag{1.20}$$

где A – площадь поперечного сечения образца, м^2;

l – длина образца, м;

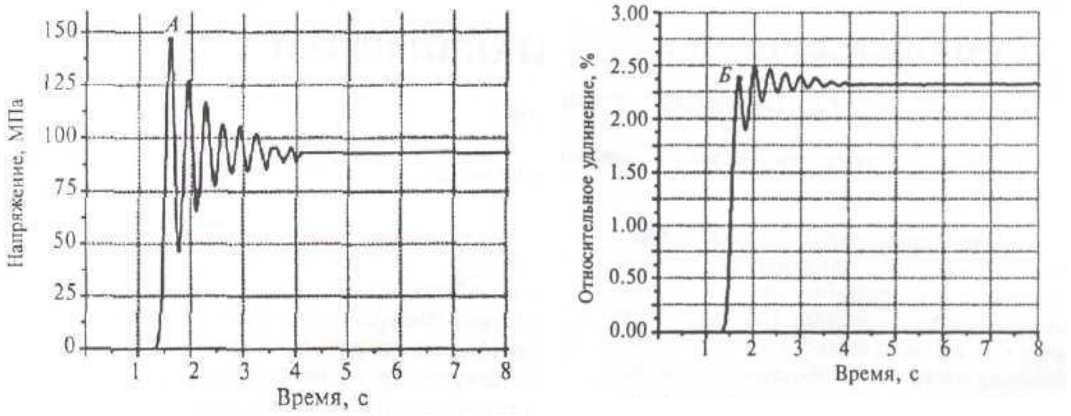
T – период колебаний, с;

m – масса груза, кг;

λ – коэффициент демпфирования $\lambda = ln(A_1/A_2)$

Дальнейшие исследования в этой области были продолжены В.В. Налетовым [36], А.Б. Некрашевич [40].

Метод, разработанный в СПГУТД [39], позволяет определить показатели жесткости синтетических нитей при «мгновенном» приложении нагрузки. Проба, подвергаясь «мгновенному» приложению нагрузки, начинает деформироваться, совершая свободные колебательные движения относительно своего положения равновесия, которые регистрируются осциллографом. Жесткость и другие характеристики рассчитывают по параметрам колебательного процесса, представляемого в графической форме (рис. 1.12).



а б

Рисунок 1.12 – Изменение напряжения (а) и деформации (б) во времени

Динамическая жесткость определяется выражением:

$$D_{дин} = \frac{\sigma_{max}}{\varepsilon_{max}}, \qquad (1.21)$$

где σ_{max} – пиковое напряжение;

ε_{max} – пиковая деформация.

Динамический модуль упругости вычисляется по формуле:

$$E_{дин} = \frac{l\gamma 10^3}{T} m\omega^2, \qquad (1.22)$$

где l, γ, T – длина, плотность и линейная плотность нити (текс);

m – масса груза; ω – циклическая частота колебаний.

Коэффициент жесткости определяется по формуле:

$$k_{ж} = m \cdot \omega^2, \qquad (1.23)$$

Метод обеспечивает объективность результатов за счет использования магнитного способа освобождения пробы для совершения колебаний и современной элементной базы обработки результатов.

Примером динамических испытаний по определению показателей жесткости текстильных материалов при растяжении являются изучение гармонических колебаний пробы, вызванных принудительной многократной деформацией, на специальном устройстве – тензоциклографе [9], позволяющем записывать колебания исследуемого образца (рис. 1.13).

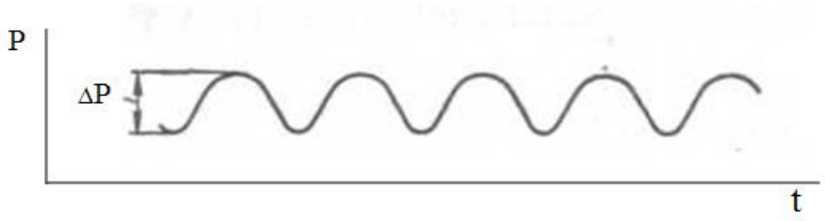


Рисунок 1.13 – Кривая колебаний пробы методом принудительной деформации

Коэффициент жесткости в методе принудительной многократной деформации определяется по формуле:

$$C = \frac{\Delta P}{\Delta l}, \tag{1.24}$$

где ΔP – величина деформирующей силы (по кривой колебаний), Н;

Δl – величина деформации, м.

К динамическим испытаниям также можно отнести метод интерференции [12], позволяющий рассчитать динамический модуль жесткости. Метод заключается в непрерывном возбуждении растянутой пробы, которое вызывает распространение продольных звуковых волн, регистрируемых осциллографом.

Динамический модуль 1-го рода вычисляется по формуле:

$$E_{дин} = c^2 \cdot \rho, \tag{1.25}$$

где c – скорость распространения звуковых волн (по кривой колебаний);

ρ – плотность текстильного материала.

Основной трудностью метода интерференции является измерение скорости распространения звуковых волн в материале.

Общим недостатком методов является трудность обработки кривых колебаний, записываемых на осциллографическую ленту. Также для получения достаточно больших амплитуд колебаний при малой относительной деформации упругой системы в методах необходимы пробы большой длины, что вызывает дополнительные затраты времени и материала.

Полуцикловые характеристики определяют прочностные свойства материалов.

Для оценки релаксационных свойств определяют одноцикловые характеристики, на которые существенное влияние оказывают величина и режимы нагружения, темп нагружения, длительность отдыха.

Исследованию релаксационных свойств при растяжении посвящены работы Г.Н. Кукина, А.Н. Соловьева [8], А.И. Коблякова [41], Труевцева А.В. [45], Л.Л. Чагиной и других.

Исследуя деформации при различных нагрузках, установлено, что нарастание полной деформации у различных нитей происходит по-разному: у льняной пряжи замедленно, у вискозной – ускоренно [8]. При увеличении нагрузки при действии ее на ткани и трикотаж [46–48] полная деформация нарастает и существенно изменяются ее составные части: доля остаточных растет, обратимых – уменьшается.

При длительном воздействии на трикотаж [48] происходит увеличение доли пластической деформации, с увеличением времени отдыха доля ее уменьшается, но при этом темп ее снижения различен при разной длительности нагружения.

Влияние величины нагрузки, продолжительности и характера ее действия во многом определяют деформационные характеристики текстильных материалов. В процессе изготовления одежды и при ее эксплуатации на нее действуют нагрузки, различные по величине, продолжительности и характеру, и оказывая влияние на внешний вид швейных изделий.

Оценка деформационных свойств текстильных материалов может быть выполнена экспериментальными и расчетными методами.

В классификации экспериментальных методов [49], основными признаками являются режимы деформирования и релаксации, задаваемые и поддерживаемые параметры испытания.

Методы определения деформации тканей и ее составных частей при растяжении, разработанные в МТИ [49] и называемые одноцикловыми, используют многие исследователи. Однако нет ГОСТа на метод определения одноцикловых характеристик тканей, тогда как для ряда других материалов они разработаны (полотна трикотажные, кожа, обувь). Поэтому среди исследователей нет единого мнения по параметрам испытания, особенно в отношении выбора величины внешнего воздействия.

На деформационные свойства при растяжении текстильных материалов большое влияние оказывает тепло и влага, под действием которых в структуре ослабляются межмолекулярные связи, что увеличивает подвижность макромолекул, их способность к перемещению и деформированию. Свойства, характеризующие деформационную способность материалов при одновременном действием нагрузки и температуры называют термодеформационными.

Термодеформационные свойства текстильных материалов оцениваются методом термомеханического анализа (ТМА) [50].

Термомеханический анализ (ТМА) возник как метод исследования состояний полимеров посредством наблюдения их деформаций при силовом и тепловом воздействии. Метод можно рассматривать как один из разделов термического анализа [50, 51], структура которого приведена на рис. 1.14.

Согласно терминологии Международной конфедерации термического анализа (ICTA) название «термомеханический анализ» должно применяться в отношении методики, в которой измеряется деформация вещества под действием не изменяющейся нагрузки в зависимости от температуры, когда вещество подвержено действию температуры по контролируемой программе.

Методы исследования деформируемости материалов в широком интервале температур были впервые разработаны А.П. Александровым и Ю.С.

Лазуркиным (частотно-температурный метод) [52] и В.А. Каргиным и Т.И. Соголовой (метод, получивший название термомеханического) [53]. Благодаря основополагающим работам этих авторов термомеханический анализ стал распространенным методом исследования полимеров.

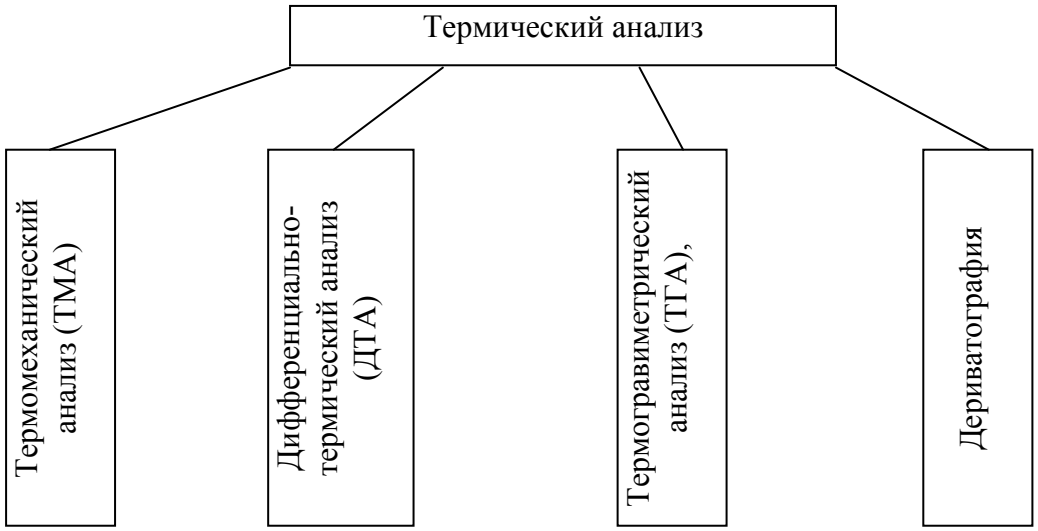
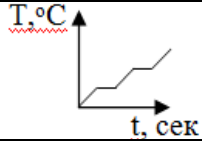
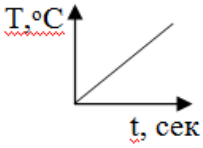
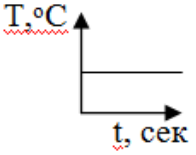


Рисунок 1.14 – Методы термического анализа

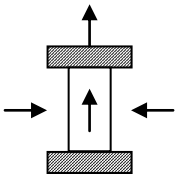
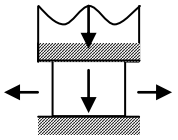
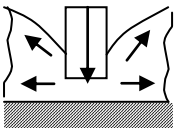
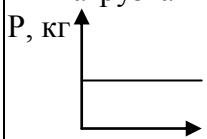
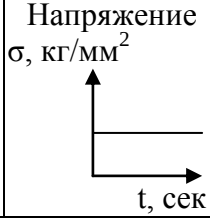
Практическая значимость метода ТМА в исследовании свойств материалов заключается в том что этот метод дает возможность через механические показатели судить о физико-химическом состоянии материала в широком температурном диапазоне и изучать процессы, происходящие при его нагреве.

В литературных источниках приводится различные методы проведения ТМА. Однако, до настоящего времени они не стандартизированы и не унифицированы для текстильных материалов, нет типовых измерительных приборов. Это приводит к тому, что существуют различные методики и измерительная аппаратура, вследствие чего получаются трудно сопоставимые данные. Отличительная особенность метода ТМА в том, что деформация полимера оценивается при одновременном действии трех факторов – нагрузки, температуры и времени. Поэтому, существующие методы ТМА можно классифицировать по следующим признакам: виду деформации, временному режиму силового воздействия, режиму нагрева и среде испытания [54]. Предлагаемая классификация методов ТМА приведена в табл. 1.4.

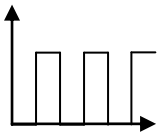
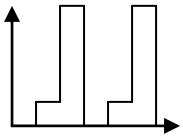
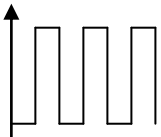
Таблица 1.4 – Классификация методов ТМА

Вид клас-сифи-кации	Вид и характер воздействия		Графическое изображение воздействия	Параметры испытаний и объекты исследований	Примеры методов ТМА
По режиму нагрева	Политер-мический нагрев	Ступенчатый нагрев		Скорость нагрева не регламентируется	Ранние методы ТМА
		Непрерывный линейный нагрев		Диапазон температур выбирается в зависимости от свойств полимера, возможные температуры: для полимеров от –170°С до 500°С, для кожи – от –170°С до 300°С, для нитей, волокон, швейных ниток, ткани – от 0°С до 300°С; возможная скорость нагрева – $0,5 \div 20^{град/мин}$: волокна – $0,5^{град/мин}$, полимеры – $2 \div 3^{град/мин}$, кожа, текст. материалы – $5 \div 10^{град/мин}$	Методика МТИЛП [58], методика Перепелкина К.Е. [59]
	Изотермический нагрев			Параметры температуры выбираются с учетом свойств полимеров	Метод Брагинского Г.И. и Сталевича А.М. [60]
По среде испытания	В воздушной среде			Область используемых температур от –170°С до 500°С; применим любой вид деформирования	Методика МТИЛП [58]
	В активной среде (чаще всего в воде или в растворах других пластификаторов)			Температуры для исследований в воде от 0°С до 100°С; способ деформирования – одноосное растяжение	Метод Перепелкина К.Е. [61]
	В вакууме			До 10^{-3} мм рт. ст. t = (–150÷250)°С способ деформирования – одноосное растяжение	Метод Зеленева Ю.В. и Карданова Х.К. [50], методика МТИЛП [58]

Продолжение таблицы 1.4

По способу деформирования	Растяжение	Одноосное растяжение		Растяжение до обрыва; для исследований полимеров в виде пленок, нитей, волокон, кожи, швейных ниток, ткани	Методы Перепелкина К.Е. [59, 61], Рудакова А.П. и Семенова Н.А. [50], МТИЛП [58]
		Режим постоянной длины образца (изометрический)		Приложение усилий для поддержания постоянной длины при термоусадке полимера; для исследований полимеров в виде пленок, нитей, волокон, кожи, швейных ниток, ткани	Методика МТИЛП [58], Шошиной В.И., Никоновича Г.В., Ташпулатова Ю.Т. [62]
	Одноосное сжатие			Для исследования аморфно-кристалличных полимеров	Метод Александрова А.П. и Лазуркина Ю.С. [63]
	Пенетрация			Давление пуансона зависит от свойств полимера 0.32÷2100 кг/см^2; для исследования полимеров в любом виде, в том числе и порошкообразных, многокомпонентных полимерных систем	Метод Каргина В.А. и Соголовой Т.И. [64]
	Игиб			Для исследования полимеров	
	Кручение			Для исследования полимеров	
По режиму нагружения	Квазистатический режим	Постоянное нагружение		P = 0,01÷2 кг	Метод Шапиро А. [50]
		Постоянное напряжение		σ = 0,005÷20 кг/мм^2	Метод Перепелкина К.Е. [59]

Окончание таблицы 1.4.

	Програмное нагружение	Изменение усилия по синусоидальному закону на фоне постоянной составляющей	Нагрузка t, сек	Частота 1÷2000 колебаний/мин	Метод Александрова А.П. и Лазуркина Ю.С. [63]
	Импульсный режим	Кратковременное нагружение постоянным усилием, чередующимся с отдыхом	Нагрузка  t, сек	Импульсное нагружение 16 кг/см^2, длительность импульса 10-15 сек при периодичности 2 мин	Метод Каргина В.А. и Соголовой Т.И. [64]
		Импульсное нагружение последовательно малым и большим грузом	Нагрузка  t, сек	Импульсное нагружение 6,4 кг/см^2 и 16 кг/см^2, длительность импульса до 2 мин при периоде 4 мин	Метод Рудакова А.П. и Семенова Н.А. [65]
		Периодическое импульсное нагружение на фоне небольшой постоянной составляющей	Нагрузка  t, сек	Импульсное нагружение 16 кг/см^2 с постоянной составляющей 0,64 кг/см^2 длительностью 2 мин с интервалами 2 мин	Метод Тейтельбаума Б.Я. [50]

ТМА применяется для изучения свойств полимеров, пленок, волокон, текстильных нитей, кожи и швейных ниток. Для исследования тканей данный метод достаточно распространен в настоящее время, поскольку для швейников необходимо знать и прогнозировать поведение тканей в условиях повышенных температур и влажности – это соответствует технологическим режимам изготовления швейных изделий.

Результаты исследований, особенно для термореактивных полимеров, зависят от условий нагревания (см. табл. 1.4). В связи с этим к недостаткам ступенчатого нагрева можно отнести трудность учета влияния температуры на изменение свойств полимера. Указанного недостатка лишены методы при непрерывном изменении температуры, особенно по линейной программе с фиксированной скоростью. Такой нагрев обеспечивает равномерный прогрев

образца, создание в нем однородного температурного поля. При этом координата температуры на термомеханической кривой является и координатой времени.

Достоинствами политермических методов является то, что с их помощью возможно проследить закономерное изменение свойств полимера, агрегатных и фазовых превращений характерных для всей температурной области его существования.

Различные режимы нагружения позволяют измерять разный характер деформационной способности полимера. Так, например, достоинством импульсного нагружения является то, что в этом случае можно оценить деформируемость полимера в данной температурной точке, в то время как при постоянном нагружении измеряется суммарная деформация за все время нагревания от исходной температуры до данной. Для постоянного нагружения это тоже является положительным моментом, так как позволяет наблюдать полимер в условиях сходных с производственными.

Выбор способа деформирования определяется свойствами исследуемого материала. Недостаток метода одноосного растяжения в том, что он не удобен для измерений больших деформациях, характерных для вязкотекучего состояния полимеров.

Достоинством метода одноосного сжатия является возможность исследования любого образца, даже того из которого невозможно изготовить нити или пленки. Кроме того, известно, что при действии постоянного усилия удельная нагрузка по мере сжатия полимера убывает из-за возрастания площади сечения, поэтому недостаток данного метода в том, что метод используется для исследования относительно малых деформаций.

Указанные недостатки не характерны для метода пенетрации, поэтому он является наиболее распространенным методом воздействия на полимер при исследовании его термомеханических свойств. Недостатком лишь можно указать влияние края системы при вдавливании пуансона на величину вязкости или модуля эластичности полимера.

Достоинством метода исследования термомеханических свойств в условиях активной среды является возможность наблюдения за процессом пластификации.

В зависимости от выбранного метода и применяемого оборудования возможно регистрировать разные параметры: деформацию полимера, его жесткость (механический модуль) и податливость, а также скорость нарастания деформаций.

Для оценки термомеханических свойств тканей из перечисленных методов используется метод растяжения при постоянно действующей нагрузке в условиях линейно повышающейся температуры воздушной или водной среды. Указанный метод одноосного растяжения позволяет получать данные сопоставимые со стандартными методами оценки деформационный свойств тканей при нормальных условиях.

Общими недостатками конструкций всех приборов используемых в выше перечисленных методах являются: механические конструкции, устаревшие электронные компоненты, отсутствие автоматизации проведения испытаний.

Экспериментальные данные, полученные с помощью метода ТМА представляются в виде термомеханических кривых (ТМК) – кривых деформации образца при непрерывном функциональном изменении температуры в широком диапазоне. Общий вид ТМК представлен на рис. 1.15.

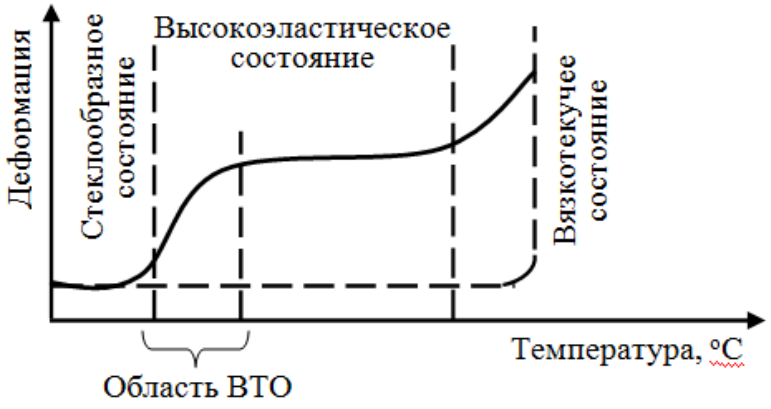


Рисунок 1.15 – Общий вид термомеханической кривой

На начальном участке кривой оценивается условная жесткость материала (стеклообразное состояние). Величину высокоэластических деформаций

определяет высота графика четко выраженной площадки в ее середине (высокоэластическое состояние) [66]. Величина ползучести или усадки определяется расположением графика относительно оси абсцисс (рис. 1.16) и в соответствии с этим решается вопрос о необходимости подбора различных материалов в пакет одежды и их декатировки перед раскроем. Оптимальная температура дублирования, позволяющая гарантировать стабильность размеров изделий, определяется по точке пересечения кривой с осью абсцисс без приложения нагрузки.

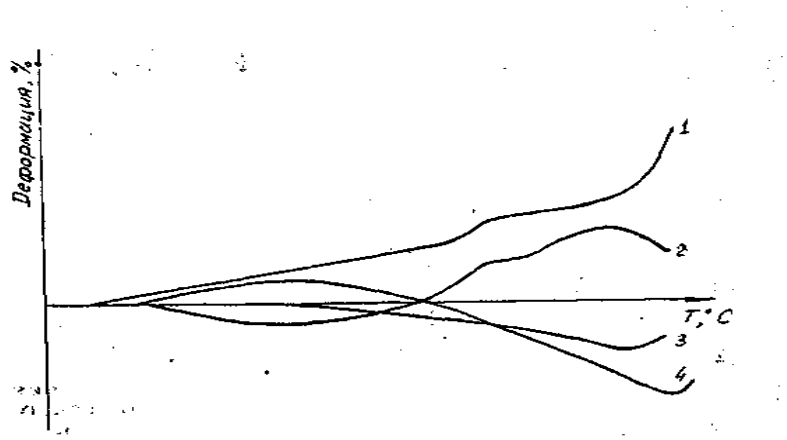


Рисунок 1.16 – Термомеханические кривые материалов для одежды:
1 – плащевая ткань из химических волокон; 2 – льнохлопковая жаккардовая ткань;
3 – швейные нитки ЗЗЛ; 4 – армированные швейные нитки 44ЛХ

По кривой ТМА устанавливают пределы температуры работоспособности материалов [67]. Для этого снимают несколько ТМК с разными силовыми воздействиями, которые позволяют определить температурную область работоспособности материала (рис. 1.17). Значение температуры предела работоспособности определяют на графике по резкому увеличению удлинения или усадки в конечной стадии испытаний. По точкам перегибов строят кривую, ограничивающую область работоспособности материала[68].

Применение метода ТМА по исследованию термодеформационных свойств материалов позволяет получить информацию о поведении материалов при изготовлении и носке одежды, а также дает возможность использовать рациональный подбор материалов на стадии конфекционирования.

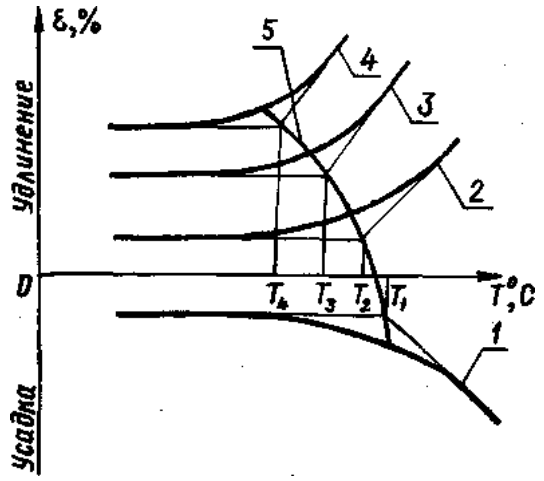


Рисунок 1.17 – Определение температурной области работоспособности материалов

1 – кривая при напряжении $\sigma_1 = 0$ МПа; 2, 3, 4 – кривые при напряжениях $\sigma_4 > \sigma_3 > \sigma_2$;

5 – кривая, ограничивающая область работоспособности

1.3. Анализ методов определения способности тканей к сдвигу нитей

Одним из малоизученных механических свойств тканей является деформация сдвига нитей.

Д. Гордон понятие сдвига объясняет таким образом: «Для таких твёрдых тел, как метал, бетон упругая деформация сдвига обычно меньше 1°. При больших деформациях материалы такого типа либо разрушаются либо испытывают необратимые пластические деформации. Однако такие материалы, как резина, текстильные ткани или биологические ткани, могут испытывать гораздо большие упругие и обратимые деформации сдвига – примерно до 30-40°. Деформация сдвига – характеризуется углом, на который изменяется ортогональное расположение нитей в результате действия усилия» [69].

По структуре ткань представляет собой пространственную сетку, размеры и форма которой определяет способность ткани к деформированию.

Деформация сдвига нитей в ткани – это деформация, при которой наблюдается изменение угла между нитями основы и утка.

Исследование сдвига нитей в ткани может быть полезно с точки зрения формообразования деталей изделий. Способность тканей к сдвигу нитей (к изменению угла между нитями основы и утка) оказывает существенное влияние на выбор методов формообразования, конструктивные и технологические особенности, которые определяют размеростабильность изделий при эксплуатации.

Стандартизованные методы исследования свойств материалов при сдвиге нитей отсутствуют. Известны отдельные работы отечественных и зарубежных ученых по исследованию сдвига нитей в ткани.

Определением углов перекоса разнообразных текстильных материалов при постоянном значении силы срезания занимались исследователи Д. Линдберг и другие [70].

Одним из вариантов изучения сдвига относится испытание «на срез» с использованием насадки к разрывной машине [71]. Образец ткани закрепляется в трех зажимах расположенных параллельно друг другу, когда средний начинает смещаться относительно боковых, образец материала испытывает сдвиг по продольным краям.

Д. Финлейзон в своей работе [12] определял зависимость между сопротивлением сдвигу и деформацией сдвига в пучке волокон, расположенных в зажимных устройства прибора. При раздвигании зажимов замерялась сила, необходимую для разрыва пучка. Разрыв проходил по срезу пучка. Исследователем установлено, что разрывная нагрузка прямопропорциональна количеству волокон в пучке.

Исследования деформации ткани срезанием (рис. 1.18) проводились в работах [43, 44], где с помощью экспериментальной установки получена зависимость между углом срезания Θ и силой срезания F (рис. 1.19). Получены гистерезисные кривые, как и при деформации изгибом.

Современный рынок представлен различными производителями испытательного оборудования для оценки механических свойств материалов и деталей. Такие фирмы, как METROTEX, Instron [71], ADMET [72], MTS

Systems Corporation [73], Tinius Olsen [74], Zwick Roell Group [75] выпускают большое многообразие устройств, необходимых для исследования различных материалов, но в основном это разрывные машины и установки на растяжение, а также существенным является их высокая стоимость.

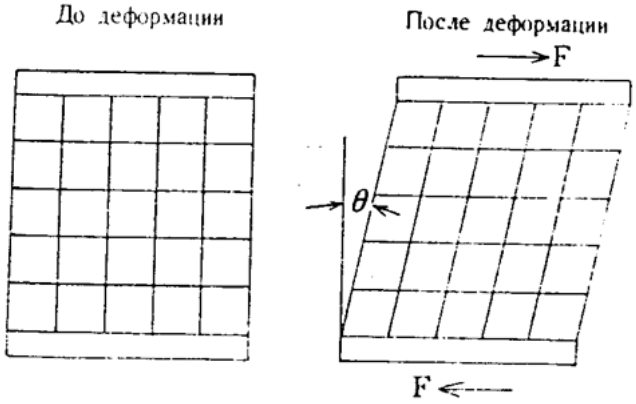


Рисунок 1.18 – Деформация срезанием

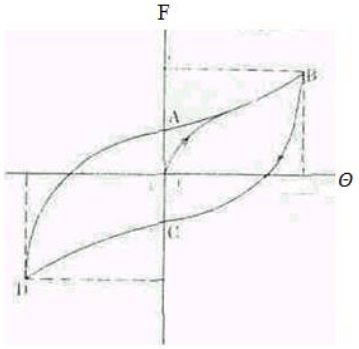


Рисунок 1.19 – Зависимость "Угол срезания – сила срезания"

Не смотря на многообразие оборудования приборов для оценки свойств материалов при сдвиге недостаточно.

Промышленность Японии выпускает серию автоматизированных приборов KES-FB KAWABATA [7], которые позволяют изучать и оценивать характеристики материалов: тканей, нетканых и пленочных материалов, бумаги.

Прибор KES-FB-1 Kawabata (рис. 1.20) предназначен для исследования сдвига нитей в ткани и в процессе эксперимента позволяет определить гистерезис усилия сдвига и жесткость при сдвиге.

Рисунок 1.20 – Прибор KES-FB-1 KAWABATA

Проба материала для проведения испытаний закрепляется между двумя зажимами. Один из зажимов неподвижный, другой может поступательно перемещаться для испытаний на сдвиг. Изначально к образцу приложено постоянное натяжение (10 гс/см) с помощью груза. При проведении эксперимента датчиком определяется усилие сдвига. Максимальный угол сдвига, который может создавать прибор равен 8^{o}, скорость сдвига составляет 0,417 мм/с. Полученная информация передается на двухкоординатный графопостроитель, который вычерчивает график зависимости усилия сдвига от угла сдвига.

Данный прибор используется только за рубежом. На предприятиях и в вузах России, в связи с высокой стоимостью и санкционными ограничениями, такие приборы отсутствуют.

В работе [76] приводилась серия испытаний эластичного ламината на установках KAWABATA. Авторами предложено использовать полученные значения жёсткости при сдвиге нитей для оценки драпируемости пробы:

$$D = 116+25\cdot \log(B\cdot G/W), \qquad (1.26)$$

где W – поверхностная плотность образца;

B – жесткость при изгибе;

G – жесткость при сдвиге.

Американские ученые работах [77, 78] исследовали инструментальные комплексы для определения механических свойств тканей. В своей работе они сопоставили результаты исследования тканей на автоматизированных комплексах KAWABATA KES-FB (Япония) (см. рис. 1.20) и SiroFAST (Австралия) (рис. 1.22). Испытательное оборудование серии SiroFAST имеет программное обеспечение, специально предназначено для исследования тканей на растяжение, изгиб, сжатие и сдвиг [79]. Сравнительные исследования двух систем показали, что они очень похожи и могут быть полезны для определения свойств тканей при проектировании одежды. Испытания показали, что измерения, полученные с помощью SiroFAST-3, являются более ограниченными, прибор не измеряет гистерезис, а значит невозможно

определять релаксационные свойства – способность ткани восстанавливать исходную форму.

Рисунок 1.22 – Приборы серии SiroFAST

Профессором Ивановского государственного политехнического университета Кузьмичёвым В.Е. исследовались показатели сдвига нитей в ткани [80, 81] для инструментального обоснования допустимой кривизны конструктивных линий в одежде. Исследования проводились во Франции в лаборатории Physique et Mécanique Textiles LPMT EAC 7189 CNRS-UHA университета Haute Alsace.

Влияние деформационных свойств материалов при сдвиге на эргономичность школьной формы исследовали А.К. Жаппарова, В.А. Мастейкайте, Т.П. Герасимович (республика Казахстан) [82]. Для исследований использовались приборы системы KAWABATA. Исследования проводились также во Франции в лаборатории университета Haute Alsace.

В результате анализа можно сделать вывод, что прибор KES-FB-1 системы KAWABATA позволяет исследовать способность тканей к сдвигу нитей и определять пригодность тканей для конкретного швейного изделия. Однако, в связи с высокой стоимостью прибор не имеет распространения в России, поэтому отечественные исследователи испытывают затруднения и вынуждены обращаться за помощью к иностранным специалистам. Выявлено отсутствие работ по прогнозированию характеристик сдвига нитей в ткани.

1.4. Разработка методологических основ создания автоматизированного измерительного комплекса

Методологию – учение о методах, способах и стратегиях исследования предмета, рассматривают в двух срезах: как теоретическую, так и практическую, ориентированную на решение практических проблем. Теоретическая стремится к модели идеального знания, практическая же – это программа (алгоритм), набор приёмов и способов того, как достичь желаемой практической цели. Эффективность метода проверяется практикой, решением научно-практических задач – то есть поиском принципов достижения цели, реализуемых в комплексе реальных дел [202].

Общие методологические приемы основываются на моделировании, системном, логическом принципе исследования. В научных разработках исследователи используют системный подход. В диссертационной работе методология предусматривает индивидуальный путь, благодаря которому достигается поставленная научно-исследовательская цель в улучшении качества изделий легкой промышленности за счет разработки и использования автоматизированных систем определения свойств материалов, позволяющих расширить информативность измерений, реализовать цифровизацию конфекционирования и прогнозирования свойств материалов при изготовлении и эксплуатации изделий.

На основе анализа современного состояния оценки технологических и эксплуатационных свойств материалов для изделий легкой промышленности разработана классификация существующих методов и средств определения основных свойств материалов. Основные недостатки, связаны с применением методов к определенным видам и группам материалов, с малой информативностью, статическим характером испытаний, низкой достоверностью результатов в силу методического и инструментального несовершенства.

Проведенный анализ и классификация позволили разработать методологические основы создания автоматизированного измерительного комплекса, способы регистрации изучаемых процессов, конструкции автоматизированных систем и устройств, алгоритмы измерений.

Методология исследования деформационных свойств текстильных материалов охватывает:

− анализ современного состояния оценки свойств материалов;

− идентификация объекта исследования;

− разработку методов и технологических условий проведения измерений максимально приближенных к реальным воздействиям, которые испытывают текстильные материалы в условиях переработки и эксплуатации;

− разработку автоматизированных измерительных систем и устройств реализующих методы;

− разработку алгоритмов и методик проведения экспериментов;

− разработку алгоритмов и методик обработки экспериментальных данных, показывающих их точность и достоверность;

− разработку программного обеспечения, позволяющего качественно управлять сбором и обработкой экспериментальных данных, их графическое представление.

В качестве объектов исследования в работе использованы материалы для изделий легкой промышленности и их свойства; методы и средства измерений.

Важнейшим этапом этих направлений является этап разработки автоматизированных систем и устройств.

Применяемая методология на первом этапе предусматривает анализ существующего уровня развития измерительных средств, их обобщение и классификацию, выявление недостатков. Особое внимание уделяется выбору путей, обеспечивающих высокую информативность характеристик исследуемых свойств материалов.

Затем, производится определение характеристик объекта исследования и разрабатывается структура измерительной системы, с учетом выявленных

недостатков, выбираются составные части системы, устраняющие недостатки, особое внимание уделено выбору первичного преобразователя (чувствительного элемента) системы. Принцип преобразования измеряемой величины: индуктивный, емкостный, потенциометрический, тензометрический, фотоэлектрический и др. определяется по критериям наибольшей чувствительности и помехоустойчивости, целесообразно, по возможности, использовать бесконтактный способ измерения, который не вносит погрешность в измерения.

Для обеспечения необходимого коэффициента усиления электрического сигнала, снимаемого с первичных преобразователей, и минимального дрейфа нуля необходимо использовать прецизионные операционные усилители постоянного тока в интегральном исполнении.

Обязательным условием измерительной системы является преобразование аналогового сигнала, который выдает чувствительный элемент, в цифровой. Цифровая форма сигнала позволяет формировать базу справочных данных о свойствах материалов и строить графики полученных экспериментальных данных, что обеспечивает высокую информативность процесса измерения и качественную обработку. Графическое представление позволяет исследовать кинетику процесса деформирования материала и восстановления после снятия нагрузки, рассчитать площадь и получить интегральные характеристики, раскрывающие их физическую сущность.

Первичный преобразователь (чувствительный элемент), усилитель сигнала, аналого-цифровой преобразователь в совокупности представляют собой измерительный канал, по которому передается сигнал в компьютер. На основе полученных в процессе эксперимента измерений, делаются необходимые вычисления, научные выводы и утверждения, поэтому достоверность полученных измерительной системой или устройством данных необходимо обстоятельно подтверждать.

Методология проверки достоверности измерений основывается на методах математической статистики, теоретических основах метрологии и

включает расчет метрологических характеристик отдельных устройств, составляющих измерительный канал, выделение элементов, которые вносят наибольшую погрешность, и вычисление суммарной погрешности всего канала в целом. Обязательным условием является практическая проверка на линейность выходной статической характеристики первичного преобразователя (чувствительного элемента), особенно если это фотодиод, который обладает нелинейной вольт-амперной характеристикой (ВАХ).

Для измерения быстро изменяющихся (динамических) процессов определяются динамические составляющие погрешности измерительного канала, которые ограничивают частотный диапазон измеряемой величины в области высоких частот ее измерения. Динамическая погрешность нормируется указанием ее амплитудно-частотной характеристики (АЧХ).

При разработке программного обеспечения предусматривается использование контекстных подсказок, диалоговых окон, интуитивно понятного интерфейса, что обеспечивает комфорт при проведении испытаний. Порядок работы на автоматизированных системах и устройствах, подготовка и заправка проб исследуемых материалов, подробно излагается в инструкциях по эксплуатации.

Наиболее эффективно использование нескольких автоматизированных систем объединенных в измерительный комплекс. Всестороннее исследование свойств текстильного материала по различным видам деформаций, позволяет более объективно оценить его качество.

На рис. 1.23 показана обобщенная структурная схема разработанного автоматизированного измерительного комплекса для всесторонней оценки свойств текстильных материалов, определяющих их переработку и эксплуатацию. Комплекс состоит из двух частей: автоматизированные измерительные системы и автоматизированные устройства к стандартному оборудованию.

Методология реализации цифровизации конфекционирования показана на (рис. 1.24).

Рисунок 1.23 – Обобщенная структурная схема автоматизированного измерительного комплекса всесторонней оценки свойств текстильных материалов

Файл экспериментальных данных позволяет построить различные графические зависимости, например, проследить кинетику всего процесса деформирования материала. График зависимости (см. рис. 2.9) жесткости на изгиб от деформации обеспечивает вычисление площади работы, которую не представляется возможным определить существующим стандартным методом.

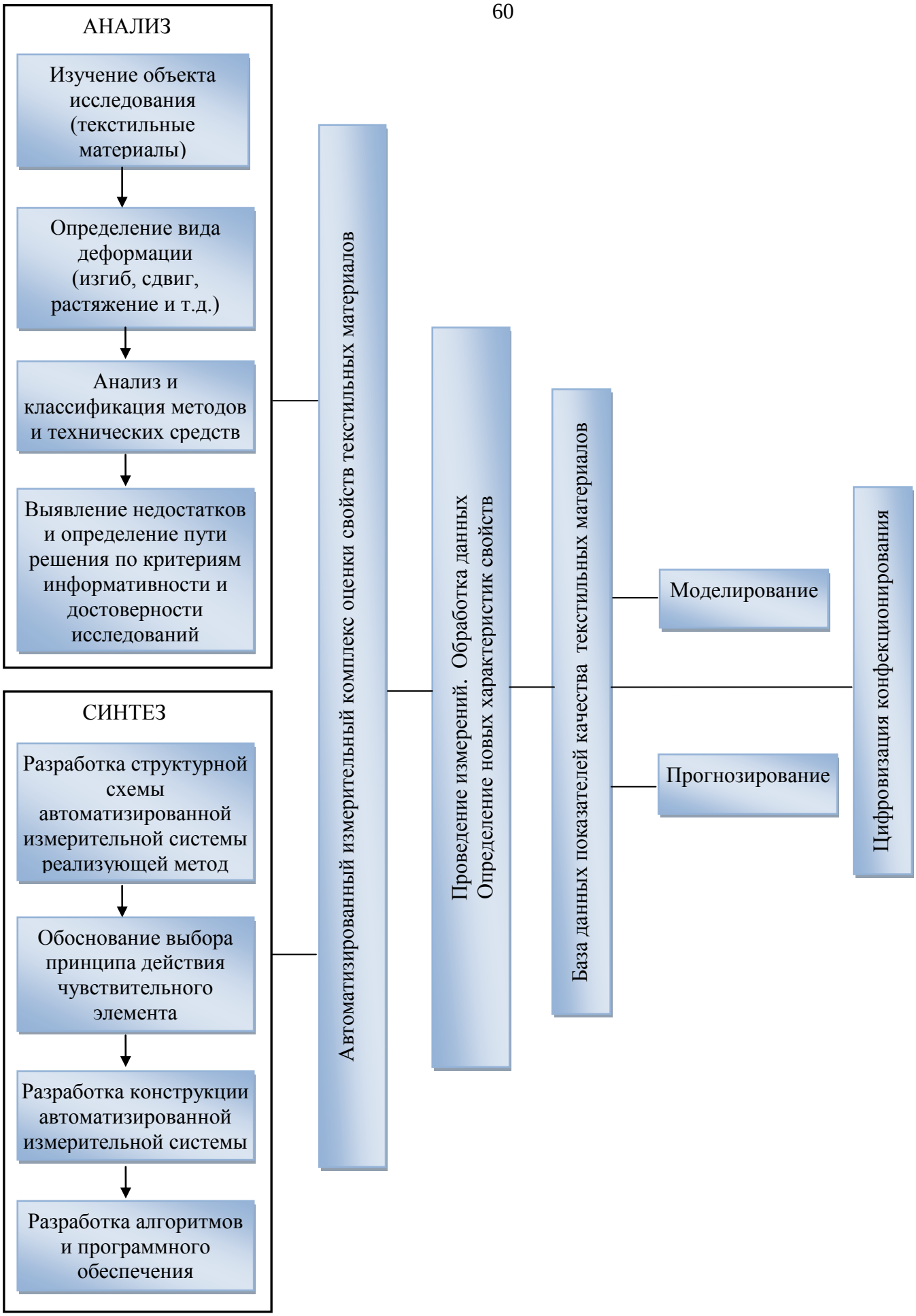


Рисунок 1.24 – Методология цифровизации конфекционирования

Особенность методологии исследования динамического процесса после освобождения от изгибного усилия (после изгиба) заключается в обеспечение бесконтактного принципа измерения (исключается влияние датчика на объект) и обоснованный выбор принципа действия чувствительного элемента. Принцип действия (емкостный, индуктивный, фотоэлектрический и др.) определяется по критериям помехоустойчивости, чувствительности, мощности выходного сигнала.

Разработанные методологические основы позволяют рационально подойти к созданию автоматизированного измерительного комплекса, улучшающего оценку качества текстильных материалов и использованию его для моделирования и прогнозирования свойств.

Выводы по главе

Проведенный анализ работ по методам определения характеристик изгиба, растяжения и сдвига показал, что комплекс показателей, рекомендуемых ГОСТами, дает ограниченную информацию о материалах, достаточную только для оценки выходного качества текстильной продукции. Стандартные приборы не позволяют реализовать графическую запись, например, процессов изгиба и восстановления, термомеханического анализа, сдвига и изучить их кинетику. Стандартные методы определения способности ткани к сдвигу нитей отсутствуют. Недостаточно изученными являются изгиб и растяжение в динамических условиях, термомеханические свойства, несмотря на то, что именно они определяют технологические и эксплуатационные свойства материалов и оказывают решающее влияние на выбор методов конструирования и технологической обработки.

Проведенный анализ работ по методам определения характеристик изгиба, растяжения и сдвига показал, что:

1. Характеристиками изгиба являются условная жесткость и условная упругость, что не в полной мере позволяет оценить технологические и

эксплуатационные свойства. Жесткость и упругость рассматриваются как характеристики выходного контроля качества материалов.

2. Существующие экспериментальные методы и приборы для определения характеристик при изгибе материалов в значительной степени устарели, характеризуются статическим характером испытаний, низкой достоверностью результатов в силу инструментального несовершенства, не отражают реальных условий изготовления и эксплуатации одежды.

3. Отсутствует динамический метод определения свойств материалов после изгиба позволяющий оценить количественно качество исследуемого материала. Методы определения характеристик изгиба в статическом и динамическом режимах необходимы для расширения информативности о свойствах материалов и научно обоснованного конфекционирования.

4. Стандартные методы исследования материалов на растяжение не позволяют оценить деформационные свойства материалов в условиях кратковременных нагружений и термодеформационные свойства, приближенные к реальным условиям производства и эксплуатации одежды.

5. Стандартный метод определения способности ткани к сдвигу нитей отсутствует.

6. Разработаны методологические основы создания автоматизированного измерительного комплекса объединяющего автоматизированные системы и устройства для определения свойств материалов, позволяющего разработать методы моделирования и прогнозирования, и реализовать цифровизацию конфекционирования.

2. РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ИЗГИБА ПОЛОТЕН

2.1. Определение характеристик изгиба материалов в квазистатическом режиме

Текстильные материалы в процессе изготовления из них швейных изделий и при носке одежды испытывают деформацию изгиба, и релаксационные процессы, имеющие место в одежде при изгибе, оказывают большое влияние на сохранение формы швейных изделий при эксплуатации.

Жесткостью оценивается способность материалов сопротивляться изменению формы при действии внешней изгибающей силы, а упругостью характеризуется свойство материала восстанавливать первоначальное состояние после снятия усилия, вызвавшего его изгиб.

Анализ существующих методов оценки деформационных свойств материалов при изгибе показал, что способность материалов к изгибу остается малоизученной в силу сложности самого явления, широкого ассортимента материалов, используемых в швейном производстве, несовершенства существующих методов оценки. Стандартные методы определения жесткости и упругости не позволяют оценить кинетику процессов изгиба и восстановления материалов после изгиба, не раскрывают механизм релаксации напряжения, возникающего в деформируемом материале. Все это ограничивает возможность оценки и прогнозирования технологичности материалов, а также надежности материалов и изделий при их эксплуатации.

Стандартный метод определения жесткости и упругости [22] – метод кольца, реализуется на приборе ПЖУ-12М [25] (см. рис. 1.2). По результатам испытаний определяют условную жесткость P как массу шариков в чаше весов, а условную упругость, как отношение величины распрямления пробы после снятия нагрузки к величине прогиба.

Статическая характеристика условной жесткости P обладает малой информативностью, так как не позволяет оценить изменение силы сопротивления образца в процессе изгиба. Характер деформации не определяется потому, что средства измерения не позволяют это зафиксировать. Подробно недостатки стандартного метода и прибора описаны выше в п. 1.1.

Согласно принятой методологии (п. 1.4) для определения показателей качества материалов при изгибе разработана автоматизированная измерительная система, реализующая запатентованный метод [83]. Система обеспечивает высокую информативность и достоверность испытаний, получение новых характеристик испытуемых материалов.

Разработка измерительной системы проводилась по следующим направлениям:

– разработка способа и технологических условий проведения испытаний;

– разработка автоматизированной системы и приспособлений, обеспечивающих соблюдение этих условий;

– разработка алгоритмов и программного обеспечения проведения испытаний и обработки экспериментальных данных.

В законченном виде швейное изделие находится в сложном деформированном состоянии. В ходе технологического процесса и при эксплуатации одежда подвергается действию внешних сил, реакция на которые определяется свойствами материала.

При исследовании свойств необходимо ввести ограничения. Большинство экспериментальных методов оценки свойств материалов проводят однотипные испытания. Значит, в процессе измерения может изменяться только исследуемое свойство при неизменных прочих условиях, причем условия должны быть одинаковы во всех испытаниях. Исследование на изгиб проводится при нормальных условиях, тем самым устраняется влияние изменения влажности и температуры на свойства материала. Начальная форма

закрепленной пробы материала и процесс деформации остаются неизменными на всем протяжении испытаний.

Сущность исследований аналогична стандартному методу кольца и заключается в том, что прямоугольную пробу, закрепленную в виде кольца подвергают изгибу на 1/3 высоты, выдерживают в нагруженном состоянии, после чего нагрузка снимается и пробе дается отдых (рис. 2.1).

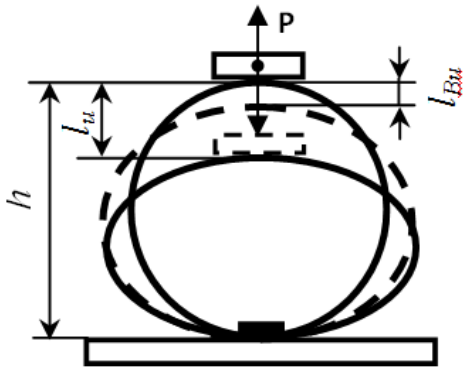


Рисунок 2.1 – Схема изгиба:

h – высота пробы, мм;

l_u – величина прогиба, равная 1/3 высоты пробы, мм;

l_{Bu} – величина прогиба пробы после распрямления, мм.

Принципиальные отличия предложенного способа и стандартного в том, что при испытании по ГОСТ 8977-74 жесткость определяется как нагрузка, которая деформирует материал. Жесткость приписывают не объекту исследования, а средству воздействия, средству проведения испытания.

В соответствии с предложенным способом, жесткость – это сила с которой сопротивляется материал деформирующему воздействию в результате прогиба образца на 1/3 ее высоты. Здесь определение жесткости является как неотъемлемое свойство материала, которое определяет результат испытания, изменяет физическое ее понимание по сравнению со стандартным определением, не изменяя количественно.

Обоснование величины деформации на 1/3 высоты пробы следующее. При больших деформациях, которые сопоставимы с размером пробы, велика вероятность нарушения структуры ткани и проявления пластической

составляющей деформации. При оценке характеристик изгиба (жесткости и упругости) необходимо минимизировать пластическую часть деформации и оценить упругую и высокоэластическую составляющие. Но для повышения достоверности измерений желательно увеличение деформации и сил сопротивления, так как существует проблема измерения малых усилий.

В стандартном методе предусмотрено использование проб материала только прямоугольной формы, которые раскроены в ортогональных направлениях (по основе и утку).

Для получения большей информативности при проведении испытаний используются пробы прямоугольной и крестообразной форм. Пробы прямоугольной формы фиксируют выбранную систему нитей. В пробах крестообразных форм работают две взаимоперпендикулярные системы нитей, и свойства такой пробы более соответствуют свойствам материала. Предусмотрена возможность раскроя проб под разными углами для изучения анизотропии жесткости и упругости (рис. 2.2). Типоразмер проб 95±1×20±1 мм используется согласно стандартному методу.

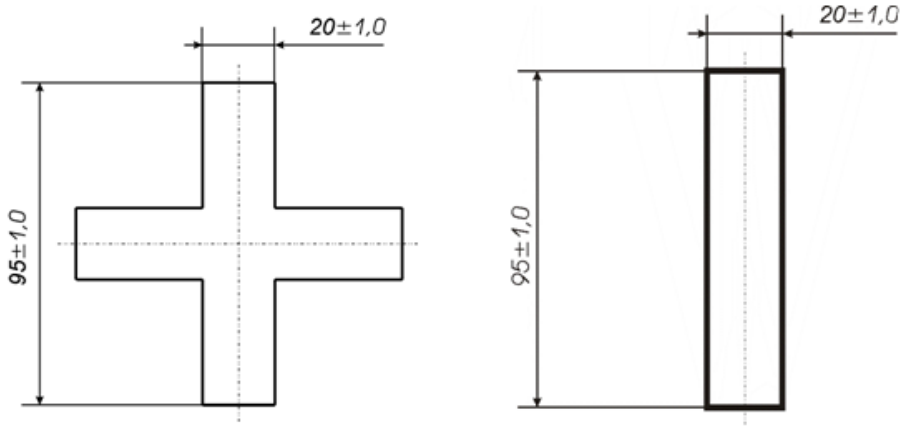
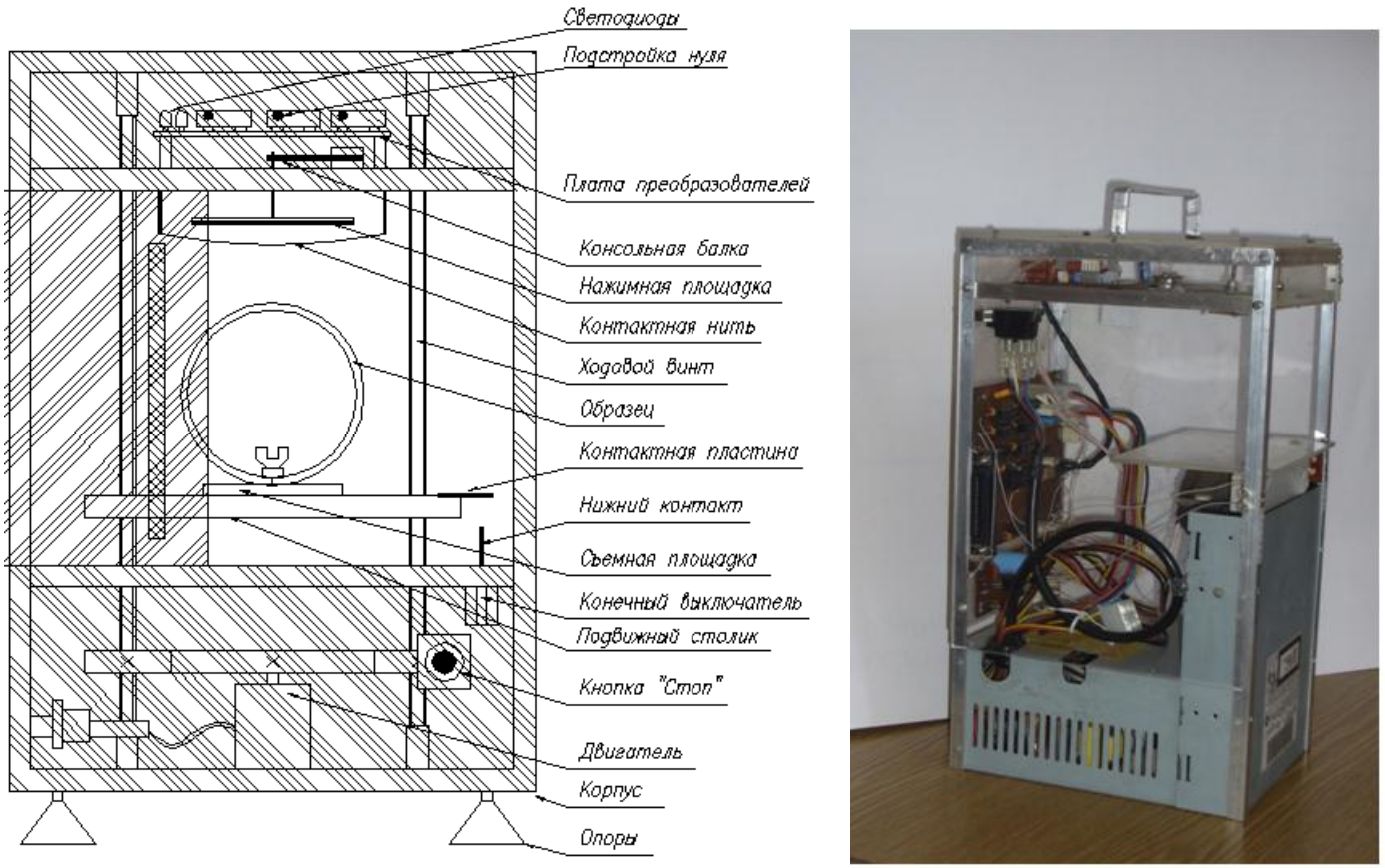


Рисунок 2.2 – Схема раскроя проб при прямоугольной и крестообразной форме

Для реализации метода разработана автоматизированная система, основным элементом которой является программно управляемое автоматизированное устройство определения характеристик изгиба [84]. Устройство имеет самостоятельное конструктивное оформление (рис. 2.3 *а, б*) и функционирует совместно с ЭВМ под управлением компьютерной программы Hardness [85].

В состав устройство входят: корпус, подвижный столик со съемной площадкой управляемый электроприводом, консольная балка с тензодатчиком, контактные датчики, электрооборудование. Деформирование пробы происходит путем равномерного перемещения подвижного столика к неподвижной нажимной площадке.



а *б*

Рисунок 2.3 – Схема устройства определения характеристик изгиба:
а – схема устройства; б – внешний вид конструкции

Структура автоматизированной системы содержит (рис. 2.4): датчик силы (ДС), преобразующий силу сопротивления пробы в электрический сигнал; датчик перемещения (ДП), измеряющий перемещение верхней точки пробы относительно съемной площадки (см. рис. 2.3*а*); исполнительный механизм (ИМ) на основе шагового двигателя для обеспечения равномерного движения столика; контактные микродатчики (КД) которые определяют момент касания пробы с нажимной площадкой и остановки столика в крайнем нижнем

положении; светосигнализацию (С); кнопки управлния (КУ). Блок сопряжения (БС) содержит усилитель, аналого-цифровой преобразователь, таймер, другие цифровые элементы и предназначен для создания интерфейса устройства с ЭВМ. Упругим элементом датчика силы является консольная балка с тензорезисторами [86, 183].

Внешний вид автоматизированной системы для определения характеристик изгиба показан на рис. 2.5.

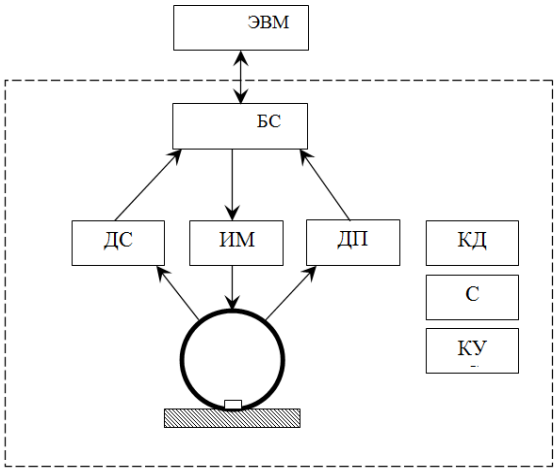


Рисунок 2.4 – Структурная схема автоматизированной системы

К балке жестко крепится нажимная площадка (см. рис. 2.3*а*). Такая конструкция не содержит трущихся узлов и не создает зоны нечувствительности датчика, обусловленной собственной массой нажимной площадки. Жесткость балки такова, что отношение стрелы прогиба балки к нагрузке не превышает 0,01 мм/сН, поэтому перекос нажимной площадки при прогибе балки незначительный.

Датчик перемещения состоит из программно-аппаратной системы подсчета шагов поворота ротора шагового двигателя. Подсчитанное количество шагов привода позволяют определить равномерное перемещение столика.

Равномерное перемещение столика избавляет устройство от недостатков, которые свойственны прибору ПЖУ-12М: ударный характер и дискретность увеличения нагрузки на пробу как результат падения шариков. В разработанном устройстве значительно уменьшены колебания нажимной площадки в процессе проведения исследований.

Методика получения значений показателей следующая: проба закрепляется на съемной площадке, которую размещают на столике (см. рис. 2.3*а*). Столик перемещается по направлению к нажимной площадке с заданной скоростью, пока деформация пробы не достигнет 1/3 его высоты. В процессе изгиба определяют: через заданные интервалы времени значение силы сопротивления пробы *P, гс* внешней изгибающей силе, измеряемое с помощью датчика силы; время с момента приложения изгибающей силы *τ, с*; значение прогиба пробы *l, мм* измеряемое с помощью датчика перемещения. Жесткость испытываемого материала равна показаниям датчика силы, выраженным в *гс*.

Определение характеристик изгиба материалов с использованием автоматизированной системы реализуется по алгоритму (рис. 2.6).

Автоматизированная система входит в измерительный комплекс оценки свойств текстильных материалов.

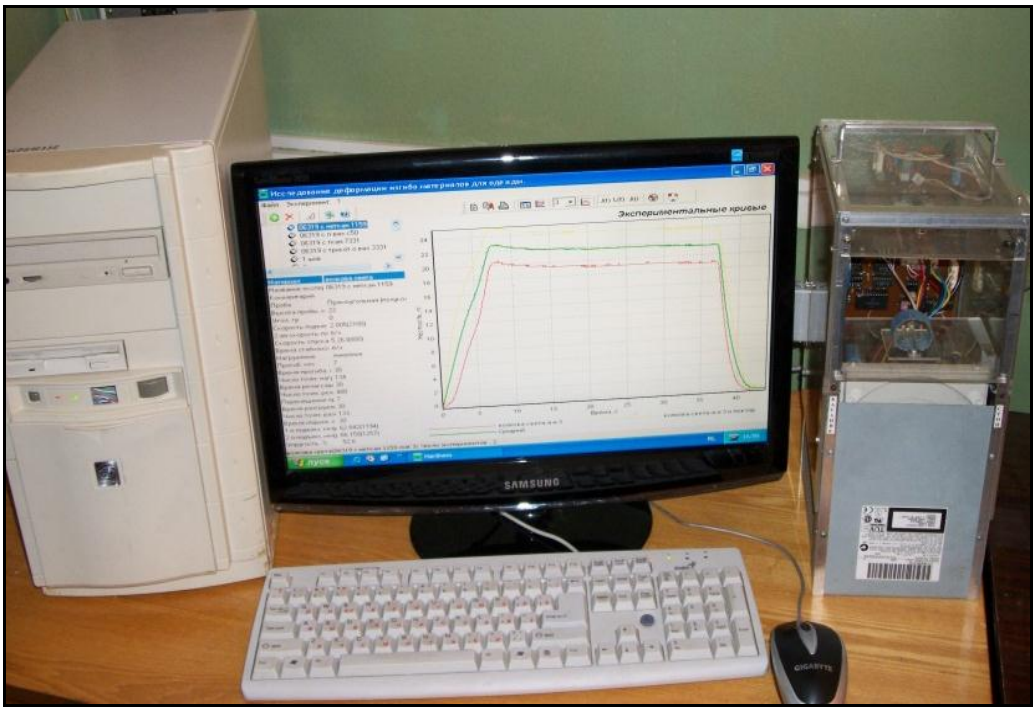


Рисунок 2.5 – Автоматизированная система для определения характеристик изгиба

Управляющая программа Hardness [85] выполняет следующие функции: сбирает сведения об объекте исследования, плане проведения испытаний, режимах проведения эксперимента; управление устройством и запись в память сигналов от датчиков; математическую обработку полученных данных(сглаживание, численное интегрирование); графическое представление

и сохранение данных в файл. Программа имеет оконный интерфейс (рис. 2.7), и работает с устройством в режиме реального времени.

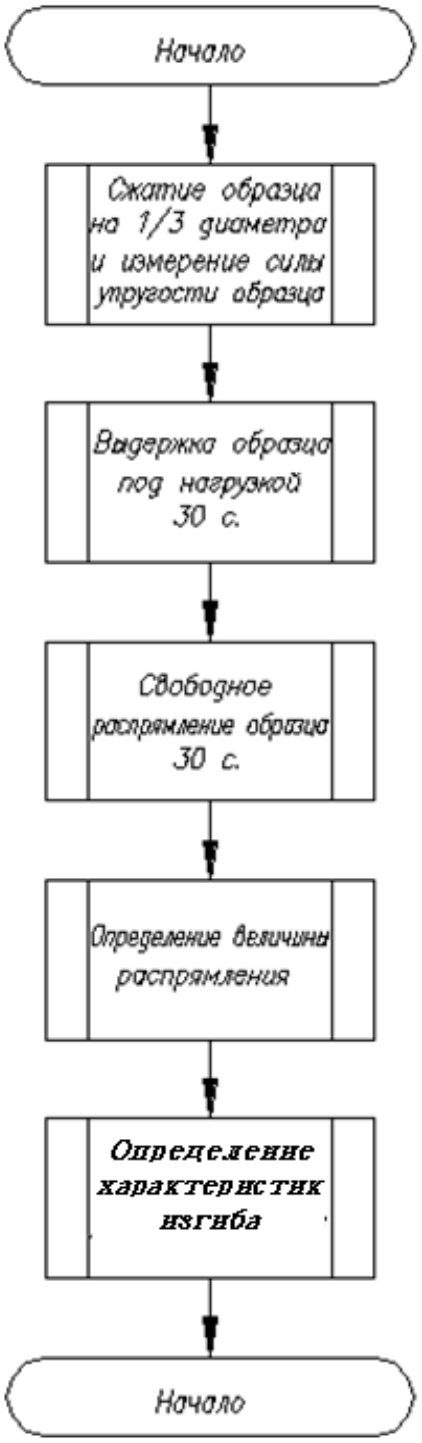


Рисунок 2.6 – Алгоритм определения характеристик изгиба материалов

Согласно ГОСТ [170,171] рассчитаны метрологические характеристики электронных устройств составляющих три измерительных канала

автоматизированной системы: силы, перемещения и времени, расчет приведен ниже (см. п.2.2).

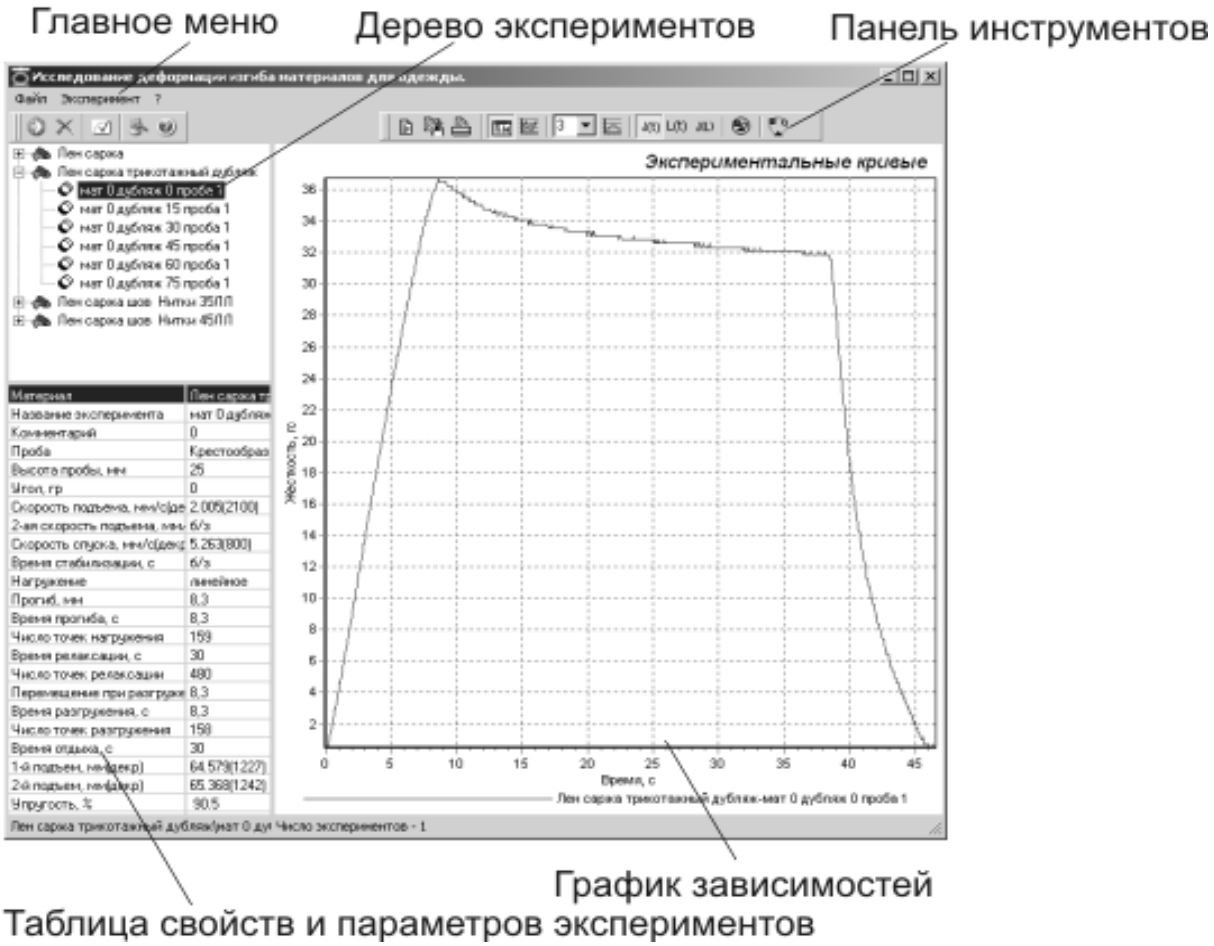


Рисунок 2.7 – Главное окно программы Hardness. Диаграмма изменения жесткости при одноцикловом («нагрузка – разгрузка – отдых») испытании на изгиб

Определена приведенная погрешность и устройству присвоен класс точности 2,5. Параметры автоматизированной системы представлены в табл.2.1.

Таблица 2.1 – Параметры автоматизированной системы

1. Шкала измерения силы:	
б) предел измерения, сН	от 0 до 30
в) цена деления, сН	0,12
2. Шкала измерения перемещения:	
а) предел измерения, мм	от 0 до 60
б) цена деления, мм	0,07
3. Шкала времени:	
а) предел измерения, с	от 0 до 600
б) цена деления, с	0,1

Характеристика автоматизированной измерительной системы**:**

а) обладает высоким уровнем автоматизации проведения экспериментов, который позволил исключить человека из процессов измерения;

б) оптимизированы условия проведения испытания:

1) обеспечение равномерного движения пробы;

2) отсутствие вибраций и перекоса при деформировании;

3) плавное деформирование пробы;

4) реализовано размещение на подвижном столике разных видов съемных площадок;

5) выбор различных режимов проведения испытаний, рекомендации по составлению плана эксперимента;

в) реализована экспресс-обработка результатов испытаний по графическому представлению данных и математическая обработка;

г) обеспечено фиксирование данных о процессах деформирования пробы материала, релаксации и снятии деформирующего воздействия, что использовано для определения и оценки новых характеристик материалов (см. рис. 2.7).

Использование разработанной системы сокращает время подготовительных процедур, проведения испытаний и анализа результатов, уменьшаются трудозатраты и продолжительность обучения.

Порядок работы на автоматизированной системе изложен в инструкции по эксплуатации (приложение 4).

Разработанный метод и система для его реализации позволяют количественно оценить способность материала к изгибу в условиях реальной сложности этого явления, имеющего место при изготовлении и эксплуатации швейных изделий.

Метод отличается высокой информативностью и достоверностью испытаний за счет введения новых показателей, применения автоматизации измерения и обработки результатов.

Автоматизированная система в отличие от стандартного прибора ПЖУ-12М (ГОСТ 8977–74) дает возможность записи диаграммы изгиба и восстановления после изгиба (см. рис. 2.7, рис. 2.8, рис 2.10) и расширяет информативность испытаний за счет введения новых характеристик.

Автоматизированная система позволяет получить комплекс показателей качества, включающий стандартные (условная жесткость, условная упругость) и новые.

Условная жесткость ткани при изгибе $P_{изг}$, сН – сила сопротивления изгибу. Значение жесткости при изгибе $P_{изг}$ определяют по графику или таблице зависимости $P_{изг}(l)$.

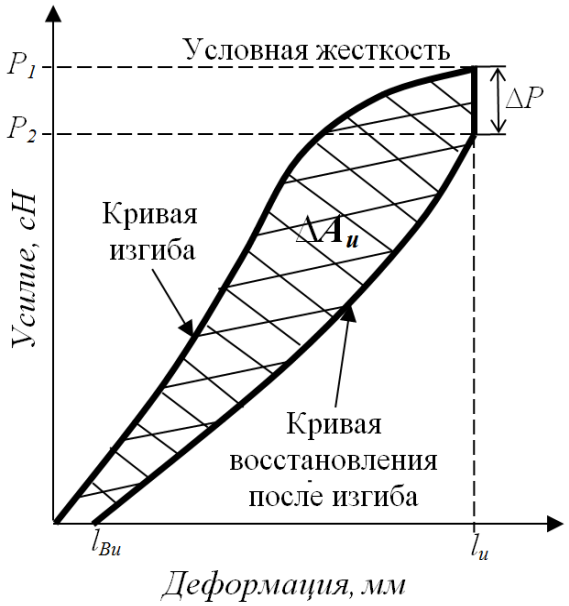


Рисунок 2.8 – Обобщенный процесс изгиба и восстановления поле изгиба

Условная упругость $У_{изг}$, % характеризует способность текстильного материала восстанавливать первоначальную форму после снятия нагрузки (см. рис. 2.1). Показатель упругости показывает степень восстановления материалов:

$$У_{изг} = \frac{l_u - l_{Bu}}{l_u} 100, \qquad (2.1)$$

где l_u – величина прогиба, равная 1/3 высоты пробы, мм;

l_{Bu} – величина прогиба пробы после распрямления, мм.

Работа изгиба $A_{изг}$, мкДж – (определяется площадью, ограниченной кривой изгиба в осях «усилие – деформация») характеризует количество энергии, затрачиваемой на изгиб пробы.

Работа восстановления $A_{Визг}$, мкДж – энергия, которая затрачивается на восстановление пробы в процессе отдыха, характеризует способность материала восстанавливать начальную форму после снятия деформации.

В сравнении с жесткостью на изгиб, работа изгиба является наиболее объективной характеристикой формоустойчивости, так как при одном и том же значении жесткости различных материалов величина работы изгиба может существенно различаться, в силу разной способности сопротивляться изгибу (рис. 2.9). Более выпуклая кривая свидетельствует о том, что для изгиба пробы потребуется большая энергия [25].

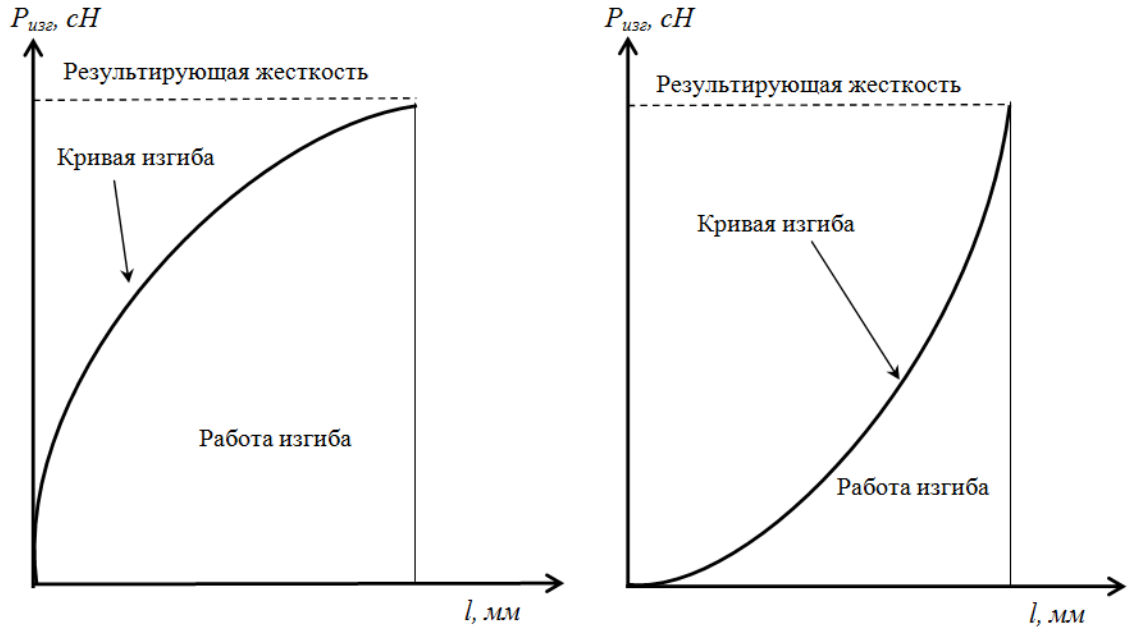


Рисунок 2.9 – Работа изгиба при одинаковом значении жесткости

Реализация возможности оценки работы, затраченной на изгиб пробы и работы, затраченной на восстановление после изгиба, позволяет раскрыть физический характер процессов изгиба и релаксации после снятия усилия. Работа изгиба и работа восстановления после изгиба являются интегральными энергетическими характеристиками жесткости и определяются одним из

приближенных методов интегрирования (метод Симпсона) [12] по всем аргументам полученной таблицы зависимости *P(l)* (рис. 2.10).

При непрерывной зависимости *P(l)* работа изгиба и работа восстановления после изгиба определяются выражениями:

$$A_{И} = \int_{0}^{S_0} P(\imath)d\imath, \qquad (2.2)$$

$$A_{В} = \int_{S_0}^{0} P(\imath)d\imath, \qquad (2.3)$$

где S_0 – величина прогиба, равная 1/3 высоты пробы, мм.

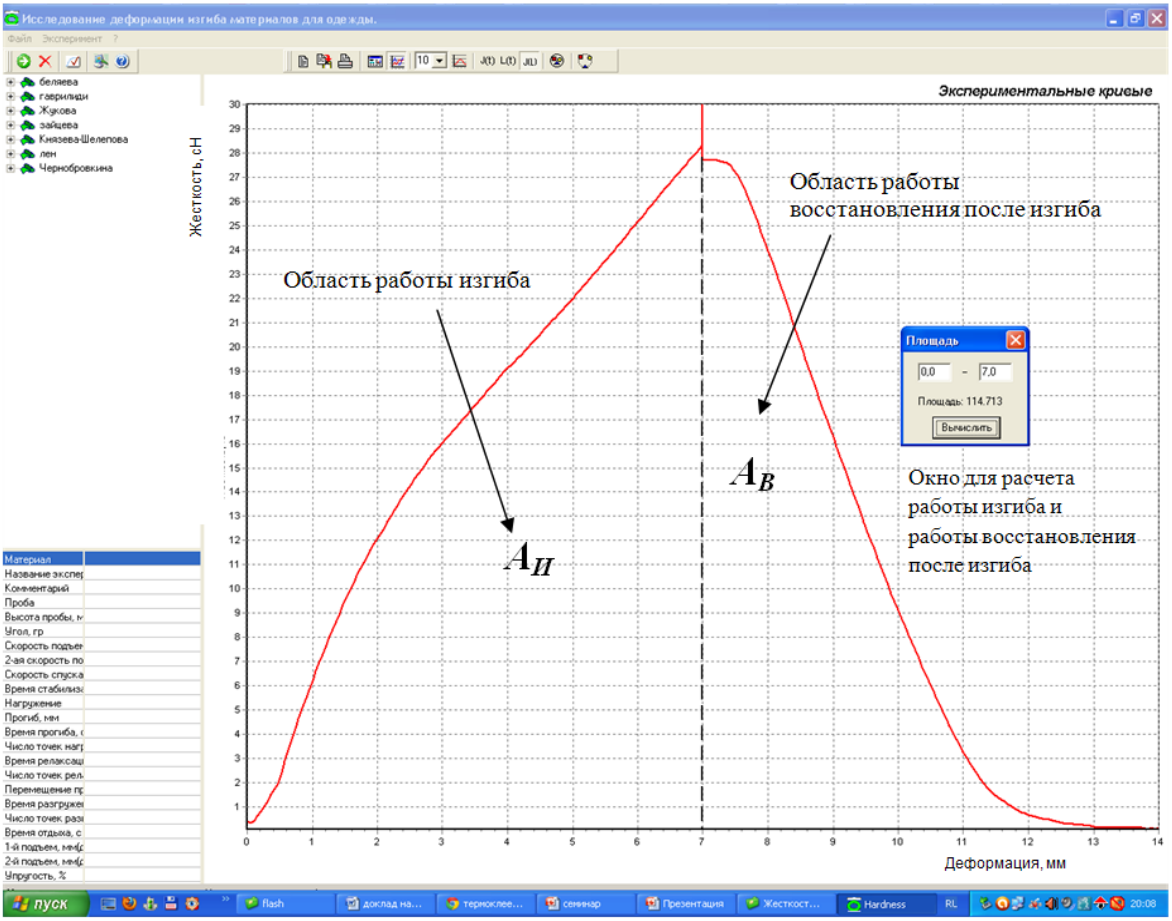


Рисунок 2.10 – Диаграмма изгиба и восстановления после изгиба

Релаксация усилия $\Delta P_{изг}$, сН – изменение усилия во времени, которое характеризует способность материала сопротивляться изгибающей нагрузке и определяется следующим образом:

$$(\Delta P_{изг} = P_1 - P_2), \qquad (2.4)$$

где P_1 – усилие в момент измерения жесткости, сН;

P_2 – усилие к моменту освобождения материала от действия нагрузки, сН.

Чем меньше величина падения усилия, тем более активно материал сопротивляется деформированию.

Разность работ $\Delta A_{изг}$, мкДж, затраченных на изгиб и на восстановление пробы в процессе отдыха, определяемая по площади гистерезисной петли, характеризует упругие свойства материала.

Чем меньше площадь петли гистерезиса, тем меньше энергетические потери и выше упругие свойства и формоустойчивость материала:

$$\Delta A_{изг} = A_{изг} - A_{Визг}. \quad (2.5)$$

Коэффициент формоустойчивости при изгибе $K_{Ф_{изг}}$ характеризует способность материала к накоплению упругой энергии и восстановлению после деформации (релаксация деформации), проявляющуюся во времени:

$$K_{Ф_{изг}} = \frac{A_{В_{изг}}}{A_{изг}}. \quad (2.6)$$

Чем ближе показатель коэффициента к единице, тем выше формоустойчивость.

Коэффициент формоустойчивости при изгибе является более удобным для сравнительной оценки формоустойчивости исходных материалов, чем разность работ. Поэтому показатель разности работ при изгибе рекомендуется использовать для сравнения формоустойчивости материалов одной группы, а коэффициент формоустойчивости при изгибе может быть использован для сравнительной оценки формоустойчивости различных объектов (тканей, дублированных пакетов одежды, швов).

Предложенные показатели качества расширяют информацию о технологических свойствах материалов и их способности к переработке. Они могут быть использованы для прогнозирования формоустойчивости швейных изделий еще на этапе их проектирования и для обоснованного конфекционирования материалов для одежды с целью обеспечения выпуска конкурентоспособных швейных изделий.

Работоспособность автоматизированной системы проверена при определении характеристик изгиба тканей [90–93, 189].

Для определения релаксационных свойств материалов при изгибе разработан способ [94].

Значения жесткости и упругости крестообразных проб, выше жесткости и упругости прямоугольных. Жесткость (работа изгиба) крестообразных проб из льняных тканей выше в 1,5–2,0 жесткости прямоугольных. Отношение упругостей составляет 1,2–1,45.

В таблице 2.2 приводятся результаты жесткости льняных тканей и коэффициентам ее вариации, определенные на стандартном устройстве ПЖУ-12М и разработанной автоматизированной системе с использованием проб, закрепленных в кольцо.

Таблица 2.2 – Сравнение жесткости разных тканей, стандартным и новым методами

Вид ткани	Устройство	Жесткость P, сН			Среднее $\overline{P}$, сН	Среднее квадратическое отклонение, σ, сН	Коэффициент вариации υ, %
		1	2	3			
Льняная ткань полотняного переплетения	ПЖУ-12М	5,94	6,20	5,94	5,1	0,12	2,45
	Автоматизированная система	5,70	5,70	5,71	5,7	0,01	0,06
Льняная ткань саржевого переплетения	ПЖУ-12М	7,80	7,54	7,80	7,7	0,12	1,59
	Автоматизированная система	7,32	7,32	7,32	7,3	0,01	0,04
Льняная ткань крепового переплетения	ПЖУ-12М	7,80	7,54	7,80	7,7	0,12	1,59
	Автоматизированная система	7,06	7,06	7,06	7,1	0,04	0,06

Характеристики рассеяния автоматизированной системы существенно ниже стандартного устройства.

Автоматизированная измерительная система применяется для исследования разных материалов (табл. 2.3), которые могут образовывать форму в виде кольца.

Таблица 2.3 – Результаты испытаний материалов разработанным методом

Материал	$A_{изг}$, мкДж	$P_{изг}$, сН	У, %
Кожа натуральная	138,6	3,35	54,3
Ткань льняная	137,2	3,78	87,8
Пакет материалов (ткань льняная, дублированная ТКПМ)	259,7	6,91	85,4
Ткань льнолавсановая	157,4	3,74	84,3
Ткань хлопчатобумажная	52,8	1,14	48,7
Ткань полушерстяная	35,3	0,79	86,1

Предложенные характеристики релаксации усилия и разности работ изгиба и восстановления после освобождения материала от действия нагрузки являются чувствительными к изменению влажности оказывающей большое влияние на релаксационные процессы в текстильных материалах [174]. На рис. 2.10 показано изменение релаксации усилия и разность работ, затраченных на изгиб и восстановление) льняной костюмно-платьевой ткани и швов, выполненных разными швейными нитками, предварительно выдержанных на воздухе с различной влажностью.

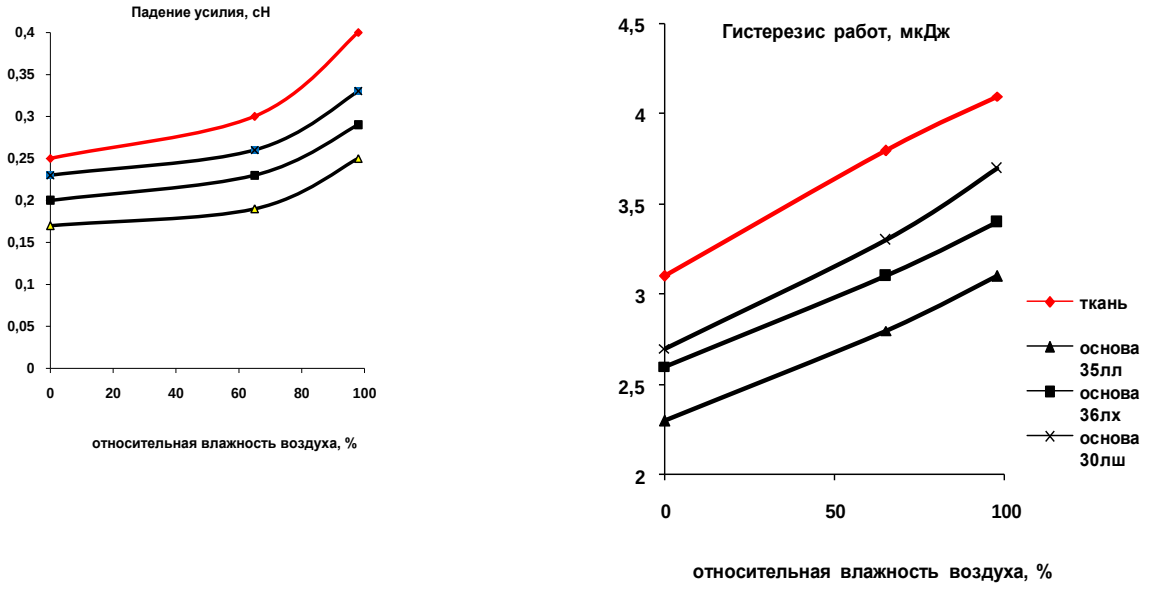


Рисунок 2.10 – Влияние влаги на характеристики релаксационных свойств (изменение

релаксации усилия $\Delta P_{изг}$ и разность работ $\Delta A_{изг}$, затраченных на изгиб и восстановление) льняной костюмно-платьевой ткани и швов, выполненных разными швейными нитками, предварительно выдержанных на воздухе с различной влажностью

Для математического экспресс-анализа результатов экспериментов, представленных большими таблицами значений (в результате эксперимента получают до 1500 значений по каждому измерению), разработана универсальная компьютерная программа MathExp [95].

Программа (рис. 2.12) содержит средства классификации данных, статистической обработки, получения полиномиальных однофакторных математических моделей и проверки их адекватности, представления данных, средства интеграции с другими программами.

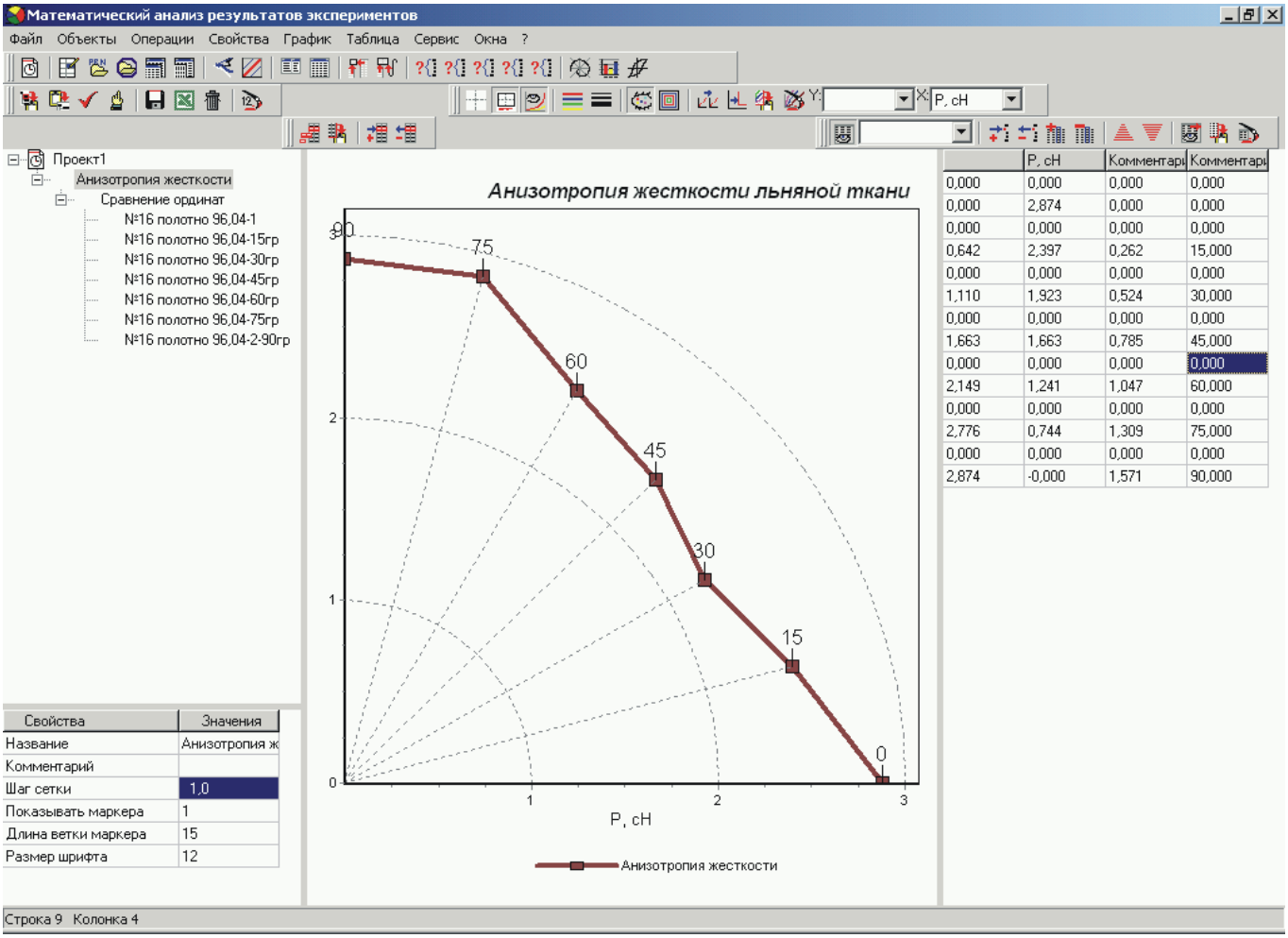


Рисунок 2.12 – Главное окно программы MathExp

Программный модуль автоматизирует и упрощает процесс оценки точности, анализа и обобщения полученных экспериментальных данных.

Методика обработки экспериментальных данных предусматривает оценку их достоверности с учетом ошибки выборки и погрешности измерений, анализ с использованием элементов дисперсионного и корреляционного анализа, проверку значимости многофакторных моделей по критериям Фишера и Стьюдента. Использование программы MathExp позволяет автоматизировать процесс обработки результатов экспериментов, получить анализ результатов в короткий срок.

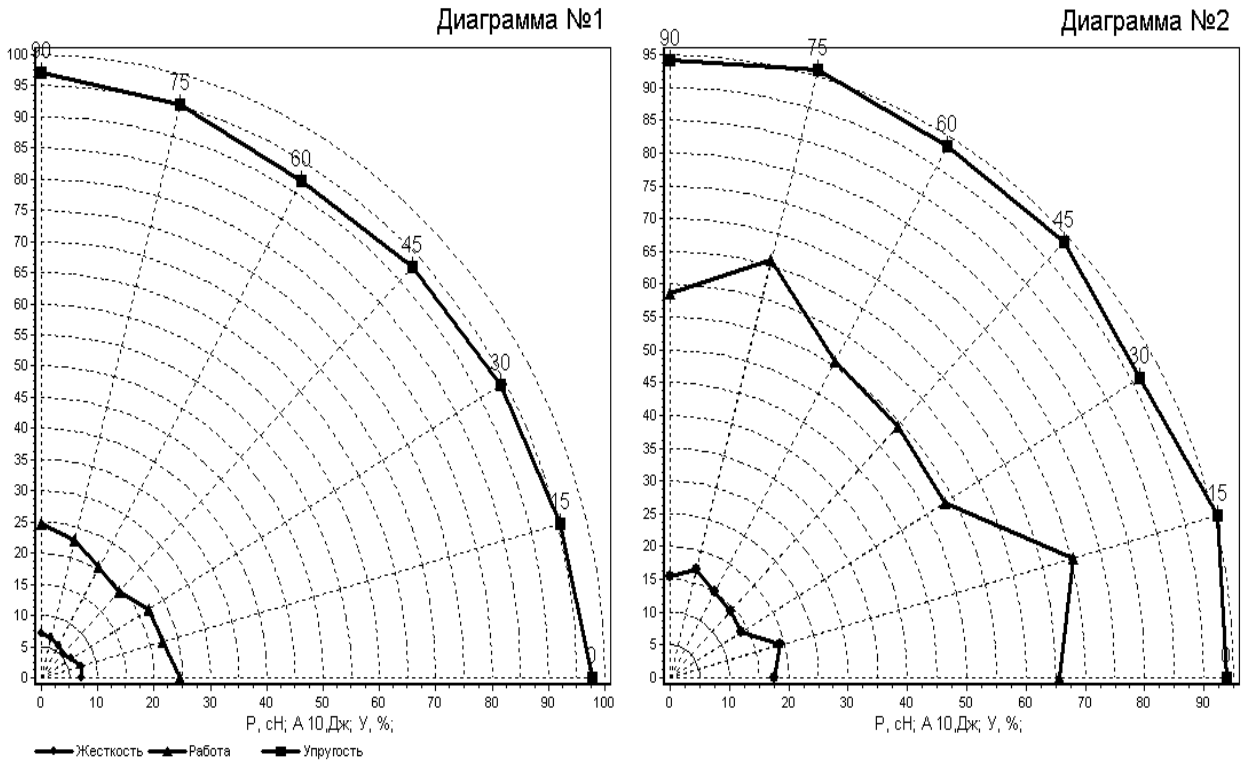
В качестве объекта исследования была выбрана чистольняная ткань саржевого переплетения с поверхностной плотностью 195 г/м^2, линейная плотность нитей основы T_o = 50 текс, утка T_y = 60 текс, количество нитей на 10 см ткани по основе $П_о$ = 190, и утку $П_y$ = 190.

Эта ткань интересна в исследовании благодаря подвижности своей структуры в различных направлениях, обусловленной саржевым переплетением.

В качестве системы материалов выбрано дублированное соединение клеевым прокладочным материалом. В экспериментах использован клеевой прокладочный материал на нетканой основе (ТКПМ) с поверхностной плотностью M_s = 44 г/м^2 с регулярным точечным клеевым покрытием и подворсованной поверхностью.

Исследования проводились на крестообразных и прямоугольных пробах, раскроенных под разными углами относительно нитей основы, а также на пробах, дублированных клеевым прокладочным материалом, раскроенным в разных направлениях.

Полученные данные обработаны с помощью программы MathExp и представлены на полярных диаграммах (рис. 2.13).



а б

Рисунок 2.13 – Свойства недублированных (а) и дублированных (б) проб при изгибе

Анализ результатов показал, что на формоустойчивость льняного полотна оказывает влияние множество факторов. При изменении направлений раскроя материала одни характеристики изгиба ухудшаются, другие – улучшаются. Оценив полученные результаты, выяснили, что устойчивая форма проб наблюдается в ортогональном направлении, однако направление 45° к нитям основы предпочтительней использовать в изделиях, так как в этом случае и жесткость небольшая, и упругость высокая.

Применение дублирующего материала повышает значения характеристик изгиба, увеличивая жесткость материала и работу изгиба, но при этом сохраняя упругость. Это свойство в изделиях следует учитывать в местах, требующих усиления формоустойчивости для придания и сохранения внешнего вида.

Корреляционно-регрессионный анализ показал, что для льняных тканей установлена линейная связь между показателем жесткости $P_{изг}$ и работой изгиба $A_{изг}$ (табл. 2.4).

Таблица 2.4 – Корреляционно-регрессионный анализ взаимосвязи жесткости и работы изгиба для льняных тканей

Направление раскроя	Коэффициент корреляции r_{AP}	Значимость r_{AP}	$A_{изг} = a+b\ P_{изг}$		F-критерий Фишера
			a	b	
0°	0,993	59,6	2,1	34,3	63,8
15°	0,992	53,3	3,4	36,1	51,3
30°	0,984	41,3	3,9	35,9	33,2
45°	0,986	32,6	2,7	36,3	20,8
60°	0,961	24,3	3,2	34,6	12,1
75°	0,983	34,8	-1,6	41,2	23,5
90°	0,979	34,8	4,7	34,5	25,1
105°	0,978	33,6	-3,9	41,1	23,0
120°	0,962	24,2	-0,2	38,3	12,6
135°	0,979	41,5	0,7	38,9	34,2
150°	0,989	57,7	2,1	35,7	62,8
165°	0,997	68,3	4,3	34,4	83,8
		tт(0,99;55)=2,78			Fт(0,99;56;55)=1,79

Факторами (характеристиками) строения, учитывающими размерно-массовые характеристики нитей и особенности переплетения ткани, являются: линейная плотность основной нити T_o и уточной нити T_y, плотность ткани по основе $П_o$ и по утку $П_y$, раппорт по основе R_o и по утку R_y, число основных перекрытий в раппорте по основе t_o и число уточных перекрытий в раппорте по утку t_y [8].

Увеличение числа нитей и их толщины сопровождается увеличением поверхностной плотности ткани M_s г/м^2

$$M_s \approx 0{,}01 \cdot (П_o T_o + П_y T_y) \qquad (2.7)$$

Поверхностная плотность ткани не полностью определяет значение работы, так как не учитывает количество связей в ткани. Такой характеристикой является коэффициент переплетения F_n [96]:

$$F_n = \frac{2R_o R_y}{t_o + t_y}. \qquad (2.8)$$

Для ткани саржевого переплетения F_n = 4, для крепового переплетения F_n= 2,7, для полотняного – F_n = 2.

Для получения зависимостей работ изгиба и восстановления после изгиба от характеристик строения проведен нелинейный регрессионный анализ и получены модели:

$$A_{изг}(M_s, F_n) = 0{,}14\frac{Ms^{1,5}}{Fn^{0,31}}. \quad (2.9)$$

$$A_{Визг}(M_s, F_n) = 0{,}11\frac{Ms^{1,1}}{Fn^{0,22}} \quad (2.10)$$

Коэффициент множественной корреляции R = 0,97, его значимость проверена по критериям Стьюдента и Фишера.

Проверка значимости множественного уравнения регрессии и его коэффициентов проведена при уровне значимости p = 1 %. Абсолютная средняя ошибка эмпирической формулы Δ = 3,9 мкДж, а относительная средняя ошибка δ = 5,1 %.

В зарубежной практике при изучении свойств материалов широко используется измерительная система KES-FB KAWABATA [7].

В российском материаловедении эти приборы не имеют распространения в связи с высокой стоимостью и санкционными ограничениями, поэтому отечественные исследователи испытывают затруднения при сравнении результатов своих исследований с исследованиями в зарубежном текстильном материаловедении. Приблизительная цена прибора на изгиб KES-FB2 составляет не менее 600 тыс. руб., цена разработанного автоматизированного устройства для определения характеристик изгиба составляет 56406 руб. в ценах 2018 года (расчет договорной цены представлен в приложении 5).

Для определения характеристик изгиба на приборе KES-FB2 используется другой подход. Проба закрепляется между двумя зажимами (один неподвижный, а другой подвижный) и подвергается изгибу в вертикальной плоскости.

Количественные показатели свойств материалов при изгибе, определенные на приборе KES-FB2 и автоматизированной системе не представляется возможным сопоставить, так как используются разные характеристики и размерности, обусловленные различиями в традиционных подходах к определению свойств материалов в российском и зарубежном текстильном материаловедении. Прибор KES-FB2 реализует полуцикловое испытание, автоматизированная система – одноцикловое.

Предложенные показатели качества изгиба расширяют информацию о технологических свойствах материалов и их способности к переработке в швейные изделия [173]. Эти показатели могут быть использованы для прогнозирования формоустойчивости швейных изделий еще на этапе их проектирования и для обоснованного конфекционирования материалов для одежды с целью обеспечения выпуска конкурентоспособных швейных изделий. Введение новых характеристик деформационных свойств при изгибе позволило усовершенствовать методику определения качества материалов и сделать ее унифицированной для определения полуцикловых и одноцикловых характеристик изгиба.

2.2. Расчет метрологических характеристик автоматизированного устройства

Метрологические характеристики средств измерений (СИ) нормируются в виде пределов основной и дополнительных допускаемых погрешностей и связанного с ним понятия класса точности (ГОСТ 4.801-80, ГОСТ 8.009-84).

Для автоматизированного устройства измерительный канал (ИК) представлен тремя компонентами (рис. 2.14): мостовой схемой измерения с тензорезисторами, нормирующего усилителя (НУ) и аналого-цифрового преобразователя (АЦП). Таким образом, расчетная погрешность ИК определяется суммарной погрешностью составляющих его компонентов.

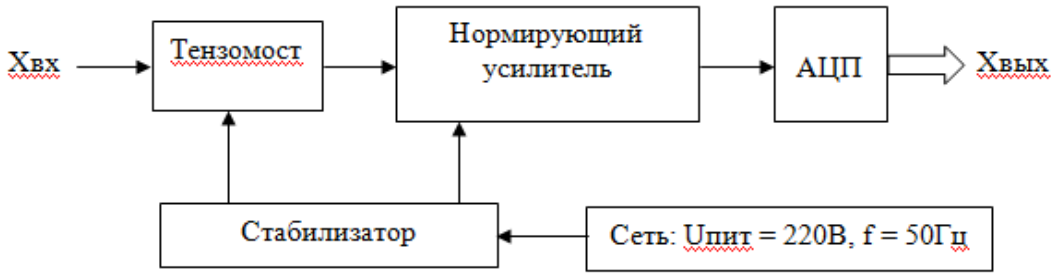


Рисунок 2.14 – Структурная схема измерительного канала

При расчете результирующей погрешности канала необходимо каждой из составляющих погрешности приписать соответствующий закон распределения, найти среднее квадратическое отклонение (СКО), подразделить погрешности на аддитивные и мультипликативные. Выделить группы сильно коррелированных между собой составляющих погрешности (ρ = 1…0,7) и слабо коррелированных (ρ = 0…0,7). Для сильно коррелированных принимают ρ = 1 и производят алгебраическое суммирование их оценок по формуле:

$$\sigma_{\Sigma} = \sqrt{\sigma_x^2 + 2\rho\sigma_x\sigma_y + \sigma_y^2} = \sigma_x + \sigma_y, \qquad (2.11)$$

где ρ – коэффициент корреляции.

Если измеряемые величины x и y слабо коррелированны, то ρ = 0 и

$$\sigma_{\Sigma} = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2}, \qquad (2.12)$$

Для определения погрешности отдельного прибора необходимо суммировать все составляющие его погрешности (основной, от колебаний температуры, от колебания напряжения питания и др.).

Выбор законов распределения и проведенный расчет результирующей погрешности ИК основан на данных работы [142].

Для расчета погрешности ИК в качестве основных влияющих факторов, определяющих погрешности отдельных СИ рассмотрены колебания температуры в помещении, где эксплуатируется устройство и колебания напряжения питания. Комплекс используется в лабораториях, где температура колеблется ± 5^0 С около среднего значения +25^0 С. Закон распределения температуры в лаборатории считаем равномерным.

Питание измерительного комплекса осуществляется от сети 220 В, 50 Гц с нестабильностью ± 15 %, поэтому для питания тензорезисторов и нормирующего усилителя используются стабилизаторы напряжения с коэффициентом стабилизации $К_т$ = 1000 и $К_{н.у}$ = 100. Колебания напряжения подчиняются треугольному закону.

Тензорезисторы являются средством измерения, конкретные экземпляры которых не градуируются, их метрологические характеристики определяются статистически и выражаются в основном в виде средних значений и СКО в выборке, распространяемых на всю партию.

Согласно [143] основная погрешность тензорезистора как средства измерения деформаций, может быть записана в виде:

$$\gamma_{\text{Т}} = 0.01 \cdot \Pi_{0.5} \cdot \varepsilon + \lambda \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{\left(\frac{S_k}{K}\right)^2 + (\Pi_{0..3})^2 \cdot 10^{-4} + (S_\Pi)^2 10^{-4} + \left(\frac{\sqrt{2} \cdot K_{st} \cdot 10}{3 \cdot K \cdot \varepsilon} \cdot 100\right)^2}, \qquad (2.13)$$

где ε – измеряемая относительная деформация;

$\Pi_{0.5} = 0.7\Pi_1$; $\Pi_{0.3} = 0.5\Pi_1$;

Π_1 – средняя величина ползучести при нормальной температуре;

λ – коэффициент, зависящий от заданной вероятности Р и вида закона распределения погрешностей;

K – среднее значение;

S_k – СКО коэффициента тензочувствительности;

K_{st} – СКО температурного коэффициента сопротивления;

S_Π – СКО ползучести.

Данные взяты из нормативно-технической документации для фольговых тензорезисторов. Вычисленная по формуле (2.13) основная погрешность тензорезистора равна $\gamma_T \approx 1{,}5\%$, закон распределения равномерный, погрешность аддитивная. Тогда СКО основной погрешности тензорезистора:

$$\sigma_T = \frac{\gamma_T}{\kappa}, \qquad (2.14)$$

где $\kappa = \sqrt{3}$ – энтропийный коэффициент равномерного закона [142].

Температурная погрешность датчиков с тензорезисторами достигает 0,3% на 10^0 С. Эта погрешность аддитивна. При равномерном законе распределения температуры с размахом ± 10^0 С, максимальное значение этой погрешности составляет $\gamma_{\Theta T}$ = 0,3 %. СКО по формуле (2.14) $\sigma_{\Theta T}$ = 0,173 %.

Погрешность тензорезистора от нестабильности питания является мультипликативной и распределена по тому же закону, что и отклонения напряжения сети от номинального значения 220 В. При треугольном законе распределения напряжения сети, напряжение на выходе стабилизатора подчиняется этому же закону, но размах колебаний снижен в $К_т$ = 1000 раз, энтропийный коэффициент для треугольного распределения $\kappa = \sqrt{6}$.

Погрешность линейности функции преобразования мостовой измерительной схемы ≈ 0 % вследствие того, что выбрана схема с четырьмя рабочими плечами, относительные изменения сопротивлений которых одинаковы.

Погрешность от напряжения наводки на вход нормирующего усилителя рассчитана следующим образом. Амплитуда напряжения наводки частотой 50Гц, измеренная на выходе НУ с помощью осциллографа, составляет 10 мВ при максимальном сигнале с НУ 2 В. Закон распределения арксинусоидальный, энтропийный коэффициент $\kappa = \sqrt{2}$. Погрешность является мультипликативной.

Погрешность смещения нуля НУ при колебаниях температуры является аддитивной, и повторяет закон распределения температуры в лаборатории. Влияние температуры на операционный усилитель К551УД1А в схеме НУ приводит к смещению его нуля на 0,1 % /10^0 С.

Погрешность коэффициента усиления НУ является мультипликативной и распределена по треугольному закону, так как вызывается колебаниями напряжения питания. Погрешность применяемого АЦП Ф7077М/2 нормирована по паспорту пределом допускаемой основной приведенной погрешности $\gamma_{АЦП}$ = 0,6 %, закон распределения равномерный, погрешность аддитивная.

Результаты выполненных расчетов приведены в табл. 2.5 (составляющие погрешности измерительного канала). Наибольшее влияние на суммарную погрешность ИК оказывают погрешности тензорезистора и АЦП.

Таблица 2.5 – Составляющие погрешности измерительного канала

Средство измерения	Вид погрешности	Закон распределения	СКО %	Характер погрешности
Тензорезистор	Основная Температурная Напряжения питания	Равномерный Равномерный Треугольный	0,867 0,173 0,006	Аддитивный Аддитивный Мультипликативный
Нормирующий усилитель	Напряжения наводки Температурная Напряжения питания	Арксинусоидальный Равномерный Треугольный	0,0035 0,05 0,06	Мультипликативный Аддитивный Мультипликативный
АЦП	Основная	Равномерный	0,346	Аддитивный

Суммирование при расчете результирующей погрешности сводится к вычислению приведенной погрешности в начале диапазона измерения, путем сложения аддитивных составляющих и в конце диапазона, путем сложения всех составляющих. Согласно [142] коррелированными являются те погрешности, которые вызываются одной и той же общей причиной и имеют одинаковый закон распределения. В нашем случае это погрешность тензорезистора и НУ от колебаний температуры в помещении и колебаний напряжения питания. Результирующее значение СКО аддитивных составляющих по (2.11)

$$\sigma_{адд} = 0{,}173 + 0{,}05 = 0.22\ \%,$$

СКО мультипликативных: $\sigma_{мул} = 0{,}006 + 0{,}0035 + 0{,}06 = 0{,}0695\ \%$.

После учета корреляционных связей, все погрешности суммируем как независимые по (2.12). СКО в начале диапазона:

$$\sigma_H = \sqrt{0.867^2 + 0.346^2 + 0.22^2} = 0{,}96\%,$$

в конце диапазона измерения:

$$\sigma_K = \sqrt{0.867^2 + 0.346^2 + 0.22^2 + 0.0695^2} \approx 0{,}96\%.$$

Так как $\sigma_н \approx \sigma_к$, то результирующая погрешность ИК является аддитивной, а закон распределения – трапецеидальным. Энтропийный коэффициент композиции двух равномерных распределений погрешности (тензорезистора и АЦП, как наиболее весомых) $к = 1{,}93$. Значение приведенной погрешности ИК: $\gamma_{кл.} = 0{,}96 \cdot 1{,}93 = 1{,}85\ \%$.

С учетом запаса на старение класс точности ИК будет равен 2,5. Старение средств измерений происходит не быстрее $0{,}1 \cdot \gamma_{кл}$ в год, такой запас нормируемой погрешности канала обеспечит межремонтный период около 7 лет.

Для определения шкалы измерения силы построим математическую модель статической характеристики датчика силы. Тензорезисторы наклеены согласно инструкции [197].

Входная величина: масса m (г) груза, подвешенного к тензодатчику.

Выходная величина: 8 разрядный код на выходе АЦП в десятичной форме. Параметры:

- интервал изменения массы груза [0; 32] г;
- шаг изменения массы груза 1 г;
- диапазон изменения массы $D_m = 32$ г;
- интервал изменения десятичного кода АЦП [5; 255];
- диапазон изменения десятичного кода АЦП $D_a = 250$;
- число повторностей M = 5.

Выполнена проверка экспериментальных данных (табл. 2.6) на наличие грубых промахов (табл. 2.9).

Таблица 2.6 – Результаты испытаний

Масса грузов m, г	Десятичный код АЦП A, ед.					
	опыт A_1	опыт A_2	опыт A_3	опыт A_4	опыт A_5	Среднее арифметическое $A_{cp_i} = \frac{1}{M} \cdot \sum_{k=1}^{M} A_k$
0,0	5	5	5	5	5	5,0
1,0	13	13	13	13	13	13,0
2,0	20	20	20	20	20	20,0
3,0	28	29	28	28	28	28,2
4,0	36	36	36	36	36	36,0
5,0	44	45	44	44	44	44,2
6,0	52	52	51	52	53	52,0
7,0	60	59	60	61	60	60,0
8,0	68	68	68	68	68	68,0
9,0	76	76	76	76	76	76,0
10,0	83	83	83	84	83	83,2
11,0	91	91	90	91	92	91,0

окончание таблицы 2.6

12,0	98	98	98	98	98	98,0
13,0	106	106	106	106	106	106,0
14,0	114	113	114	114	114	113,8
15,0	122	122	122	122	122	122,0
16,0	130	130	129	130	130	129,8
17,0	137	137	137	137	137	137,0
18,0	145	145	146	145	144	145,0
19,0	152	152	151	152	152	151,8
20,0	160	160	160	160	159	159,8
21,0	169	168	169	169	170	169,0
22,0	176	175	175	176	176	175,6
24,0	190	190	190	190	190	190,0
25,0	199	198	199	199	200	199,0
26,0	207	207	207	207	207	207,0
27,0	214	214	214	214	214	214,0
28,0	220	221	219	220	221	220,2
29,0	227	227	227	227	227	227,0
30,0	235	236	235	235	236	235,4
31,0	242	243	242	242	243	242,4
32,0	250	251	249	250	252	250,4

Зависимость m(Acp) близка к линейной (рис. 2.15), поэтому математическая модель статической характеристики датчика силы получена путем аппроксимации экспериментальных данных на рабочем участке линейным уравнением по критерию наименьших квадратов:

$$m = 0{,}131 \cdot A - 0{,}778.$$

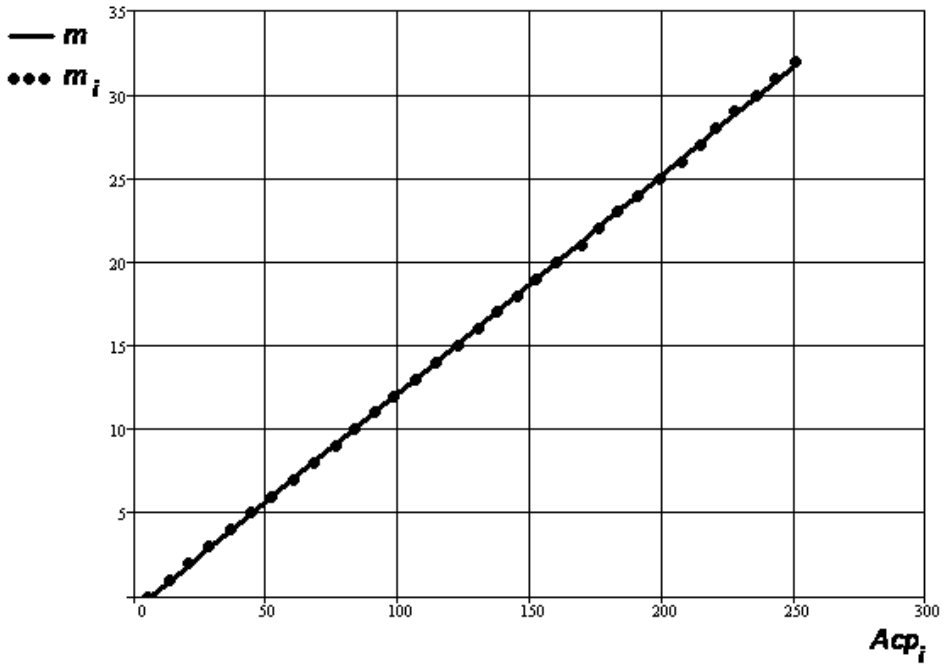


Рисунок 2.15 – Статическая характеристика датчика силы

Определяем максимальную абсолютную погрешность значения выходной координаты, получаемой с использованием математической модели $m = f(A)$:

$$\Delta_i = |m_i - m(A_i)|$$

$$\Delta_{\max} = 0{,}22г.$$

Определяем максимальную приведенную погрешность значения выходной координаты, получаемой с использованием математической модели:

$$\gamma_i = \frac{\Delta_i}{D_m} \cdot 100\%$$

$$\gamma_{\max} = 0{,}7\%$$

Максимальная приведенная погрешность не превышает 1%, следовательно, найденная математическая модель вполне адекватно описывает реальную статическую характеристику измерительной системы.

Цена деления:

$$C = \frac{D_m}{D_a} = \frac{32}{247} = 0{,}13cH\ .$$

Для определение шкалы перемещения привода подъемного столика и цены деления используем параметры:

- пределы измерения шкалы перемещения [0; 50] мм;
- шаг измерения перемещения 5 мм;
- диапазон изменения перемещения D = 50 мм;
- число повторностей M = 5.

Входная величина: перемещение подъемного столика Lз (мм), задаваемое программно.

Выходная величина: фактическое перемещение столика, измеряемое штангенциркулем $L_ф$.

Таблица 2.7 – Результаты поверки шкалы перемещения

Заданное перемещение $L_з$, мм	Фактическое перемещение $L_ф$, мм					
	опыт $L_{ф1}$	опыт $L_{ф2}$	опыт $L_{ф3}$	опыт $L_{ф4}$	опыт $L_{ф5}$	Среднее арифметическое $L_{cp\,i} = \frac{1}{M} \cdot \sum_{k=1}^{M} L_{фk}$
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5,00	5,10	5,00	4,95	5,00	5,05	5,02

окончание таблицы 2.7

10,00	10,10	10,10	10,05	9,90	10,00	10,03
15,00	14,90	15,10	15,05	15,00	15,15	15,04
20,00	19,90	20,10	19,95	20,00	20,05	20,00
25,00	25,05	24,95	25,00	25,05	25,00	25,01
30,00	30,00	30,05	30,10	30,00	30,00	30,03
35,00	35,05	35,05	35,05	35,10	35,10	35,07
40,00	40,05	40,00	40,10	40,10	40,00	40,05
45,00	44,95	45,00	45,00	44,95	45,00	44,98
50,00	50,05	50,00	50,05	50,00	50,00	50,02

Определяем максимальную абсолютную погрешность измерения:

$$\Delta_i = \left| L_{зi} - L_{cp\,i} \right|$$

$$\Delta_{\max} = 0{,}07 мм.$$

Определяем максимальную приведенную погрешность измерения перемещения:

$$\gamma_i = \frac{\Delta_i}{D} \cdot 100\%$$

$$\gamma_{\max} = 0{,}14\%$$

Цена деления шкалы измерения перемещения привода С=0,053 мм.

Для определение шкалы времени таймера устройства и его цену деления. используем параметры:

- интервал измерений [0; 30] с;
- шаг измерения времени 5 с;
- число повторностей М = 5.

Входная величина: время изгиба, время релаксации и время спуска, задаваемые программно $t_з$, с.

Выходная величина: фактическое время операции $t_ф$, с, по секундомеру.

Таблица 2.8 – Результаты поверки шкалы времени

Заданное время $t_з$, с	Фактическое время $t_ф$, с					
	опыт $t_{ф1}$	опыт $t_{ф2}$	опыт $t_{ф3}$	опыт $t_{ф4}$	опыт $t_{ф5}$	Среднее арифметическое $t_{cp\,i} = \frac{1}{M} \cdot \sum_{k=1}^{M} t_{фk}$
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5,00	5,00	5,30	5,00	5,00	5,10	5,08
10,00	10,20	10,00	10,10	10,00	9,60	9,98

окончание таблицы 2.8

15,00	14,70	15,10	15,10	14,90	15,20	15,00
20,00	20,10	20,20	20,00	20,00	19,80	20,02
25,00	25,30	24,90	25,10	25,10	25,00	25,08
30,00	30,30	30,10	30,50	30,00	30,10	30,20
35,00	35,10	34,70	35,10	35,10	35,20	35,04
40,00	40,10	39,70	40,20	40,50	40,20	40,14
45,00	45,00	45,00	45,50	45,70	45,70	45,38
50,00	50,10	49,80	50,10	50,00	50,30	50,06
55,00	55,70	55,20	55,30	55,10	55,30	55,32
60,00	59,70	60,50	60,70	60,00	60,20	60,22

Определяем максимальную абсолютную погрешность измерения:

$$\Delta_i = \left| t_{3i} - t_{cp_i} \right|$$

$$\Delta_{\max} = 0{,}38c.$$

Определяем максимальную приведенную погрешность измерения времени:

$$\gamma_i = \frac{\Delta_i}{D} \cdot 100\%$$

$$\gamma_{\max} = 0{,}63\%$$

Таблица 2.9 – Проверка экспериментальных данных на наличие грубого промаха

Точка с максимальной абсолютной погрешностью	$m^* = 21$г	$L^* = 35$мм	$t^* = 45$с
x_1	169	35,05	45,0
x_2	168	35,05	45,0
x_3	169	35,05	45,5
x_4	169	35,1	45,7
x_5	170	35,1	45,7
Среднее арифметическое значение $\bar{x} = \frac{\sum x_i}{M}$	169	35,07	45,38
Дисперсия $S = \sqrt{\frac{1}{M-1} \cdot \sum_{i=1}^{M} \left(x_i - \bar{x}\right)^2}$	0,7ед	0,027мм	0,356с
Максимальное значение критерия Смирнова-Граббса $V_{\max} = \frac{\max(x) - \bar{x}}{S} \cdot \sqrt{\frac{M}{M-1}}$	1,58	1,23	1,0

окончание таблицы 2.9

Минимальное значение критерия Смирнова-Граббса $V_{\min} = \frac{\bar{x} - \min(x)}{S} \cdot \sqrt{\frac{M}{M-1}}$	1,58	0,82	1,19
Примечание – При уровне значимости $q = 1 - \alpha = 0.95$ для числа измерений М = 5 табличное значение критерия Смирнова-Граббса V_T = 1,6. Поскольку вычисленные по опытным данным значения V_{max} и V_{min} меньше V_T, можно принять гипотезу о том, что результаты наблюдений не содержат грубой погрешности.			

2.3. Определение характеристик изгиба в динамическом режиме

Определяющим фактором при выборе ткани является ее качество, которое зависит от целого комплекса технологических свойств, определяющих способность текстильного материала к переработке в готовое швейное изделие. Одним из таких свойств является способность ткани к изгибу и восстановлению после него.

Для получения полной картины о деформационных процессах, происходящих в ткани при изгибе, необходимо изучить процесс восстановления ткани после изгиба.

Исследования динамических свойств актуальны, так как они дают более достоверную информацию об эксплуатационных свойствах материалов для одежды. Показатели динамических свойств можно получить в результате испытаний, основанных на методах вынужденных и свободных колебаний.

В настоящее время для оценки изгиба, являющегося важнейшим показателем грифа и туше ткани, преимущественно используются органолептические и инструментальные статические методы оценки. Они трудоемки, требуют учета большого количества факторов и не дают объективного результата в силу своей зависимости от субъективного мнения эксперта и несовершенства существующих приборов.

Метод вынужденных резонансных изгибных колебаний консольно закрепленной пробы позволяет получить характеристики вязко-упругих

показателей свойств текстильных материалов [34, 42, 97, 98, 184]. Но этот метод не позволяет получить данные о поведении текстильного материала при совершении свободных затухающих колебаний после снятия изгибающего усилия, так как отсутствует техническая возможность записи данных при проведении эксперимента.

Анализ существующих динамических методов оценки характеристик изгиба показал, что, данная проблема является мало изученной, так как эксперименты сопровождаются рядом проблем: сложно зафиксировать колебания, большая скорость деформации, необходимость учета аэродинамического сопротивления воздуха, влияние силы тяжести на исследуемый материал. Стандартные методы отсутствуют.

Для получения достоверной информации о технологических и эксплуатационных свойствах текстильных материалов, разработана автоматизированная система для определения свойств после изгиба в динамических условиях испытаний. Автоматизированная система реализует запатентованные методы с динамическим характером испытаний [99, 100].

Предъявляемые требования к автоматизированной системе измерения:

- первичные преобразователи, входящие в состав измерительной системы, должны иметь линейную статическую характеристику;
- измерительная система должна быть помехоустойчивой и нечувствительной к внешним электромагнитным полям;
- измерительная система должна обеспечивать достаточное быстродействие и работать в режиме реального времени;
- для обеспечения возможности развития и наращивания мощности измерительная система должна быть реализована на основе современной элементной базы с использованием стандартных средств измерения, преобразования и обработки информации;
- основные блоки, входящие в ИС должны обеспечивать информационную, конструктивную, эксплуатационную и метрологическую совместимость.

Структурная схема автоматизированной системы приведена на рис. 2.16.

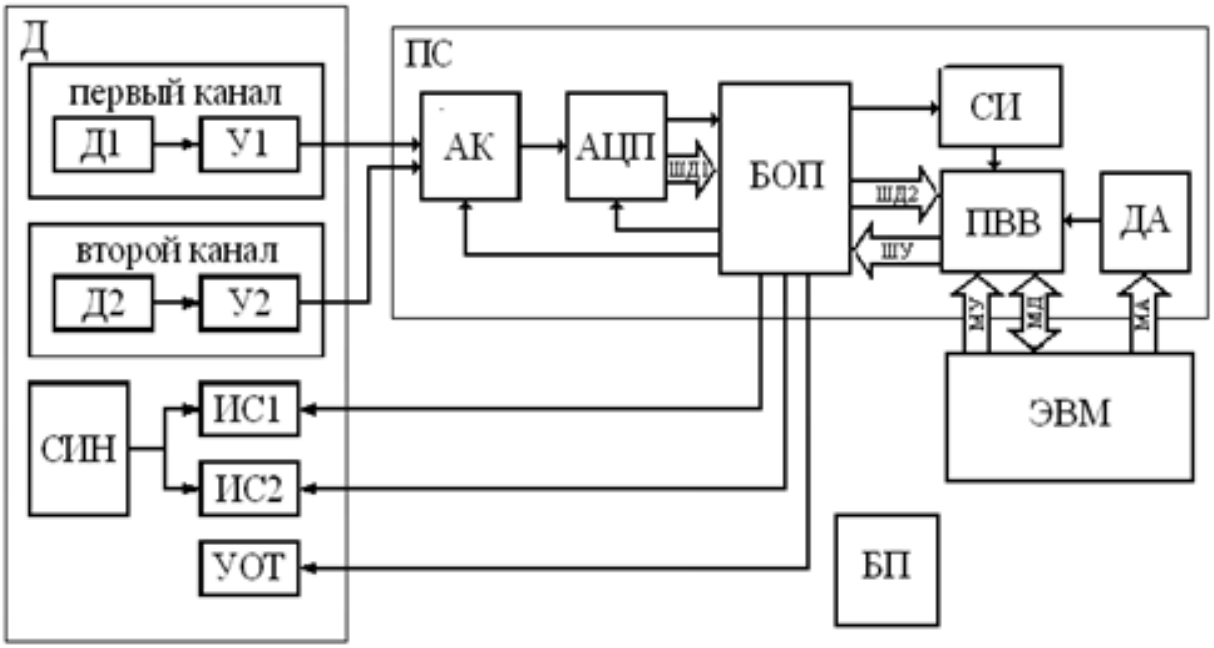


Рисунок 2.16 – Структурная схема автоматизированной системы

Автоматизированная система для определения динамических характеристик изгиба [101–104] состоит из датчика положения ткани (Д), платы сопряжения датчика с ЭВМ (ПС). В конструкции датчика положения ткани для определения начала восстановления и его окончания используется две элементные пары «источник света (ИС1, ИС2) – фотодатчик (Д1, Д2). С помощью усилителей (У1, У2) происходит преобразование фототока в постоянное напряжение. Также в конструкцию датчика входит устройство отпускания ткани (УОТ), которое удерживает ткань в изогнутом состоянии до начала эксперимента, а по команде экспериментатора отпускает ее и включает процесс снятия данных. С помощью аналогового коммутатора (АК) аналоговый сигнал с датчиков поступает на вход аналого-цифрового преобразователя (АЦП), где он преобразуется в цифровой код. Блок оптопреобразователей (БОП) предназначен для гальванической развязки шин данных (ШД) и шин управления (ШУ) платы сопряжения и ЭВМ. Далее полученный цифровой код через порт ввода/вывода (ПВВ) поступает в ЭВМ, где происходит обработка данных. Счетчик импульсов (СИ) синхронизирует работу элементов системы. Дешифратор адреса (ДА) активизирует ПВВ. Управление ИС1, ИС2 и УОТ осуществляется также с помощью платы сопряжения, имеющей цифровые

выходы управления внешними устройствами. Питание элементов системы производится от внешнего источника питания (БП), а питание источников света для поддержания стабильной величины светового потока производится от дополнительного стабилизированного источника постоянного напряжения (СИН).

Внешний вид автоматизированной системы определения динамических характеристик изгиба показан на рис. 2.20. Автоматизированная система входит в измерительный комплекс оценки свойств текстильных материалов.

Основным элементом системы является датчик положения ткани (рис. 2.17). Датчик состоит из основания 1, оправки 2, двух источников света 3, 5 и двух фотодатчиков 6, 7. На рис. 2.19 также показано положение пробы ткани 4 при ее распрямлении.

Выбор чувствительного элемента (ЧЭ) определялся способом измерения: контактный или бесконтактный [105]. Однако все контактные методы отличаются слабой чувствительностью, и при малых усилиях на ЧЭ со стороны ткани могут возникать погрешности измерения. Также при контактных методах измерений сам первичный измерительный преобразователь может влиять на объект исследования. В разработанном датчике используются в качестве чувствительных элементов фотоэлементы.

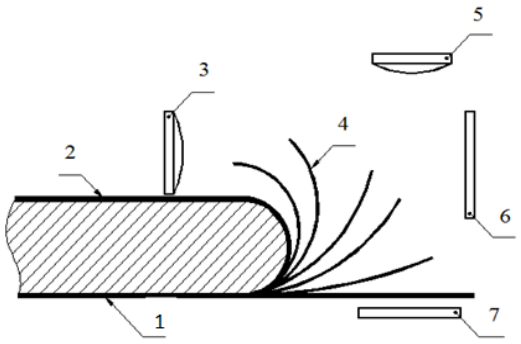


Рисунок 2.17 – Датчик положения ткани и схема испытания ткани на изгиб в динамическом режиме

Фотопреобразователи характеризуются простотой применения, высокой чувствительностью и помехоустойчивостью, низкой стоимостью, бесконтактным принципом действия, исключающим влияние на исследуемый

объект. Датчик положения ткани имеет светоизолирующий корпус, предохраняющий от влияния посторонних источников света.

Метод конструктивно реализован с вертикальным (рис. 2.18) закреплением пробы исследуемого материала. Вертикальное исходное положение пробы исключает влияние массы пробы на результаты измерений, аналогично методу определения сминаемости по углу раскрытия (ГОСТ 19204–73).

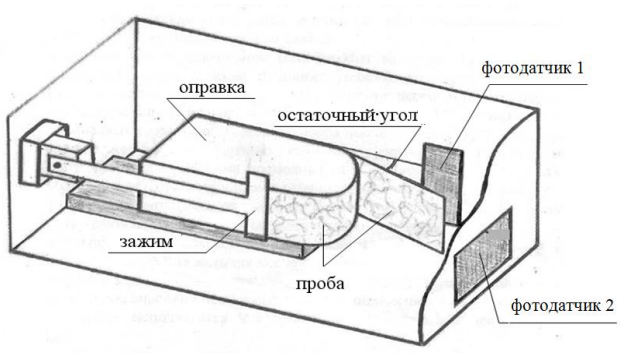


Рисунок 2.18 – Устройство датчика для проведения испытаний на изгиб с вертикальным закреплением пробы

Метод осуществляется следующим образом (см. рис. 2.17). Прямоугольную пробу ткани 4 одним концом механически фиксируют, а другим концом закрепляют в специальном зажиме так, чтобы он принял форму полуцилиндра вокруг оправки 2.

После подготовки по команде оператора с компьютера происходит запуск эксперимента. Подается сигнал механизму отпускания ткани, и одновременно с этим начинается снятие показаний с обоих фотодатчиков.

В процессе восстановления пробы в прямое положение поток света, исходящий от источника излучения, частично перекрывается разгибающейся пробой, в зависимости от ее положения. Поэтому изменяется поток света, падающий на соответствующий фотодатчик. Приемник излучения (фотодатчик) преобразует этот световой поток в постоянный ток, по величине которого и судят о положении пробы ткани в определенный момент времени.

Момент начала разгибания пробы ткани фиксируется по показаниям фотодатчика 6. Очевидно, что, как только начнется процесс восстановления

пробы, показания фотодатчика 6 начнут изменяться, и по этому изменению происходит фиксирование времени начала восстановления пробы.

Момент восстановления пробы в прямое положение фиксируется аналогично, но по показаниям фотодатчика 7. Как только проба перестанет разгибаться, показания фотодатчика 7 также перестают изменяться, происходит фиксирование времени окончания восстановления пробы.

Устройство отпускания пробы (рис. 2.19) представляет собой электромагнит 3, на штоке 4 которого закреплена удерживающая пробу пластина 1. Пробу 5 заправляют вокруг оправки 2. Включение электромагнита производится электронным ключом, управляемым командами с ЭВМ. В целях продления срока службы источников света, когда не производится непосредственное снятие показаний с датчика, по командам ЭВМ отключаются источники излучения.

Поскольку фотоэлементы могут обладать свойством нелинейности выходного сигнала произведена проверка линейности выходной величины датчика (приложение 1). Максимальная приведенная погрешность статической характеристики составила $max(\gamma)$ = 3,2 %.

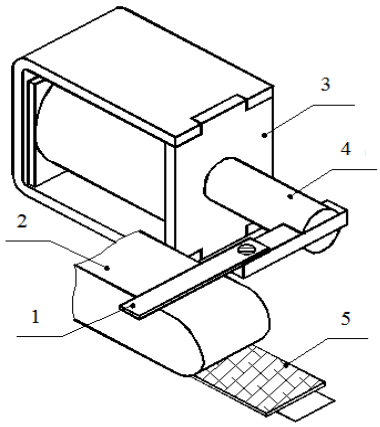


Рисунок 2.19 – Устройство отпускания пробы

Датчик положения ткани имеет законченную конструкцию с габаритами 120×70×110 мм (рис. 2.20).

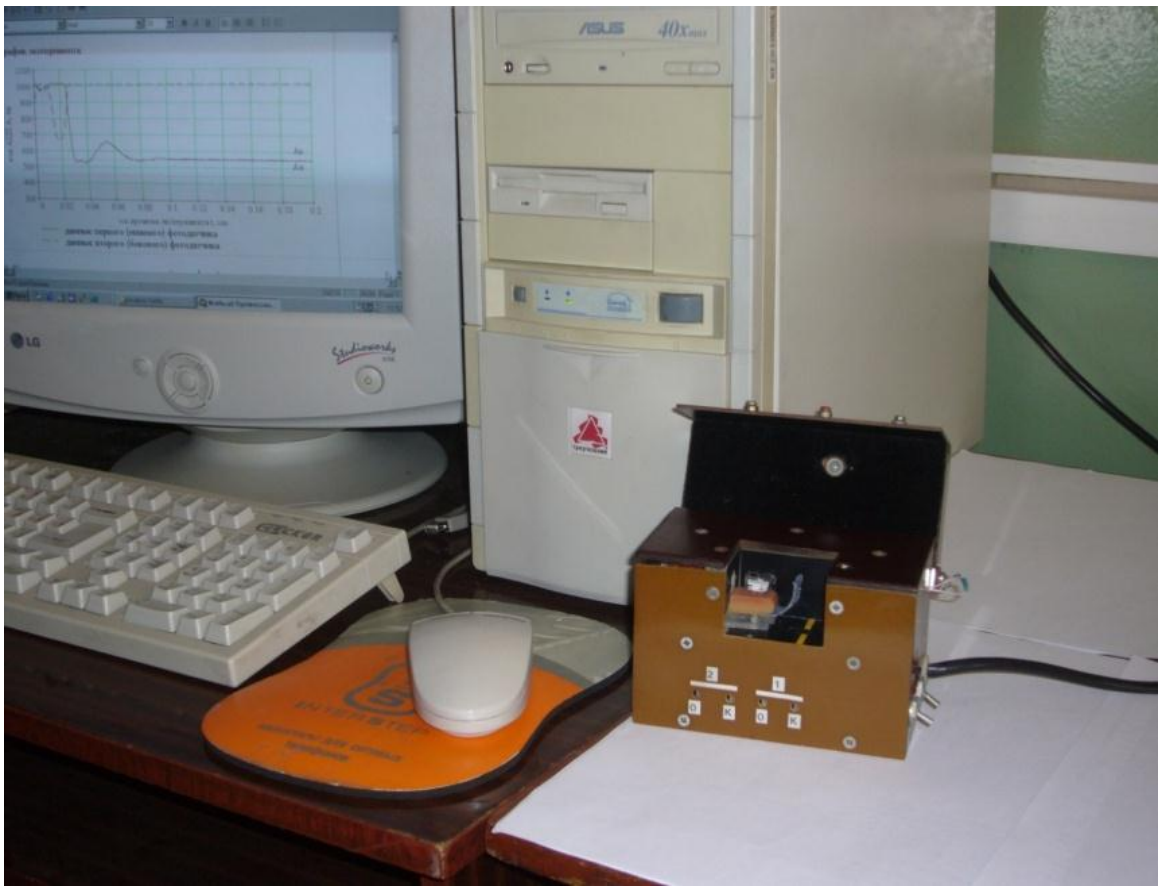


Рисунок 2.20 – Внешний вид автоматизированной системы определения динамических характеристик изгиба

При проведении экспериментов разработанная система позволяет не только определить время полного восстановления пробы после снятия изгибающего усилия, но и зафиксировать затухающие колебания, которые совершает консольно закрепленная полоска ткани после распрямления (рис.2.21, 2.23).

Процесс снятия показаний с датчика положения ткани, управления и преобразования полученной информации происходит с помощью специальной программы Analysistextile [106].

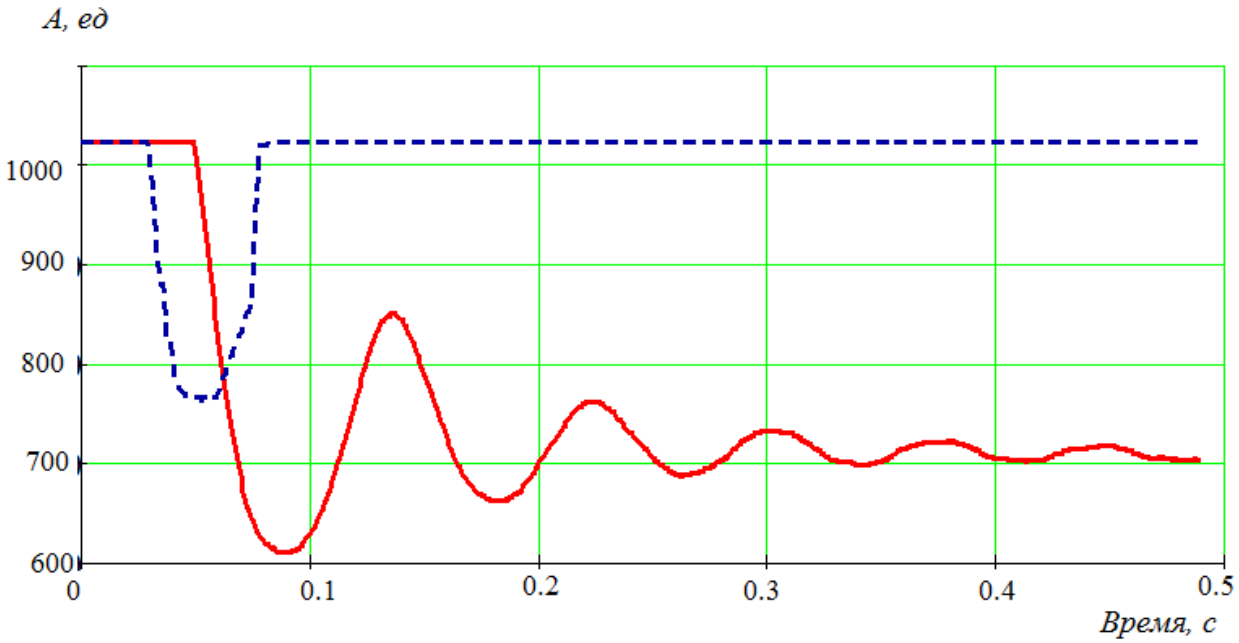


Рисунок 2.21 – Экспериментальная кривая свободных колебаний пробы после изгиба

Управление датчиком положения ткани в процессе выполнения измерений, осуществляется по алгоритму (рис. 2.22). В схеме алгоритма, рассмотрены наиболее важные этапы, касающиеся основных принципов управления устройством в процессе выполнения измерений.

При проведении измерений задаются параметры: номер эксперимента, дата проведения, тип и параметры исследуемой ткани, а также время проведения и частоту опроса датчиков. Данные параметры являются необходимыми как для проведения самого измерения, так и для дальнейшей идентификации его результатов. Затем производится заправка испытываемой пробы на оправку датчика. После подготовки к испытаниям запускается эксперимент, происходит отпускание конца пробы и снятие показаний датчиков с заданной частотой. Данные измерений записываются в файл в виде матрицы. По полученным данным строится график.

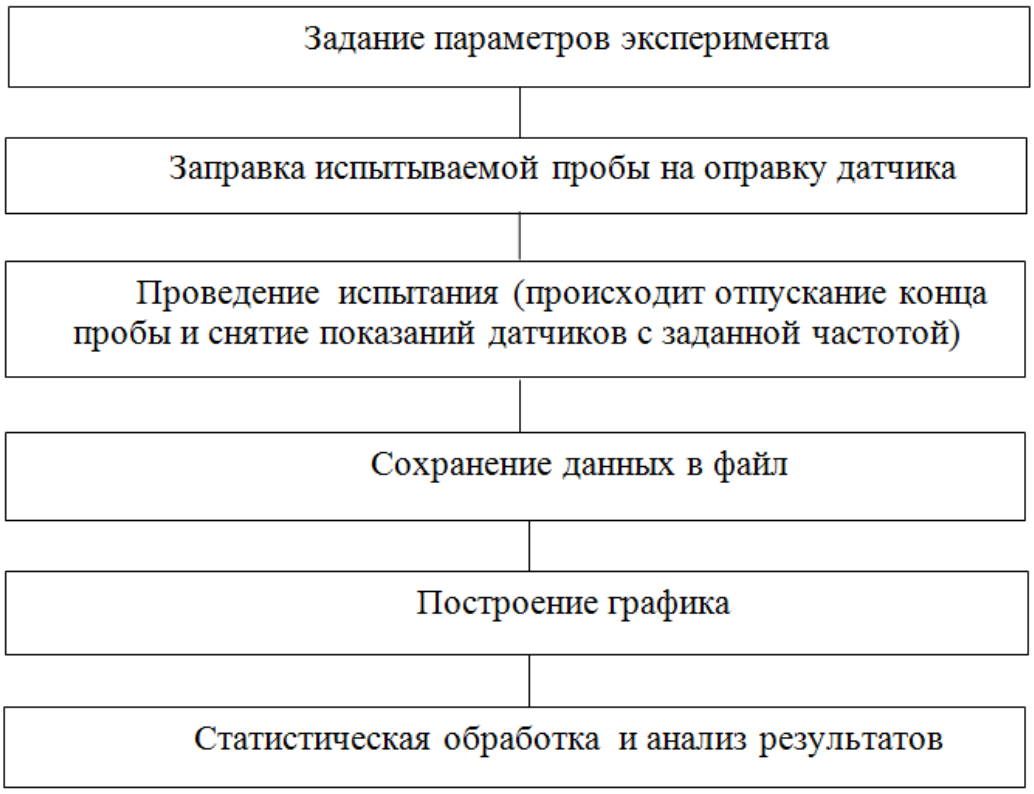


Рисунок 2.22 – Алгоритм проведения измерений

Программное обеспечение формирует графическое изображение данных (см. рис. 2.21, 2.23) и определяет комплекс характеристик: жесткость, модуль упругости, время раскрытия пробы, скорость восстановления после изгиба, остаточный угол изгиба.

Теория метода вынужденных резонансных изгибных колебаний консольно закрепленной пробы подробно описана в работах [42, 56, 57], где резонанс определялся визуально по микроскопу, так как не было аппаратной возможности записывать колебания . В нашем случае измерительной системой зафиксированы свободные затухающие колебания консольно закрепленной пробы.

Поперечные колебания стержней подробно исследованы во многих работах, например [107, 108, 145].

Уравнение свободных колебаний консольно закрепленного стержня без учета внутренних потерь и сопротивления внешней среды имеет вид [108]:

$$\frac{\partial^2 y}{\partial t^2} + c^2 \frac{\partial^4 y}{\partial x^4} = 0, \qquad (2.15)$$

где x – координата стержня;

y – прогиб в сечении x;

c – скорость распространения по стержню волны деформации.

Общее решение уравнения (2.11) периодическое

$$y\,(x, t) = \varphi(x) \cdot \sin(\omega t + \alpha) \qquad (2.16)$$

где $\varphi(x)$ – функция, описывающая форму колебаний;

ω – круговая собственная частота колебаний;

α – начальная фаза.

Функция $\varphi(x)$ в общем случае представляет собой сумму тригонометрических и гиперболических косинуса и синуса с коэффициентами, определяемыми из краевых условий. Величины частот собственных колебаний также определяются краевыми условиями.

Круговая частота собственных поперечных колебаний консольно закрепленных проб выражается общей формулой

$$\omega = \frac{\lambda^2}{l^2} \sqrt{\frac{E_u J}{m}}, \qquad (2.17)$$

где l – длина незакрепленной части пробы материала, м;

λ – коэффициент для первой собственной частоты (λ = 1,875);

E_u – модуль упругости на изгиб МПа;

J – момент инерции поперечного сечения материала, м^4, $J = bh^3/12$;

b – ширина пробы, м; h – толщина пробы, м.

m – погонная масса пробы, кг/м, $m = \rho bh$; ρ – средняя плотность материала кг/м^3.

Используя соотношение собственной частоты f, гц и круговой w

$$f = \frac{\omega}{2\pi}, \qquad (2.18)$$

Уравнение первой собственной частоты поперечных колебаний консольно закрепленных проб:

$$f = 0.161\frac{h}{l^2}\sqrt{\frac{E_u}{\rho}}, \qquad (2.19)$$

где $\sqrt{\frac{E_u}{\rho}} = c$ – является характеристикой материала – скоростью распространения упругих колебаний в материале (скорость звука); l – длина незакрепленной части пробы материала, м.

Модуль упругости на изгиб при свободных колебаниях консольно закрепленных проб рассчитывается из формулы

$$E_u = \frac{l^4\rho}{0.161^2 h^2} f^2, \qquad (2.20)$$

Собственная частота $f = 1/T$ свободных колебаний определяется через период затухающих колебаний консольно закрепленной пробы (T, с), по графику (рис. 2.23).

Жесткость при изгибе материала определяется формулой

$$D_u = E_u J \qquad (2.21)$$

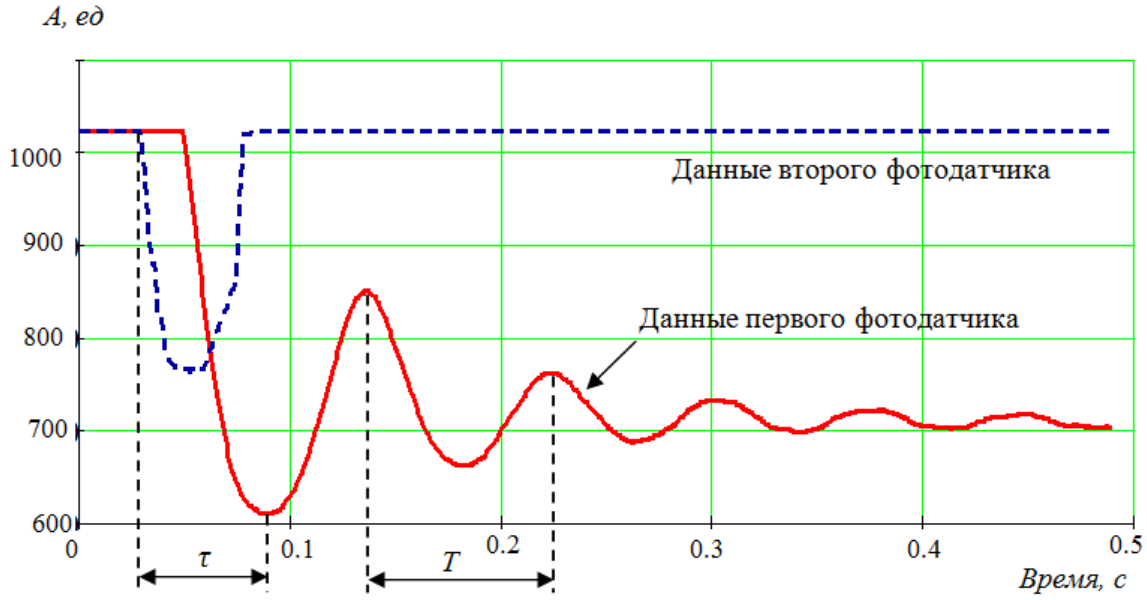


Рисунок 2.23 – Обработанная кривая свободных колебаний пробы после изгиба; А – условные единицы кода АЦП

Время раскрытия пробы τ, с – определяется по графику (см. рис. 2.23) с момента освобождения конца пробы до начала свободных затухающих

колебаний и характеризует упругие свойства текстильного материала: чем меньше требуется времени для раскрытия, тем выше жесткость.

Экспериментальные исследования показали, что различные объекты исследований при восстановлении после изгиба за один промежуток времени проходят разный путь (рис. 2.24), о чем свидетельствуют различные значения остаточного угла [109], поэтому для оценки упругих свойств предложена новая характеристика – *скорость восстановления после изгиба (υ, м/с):*

$$\upsilon = \frac{s}{\tau}, \tag{2.22}$$

где τ – время раскрытия пробы, с;

s – длина пути свободного конца пробы, м.

Длина пути рассчитывается, исходя из конструкции устройства, размеров и положения пробы:

$$s = 30 - \frac{15 \cdot \sin\alpha_{ост}}{\sin\left[\frac{180 - \alpha_{ост}}{2}\right]}, \tag{2.23}$$

где $\alpha_{ост}$ – угол отклонения пробы от исходной вертикали после завершения колебаний:

$$\alpha_{ост} = \arccos\left(\frac{K^* Ак + B^*}{l}\right), \tag{2.24}$$

где *Ак* – конечный код, поступающий с АЦП от фотодатчика (рис. 2.24);

K^* и B^* – коэффициенты статической характеристики фотодатчика;

l – длина незакрепленной части пробы материала, м.

Большая скорость восстановления пробы после изгиба свидетельствует о высокой способности к сопротивлению изгибу деталей швейных изделий в процессе эксплуатации.

После завершения свободных затухающих колебаний пробе дают отдых в течение 5–15 минут в активных средах, переводящих ее в высокоэластическое состояние. По уменьшению остаточного угла отклонения пробы от исходного

вертикального положения после введения активной среды оценивают вынужденную эластичность:

$$\alpha^* = \alpha_{ост} - \alpha'_{ост}\,, \tag{2.25}$$

где $\alpha_{ост}$ – угол отклонения пробы от исходной вертикали после завершения колебаний;

$\alpha'_{ост}$ – угол отклонения пробы от исходной вертикали после отдыха пробы в активной среде.

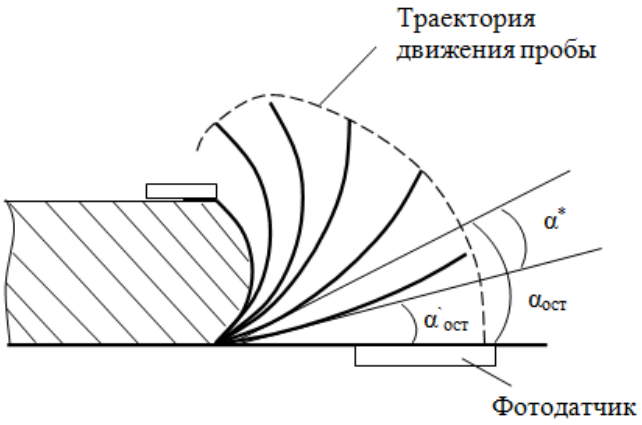


Рисунок 2.24 – Схема движения пробы

Пластичность текстильного материала оценивается по углу отклонения пробы от исходной вертикали после его отдыха в активной среде $\alpha'_{ост}$.

В уравнении (2.15) не учитываются внутренние потери и сопротивление внешней среды (аэродинамическое сопротивление).

В работе [145] приведено общее уравнение движения стержня с учетом внутренних сил сопротивления, пропорциональных скорости деформации изгиба и скорости поперечных перемещений отдельных точек стержня

$$\frac{\partial^2 y}{\partial t^2} + c^2 \frac{\partial^4 y}{\partial x^4} + 2\chi \frac{\partial^5 y}{\partial x^4 \partial t} + 2\xi \frac{\partial y}{\partial x} = 0\,, \tag{2.26}$$

где c – определено выражением (2.19);

χ – коэффициент сопротивления для сил, пропорциональных скорости деформации изгиба;

ξ – коэффициент сопротивления для сил, пропорциональных скорости поперечных перемещений (аэродинамическое сопротивление).

По результатам работы [56] А.П. Смирновым и А.П. Жихаревым коэффициент аэродинамического влияния φ определяется формулой (1.11).

Авторы установили, что коэффициент аэродинамического влияния φ зависит от жесткости материала при изгибе D_u и величины атмосферного давления (см. рис. 1.8). Так для материалов малой жесткости (лавсановых, капроновых и полиэтиленовых пленок), преобладание внешнего рассеивания значительно, для материалов с высокой жесткостью (сталь D=10^7 дн·см^2) влиянием внешней среды можно пренебречь. При уменьшении внешнего давления φ уменьшается.

Фактором, влияющим на величину диссипации во внешнюю среду, является площадь колеблющейся пробы. На рис. 1.9 показана зависимость φ от площади колеблющейся пробы. Исследователями установлено, что для пленочных полимерных материалов рассеивание механической энергии при их колебании идет в основном на преодоление сил аэродинамического сопротивления и их необходимо учитывать.

Учитывая теоретические и экспериментальные исследования выбора размеров проб проведенные А.П. Жихаревым в работе [42] принимаем размеры пробы шириной 10 мм, длиной 20 мм, длина свободной части пробы 15 мм. Площадь колеблющейся части пробы 150 мм^2, что обеспечивает минимальное влияние сопротивления воздуха (см. рис. 1.9).

Полученные экспериментальные данные позволили Васильеву С.С. и Смирнову А.П. [57], уточнить уравнение колебаний стержней с распределенной массой, введя в уравнение (1.4) член, учитывающий рассеивание механической энергии пробы на аэродинамическое сопротивление среды (1.12).

В результате динамические модули упругих и вязких потерь вычисляются по формулам (1.13, 1.14).

А.П. Жихарев в своей работе [42] делает вывод, что для кожи и других материалов, имеющих волокнистые, сетчатые и волокнисто-сетчатые структуры, с понижением внешнего атмосферного давления практически не наблюдается изменение собственной частоты колебаний, как у пленочных материалов монолитных структур. В связи с этим для проведение расчетов аэродинамическое сопротивление внешней среды можно не учитывать.

Ткань, подвергающаяся изгибающему моменту, описывает дугу радиусом *p*. В работах [43, 44] показана зависимость между кривизной ткани и моментом пары сил (см. рис. 1.3), деформация ткани изгибом в двух направлениях дает гистерезис. Чем больше радиус кривизны, тем меньше жесткость на изгиб (формула 1.1) и скорость восстановления пробы пропорциональна кривизне.

Разработанная автоматизированная система позволяет определить комплекс динамических характеристик материалов, характеризующие их гриф (туше) [110]. Гриф (туше) – это свойство, связанное с впечатлением, складывающимся от ткани при визуальной оценке и пробе на ощупь: жесткая, гибкая, мягкая, твердая, шелковистая, грубая, упругая и др. Гриф (туше) является важной качественной характеристикой ткани, которая определяется в основном по органолептической оценке эксперта [60]. Результаты, полученные с помощью органолептических методов оценки, зависят от субъективного мнения отдельного человека и не всегда дают объективный результат, что является основным недостатком подобных методов.

Возможность реализации динамического характера испытаний материалов на изгиб позволяет обоснованно подойти к выбору конструктивного решения, обеспечивающего формоустойчивость и комфортность швейного изделия в процессе эксплуатации. В процессе совершения человеком различных видов движений материалы в деталях одежды изгибаются, и от того, насколько быстро и в какой степени восстановится форма деталей, зависит стабильность формы изделия в целом.

Метод моделирует реальный процесс деформирования материалов при выполнении технологических операций изготовления одежды (изгиб деталей и швейных изделий) и ее эксплуатации (неопорные участки одежды), так как позволяет оценить кинетику распрямления пробы после изгиба.

С использованием разработанной методики проведены исследования деформационных свойств костюмных льняных и камвольных тканей (табл.2.10).

Таблица 2.10 – Характеристики изгиба костюмных тканей в динамических условиях деформирования

№ ткани	Модуль упругости $E_{u,}$ МПа	Жесткость, $D_u \cdot 10^{-5}$ Н·м^2	Время раскрытия, τ, мс	Остаточный угол, градус	Скорость восстановления υ, м/с	Вынужденная эластичность α^* град	Пластичность $\alpha'_{îò}$ град
1	1,24	1,04	21	53	0,79	22	31
2	1,6	1,34	23	25	1,02	10	15
3	1,14	0,95	24	23	1,00	7	16
4	2,12	3,44	13	36	1,59	17	16
5	3,78	5,99	9	23	2,67	10	13
6	2,67	3,06	12	21	2,04	10	11
7	1,89	2,85	14	20	1,77	8	12
8	1,87	1,92	12	23	2,00	12	11
9	3,69	5,91	11	11	2,47	5	6

ткань 1 – камвольная, мелкоузорчатого переплетения, Ms=269 г/м^2, То=35,5, Ту=43, По=380, Пу=268;
ткань 2 – камвольная, мелкоузорчатого переплетения, Ms=226 г/м^2, То=34,5, Ту=39, По=314, Пу=268;
ткань 3 – камвольная, мелкоузорчатого переплетения, Ms=245 г/м^2, То=44,5, Ту=47,5, По=256, Пу=244;
ткань 4 – льняная, мелкоузорчатого переплетения, Ms = 269 г/м^2, То = 99,5, Ту=58,5, По=161, Пу=172;
ткань 5 – льняная, полотняного переплетения, Ms = 292 г/м^2, То = 104, Ту = 118,5, По = 141,Пу = 100;
ткань 6 – льняная, полотняного переплетения, Ms = 227 г/м^2, То = 62, Ту = 103, По = 165, Пу = 119;
ткань 7 – льняная, мелкоузорчатого переплетения, Ms = 220 г/м^2, То = 100, Ту = 130, По=130, Пу=112;
ткань 8 – льняная, полотняного переплетения, Ms = 180 г/м^2, То = 56, Ту = 56, По = 180, Пу = 135;
ткань 9 – льняная, полотняного переплетения, Ms = 280 г/м^2, То = 103, Ту = 103, По = 150, Пу = 120.

Анализ результатов показал, что коэффициент жесткости исследуемых тканей, рассчитанный по параметрам свободных колебаний проб, варьируется в пределах 0,95÷5,99 $\cdot 10^{-5}$ Н·м^2, наибольшие значения наблюдаются у тканей из льняных волокон, обладающих природной жесткостью.

Льняные ткани по сравнению с камвольными тканями характеризуются более высокими значения времени раскрытия и скорости восстановления после изгиба. Время раскрытия обратно пропорционально жесткости на изгиб (рис.2.25). У камвольных тканей скорость восстановления после изгиба изменяется от 0,79 до 1,02 м/с, а у льняных – от 1,59 до 2,67 м/с. При введении пластификатора и отдыха в активных средах угол отклонения камвольных и льняных тканей изменяется примерно одинаково.

Исследования анизотропии скорости восстановления, представленные на полярных диаграммах, показывают, что с изменением направления раскроя наблюдается изменение скорости восстановления (рис. 2.26).

Так для равноплотных тканей из пряжи одинаковой линейной плотности по основе и утку минимальное значение скорости восстановления наблюдается под углом 45°. В других случаях минимум смещается к системе нитей с меньшей массой.

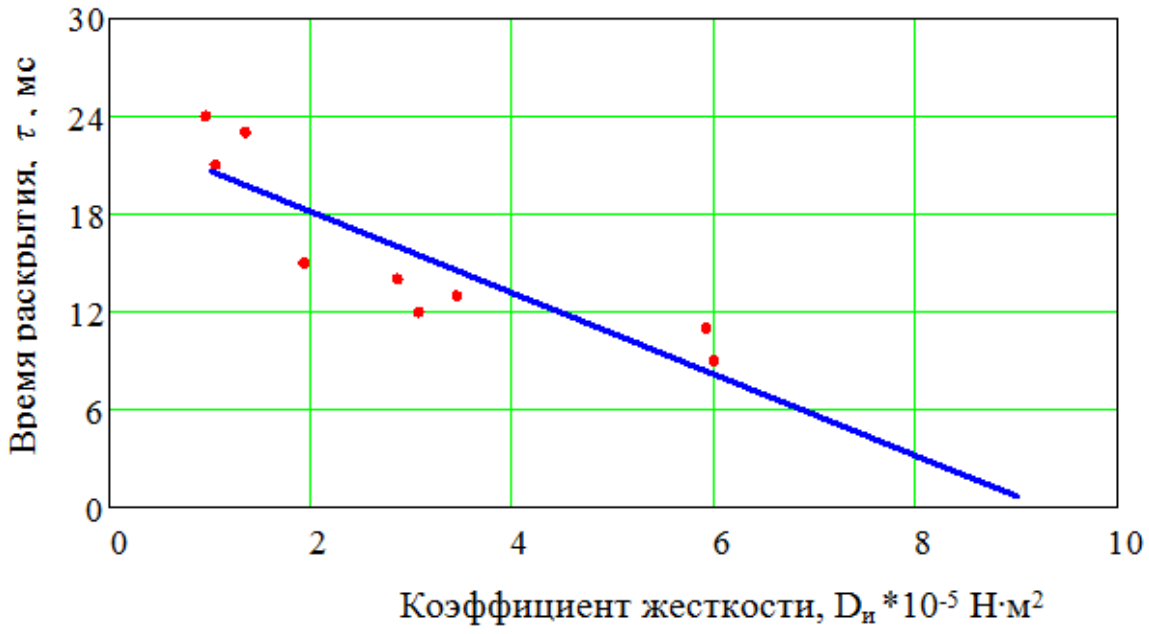
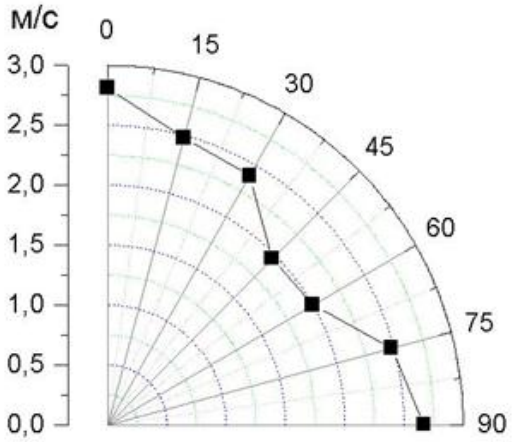
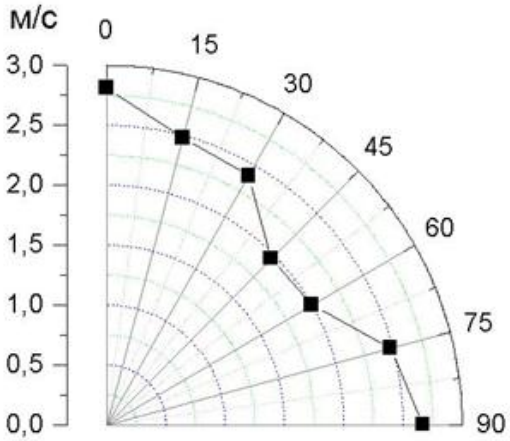


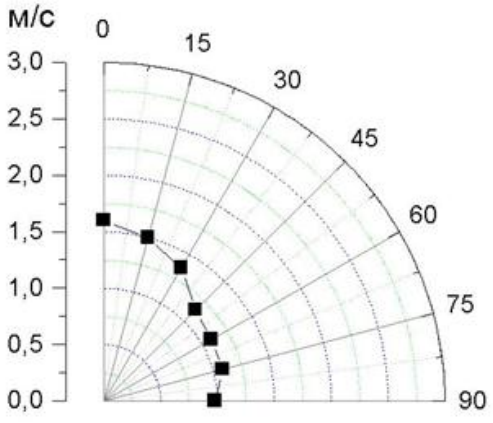
Рисунок 2.25 – Зависимость времени раскрытия пробы от ее жесткости



а



б



в

Рисунок 2.26 – Анизотропия скорости восстановления льняных тканей после изгиба:
а – равноплотная ткань полотняного переплетения Ms = 220 г/м^2;
б – неравноплотная ткань полотняного переплетения Ms = 200 г/м^2;
в – неравноплотная ткань саржевого переплетения Ms = 200 г/м^2.

Исследование влияния технологических и эксплуатационных факторов на скорость восстановления ткани и пакетов одежды (рис. 2.27) показали, что повышение относительной влажности воздуха снижает упругие свойства порядка 40%, а число воздействий вызывают снижение скорости восстановления, порядка 20%.

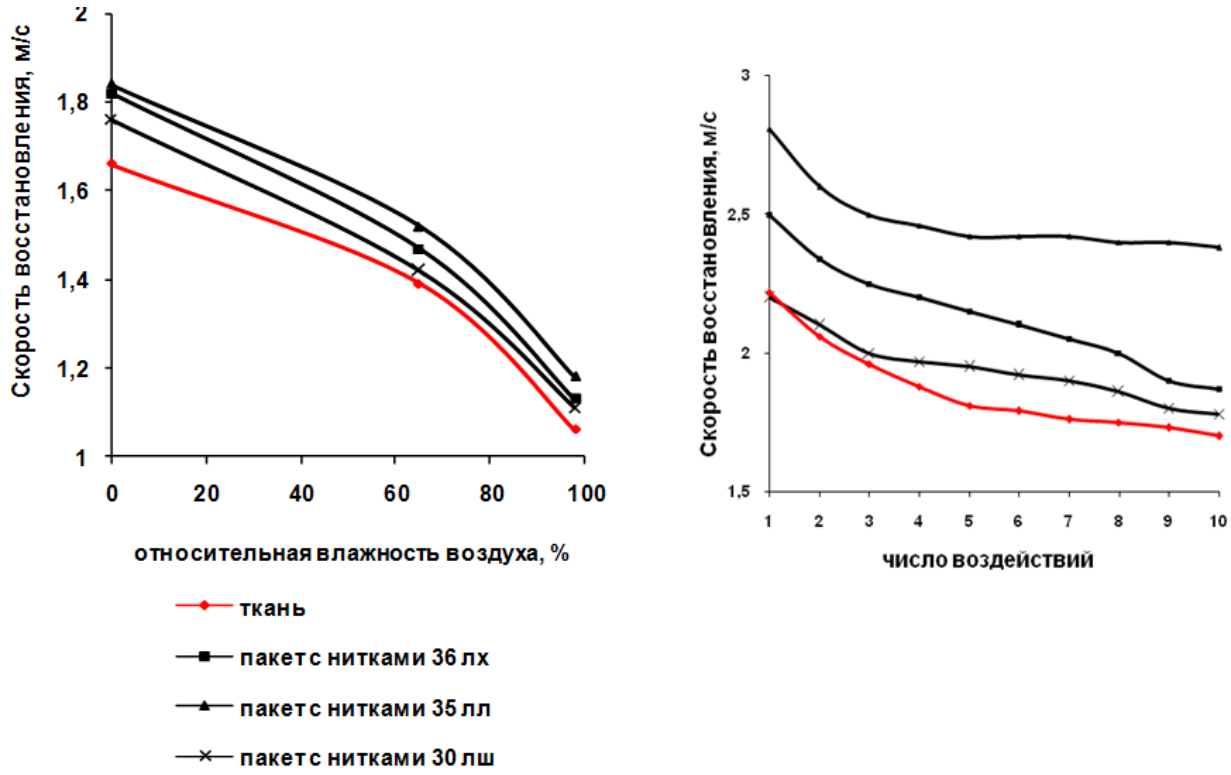


Рисунок 2.27 – Влияние относительной влажности воздуха и числа воздействий на скорость восстановления

Получение достоверных данных возможно при условии, что измерительные средства обладают достаточной точностью и сходимостью результатов. Поэтому должно быть уделено внимание проверке качества по этим позициям. Сходимость (повторяемость) результатов измерений отражает близость друг к другу результатов измерений одной и той же величины, выполненных повторно одними и теми же средствами, одним и тем же методом, в одинаковых условиях [111].

При обработке полученных значений процесса восстановления ткани после изгиба, все реализации данных равномерно разбивались на 10 сечений.

Для каждого сечения рассчитывались значения математического ожидания и дисперсии процесса восстановления. Таким образом, каждая выборка была представлена функциями математического ожидания и дисперсии. Существенность различия значений по видам выборок оценивалась долей различающихся сечений в функциях *M(t)* и *D(t)*, выраженной в процентах к общему объему. Интервал между одним и другим измерением составил 4 часа.

Результаты расчетов (табл. 2.11) показали, что получаемая с помощью разработанной системы информация о времени раскрытия пробы τ отличается несущественно, так как доля незначимо различающихся значений характеристик случайного процесса по исследуемым направлениям составляет 96-98 %.

Оценка точности и сходимости полученных значений измерений по предлагаемому алгоритму подтвердили объективность результатов измерений.

Таблица 2.11 – Результаты расчетов оценки точности и сходимости результатов измерений

Направление раскроя пробы, град	*t*, мс	*S*, мс	δ_t, % при n=3	*n* δ_t=5%	*M(t)*, %	*D(t)*, %
0	16,7	1,15	1,33	2	96	98
15	16,7	1,52	8,22	2	98	97
30	13,3	0,57	0,83	1	96	98
45	14,3	1,15	8,22	1	96	97
60	14,0	1,00	2,38	1	97	97
75	11,3	0,57	0,98	1	98	95
90	10,3	1,52	10,93	2	96	96

t – среднее арифметическое значение из 3-х измерений, мс;
S – среднее квадратическое отклонение t, мс;
δ_t – относительная погрешность измерения среднего значения, %;
n – необходимое число измерений, для обеспечения относительной погрешности измерения среднего значения не более 5%;
M(t) – математическое ожидание;
D(t) – дисперсия.

Информация о комплексе характеристик, полученных на разработанной автоматизированной системе в динамических условиях деформирования изгиба текстильных материалов, позволяет прогнозировать поведение швейных

изделий в эксплуатации и научно обоснованно осуществлять конфекционирование материалов [144].

Выводы по главе

1. Разработаны автоматизированные системы и методы определения свойств материалов в статических и динамических условиях изгиба. Автоматизированные системы и управляющие программы для ЭВМ характеризуются высоким техническим уровнем проведения испытаний, который соответствует современным тенденциям развития измерительной техники.
2. Предложен метод определения свойств материалов при изгибе в статических условиях, реализуемый на автоматизированной системе. Предлагаемый метод и автоматизированная система дают возможность оценки способности материала сопротивляться изгибающему воздействию и восстанавливать свою форму после освобождения от деформирующей нагрузки с записью диаграммы в режиме реального времени.
3. Разработанный метод позволяет количественно оценить способность материала к изгибу в условиях реальной сложности этого явления, имеющего место при изготовлении и эксплуатации швейных изделий и получение новых характеристик.
4. Разработана методика расчета метрологических характеристик измерительного канала автоматизированных систем и устройств.
5. Разработанный метод определения характеристик изгиба и автоматизированный система для его реализации, позволяют усовершенствовать существующий ГОСТ, который морально устарел.
6. Предложен метод определения свойств материалов после изгиба в динамических условиях испытаний и автоматизированная система для его реализации. Система моделирует реальный процесс деформирования

материалов при выполнении технологических операций изготовления одежды и ее эксплуатации, позволяет оценить кинетику распрямления материала после изгиба и получить новые характеристики.

7. Определен модуль упругости E_u и жесткость D_u на изгиб при свободных колебаниях консольно закрепленных проб;
8. Исследовано влияние технологических и эксплуатационных факторов на деформационные характеристики в статических и динамических условиях изгиба.
9. Автоматизированные системы входят в состав измерительного комплекса и позволяют цифровизировать конфекционирование материалов.

3. РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК СДВИГА

Способность тканей к изменению угла между нитями основы и утка является важнейшим показателем качества для одежды, характеризующим формовочную способность ткани. Этот показатель оказывает существенное влияние на выбор методов формообразования, технологию изготовления, влажно-тепловую обработку и определяет формоустойчивость изделий при эксплуатации [112, 113]. Стандартные методы оценки способности тканей к сдвигу нитей в настоящее время отсутствуют, поэтому разработка метода определения показателей качества ткани при сдвиге нитей является актуальной.

Сдвиг нитей ткани – это способность ткани изменять сетевые углы между нитями основы и утка. Изменение угла между нитями может возникнуть при сдвигающем усилии и под действием собственной массы ткани.

Для экспериментального определения способность материалов к сдвигу и восстановлению после сдвига, разработан запатентованный метод [114, 115], который реализуется на автоматизированной измерительной системе [116–118].

Структурная схема разработанной автоматизированной системы включает (рис. 3.1): датчик силы (ДС) на основе тензорезисторного преобразователя (ТП) с усилителем постоянного тока (УПТ); датчик перемещения (ДП) на основе шагового двигателя; выключатели конечные (ВК1), (ВК 2) ограничивающие перемещение; плату сопряжения с ЭВМ (ПС), блок питания устройства (БП) и ЭВМ. Плата сопряжения содержит: аналого-цифровой преобразователь (АЦП) и программируемый параллельный интерфейс (ППИ).

Внешний вид разработанной автоматизированной системы показан на рис. 3.2. Основным элементом системы является автоматизированное устройство, которое имеет самостоятельное конструктивное оформление (рис. 3.3) и функционирует совместно с ЭВМ под управлением компьютерной

программы Formability [119], что позволяет автоматизировать обработку результатов измерений и создавать базу данных по предмету исследований.

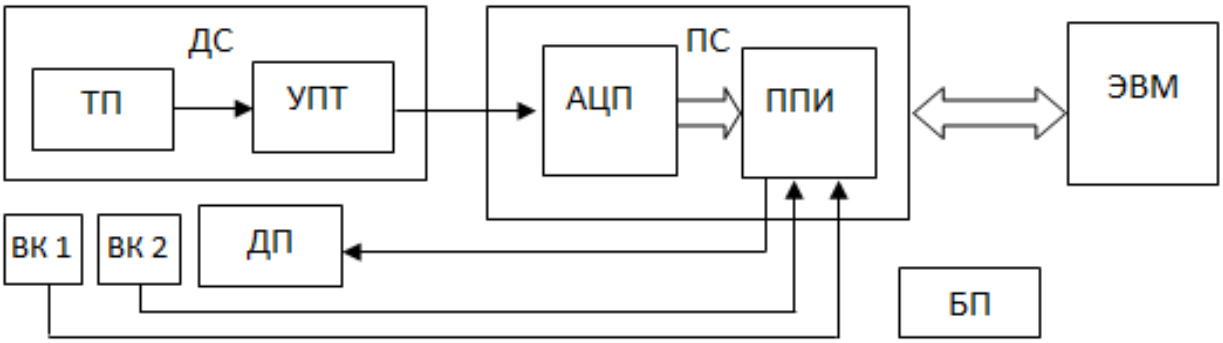


Рисунок 3.1 – Структурная схема автоматизированной измерительной системы для определения способности тканей к сдвигу нитей

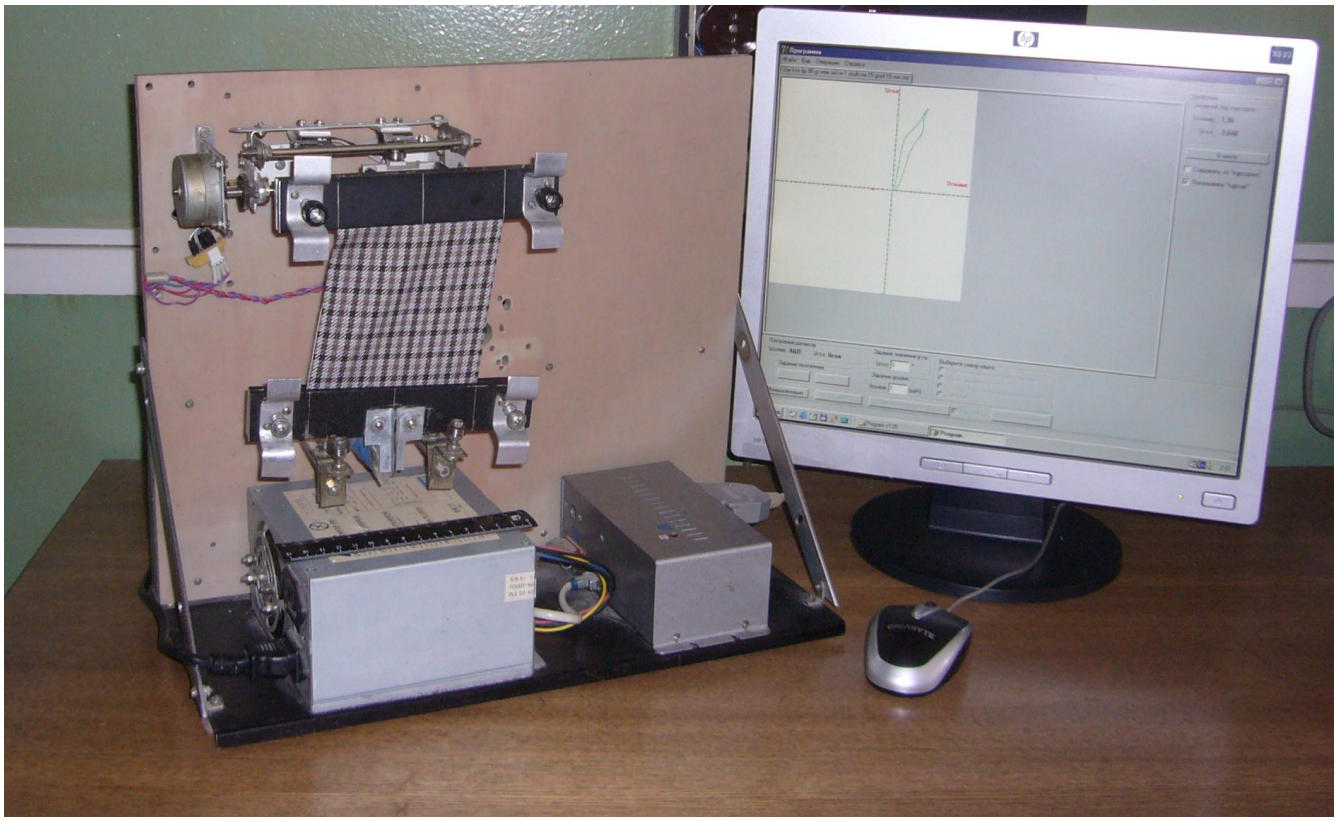


Рисунок 3.2 – Внешний вид автоматизированной системы определения характеристик сдвига, входящей в измерительный комплекс

Все элементы автоматизированного устройства (рис. 3.3) расположены на платформе 1. Устройство работает следующим образом: пробу ткани 8 фиксируют между верхним зажимом 7 и нижним зажимом 4 лицевой стороной к испытателю, так, чтобы проба располагалась по центру между линиями разметки на зажимах (рис. 3.4).

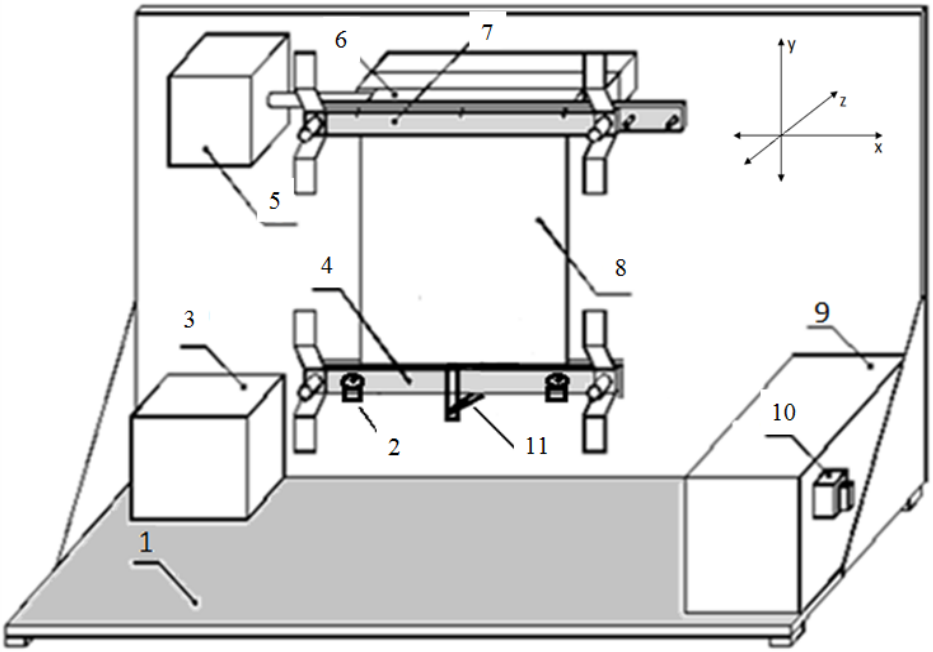


Рисунок 3.3 – Схема автоматизированного устройства для проведения испытаний на сдвиг

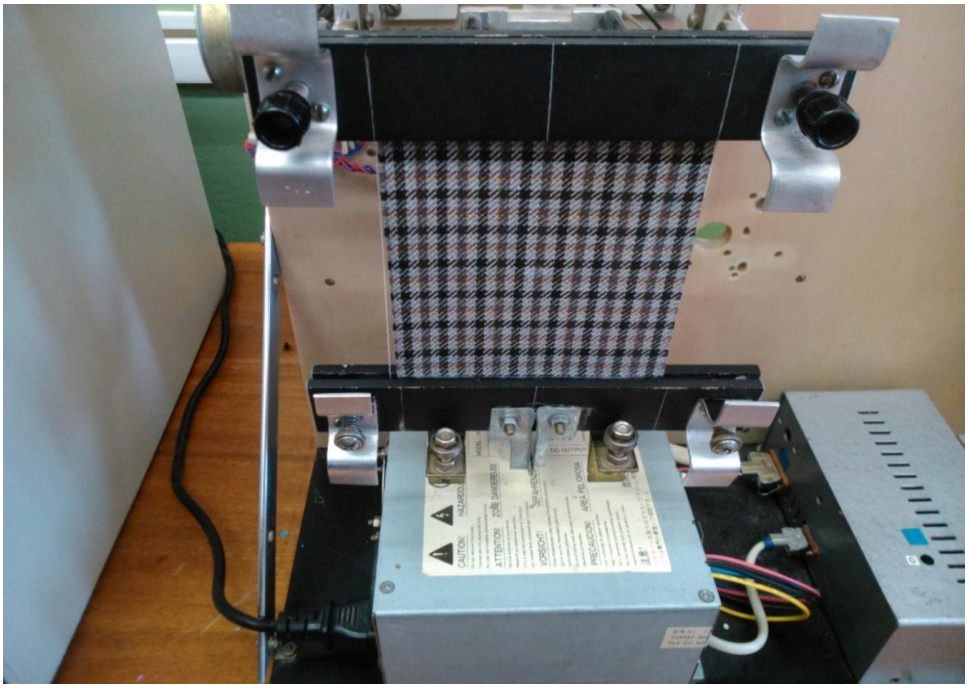


Рисунок 3.4 – Проба, зафиксированная в зажимах устройства

С помощью передачи 6 вращение вала шагового двигателя 5 преобразуется в поступательное движение зажима 7. Усилие, возникающее при деформации пробы 8, воспринимается датчиком силы (тензопреобразователь) 11. Датчик усилия позволяет фиксировать небольшие деформации, что обеспечивает точность результатов измерений усилия, вызывающего сдвиг. По оси x перемещение нижнего зажима ограничивает датчик усилия 11, а по оси z ролики 2. Устройства: усилители сигналов датчика силы и управления датчиком перемещения расположены под металлическим кожухом 9. Включение-отключение блока питания 3 осуществляется кнопкой 10.

В результате горизонтального перемещения верхнего зажима происходит сдвиг нитей в ткани, обусловливающий изменение сетевых углов. Датчик силы регистрирует величину усилия для сдвига нитей в ткани $P_{сдв}$, а датчик перемещения – величину деформации сдвига $l_{сдв}$, мм. Для определения формовочной способности ткани сдвиг осуществляется до образования диагональной складки на ткани. Для определения релаксационных свойств тканей при сдвиге нитей проба в деформированном состоянии выдерживается в течение 15 минут, после чего возвращается в исходное положение.

Рабочие размеры проб составляют 100×100 мм. Выкраивают пробы: 160×100 мм. Отбор проб осуществляется в соответствии с ГОСТ 20566–75. Количество проб для испытаний должно обеспечивать относительную ошибку в допустимых пределах до 7%. Пробы в течение суток выдерживаются в климатических условиях ГОСТ 10681–75.

Верхний зажим автоматизированного устройства перемещается с постоянной скоростью 2 мм/с. Выбор скорости аналогичен скорости прибора РТ-2М при определении стойкости тканей к раздвигаемости нитей ГОСТ 22730–87. Нижний зажим автоматизированного устройства обеспечивает предварительное натяжение, распрямление нитей пробы. В этом случае удлинение нитей не превышает 1–2 %. Такой величиной деформации нитей можно пренебречь.

Последовательность проведения испытаний реализуется по алгоритму (рис. 3.5) [120].

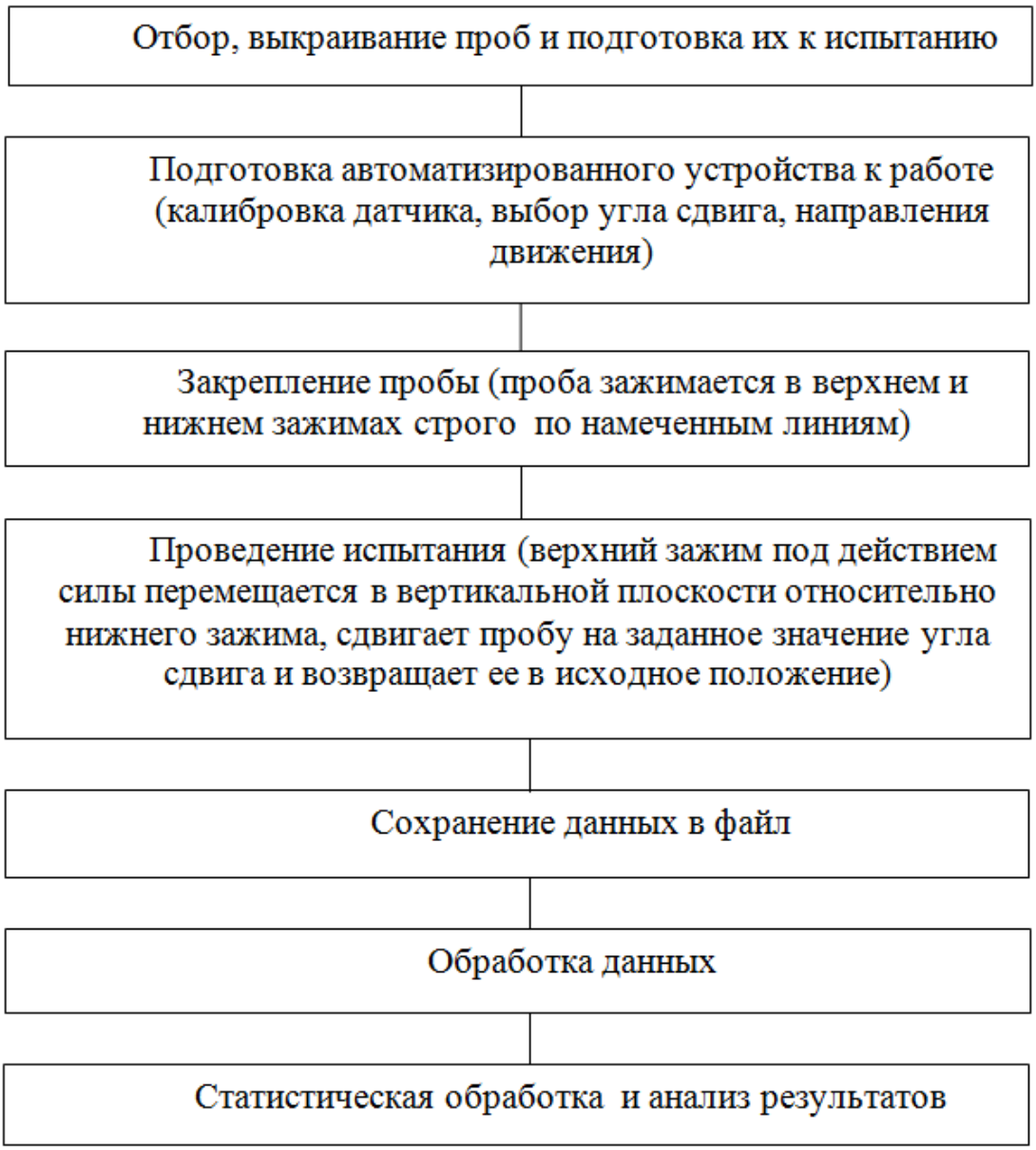


Рисунок 3.5 – Алгоритм проведения испытаний по определению способности тканей к сдвигу нитей

Управляющая программа Formability по полученным данным строит график зависимости (рис. 3.6, 3.7) и формирует файл.

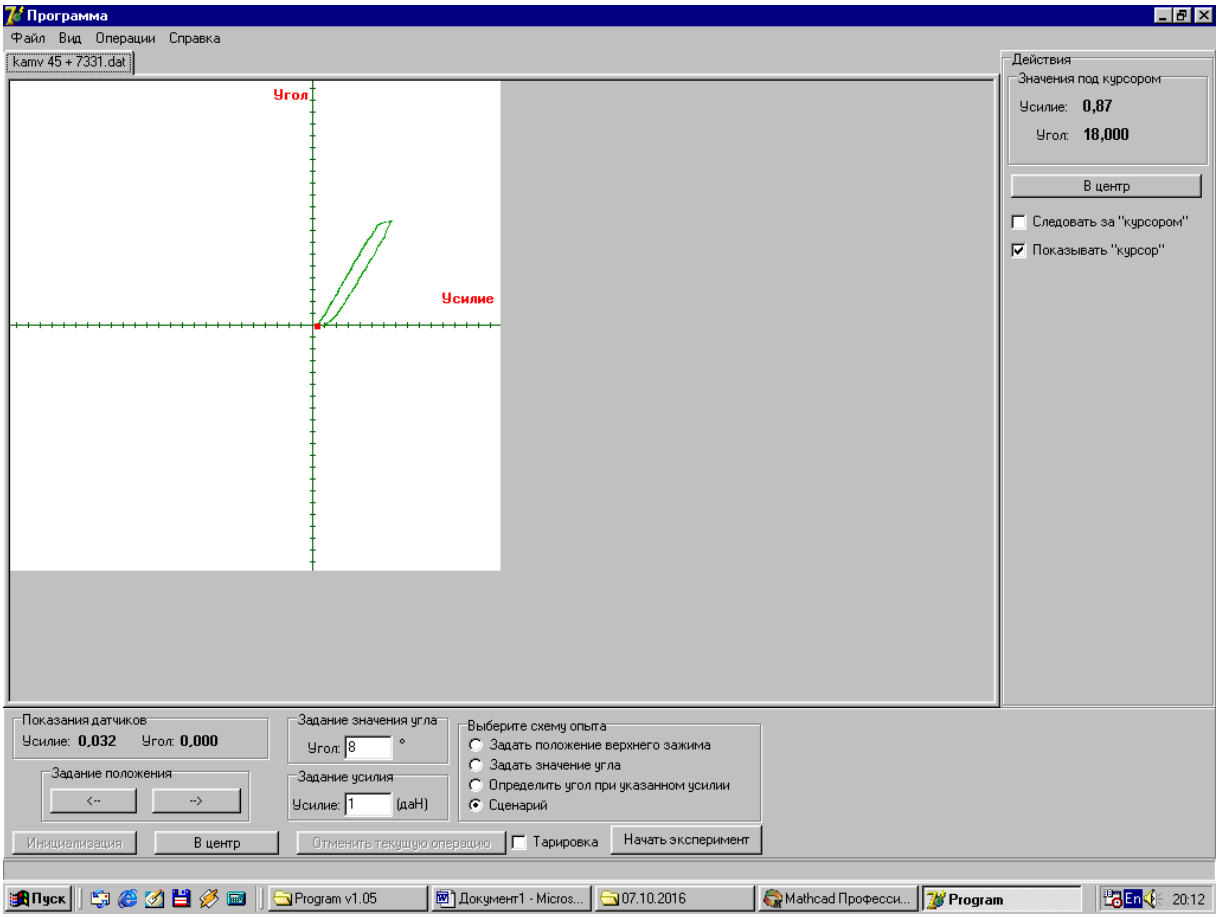


Рисунок 3.6 – Главное окно программы Formability. Диаграмма изменения жесткости при одноцикловом испытании на сдвиг

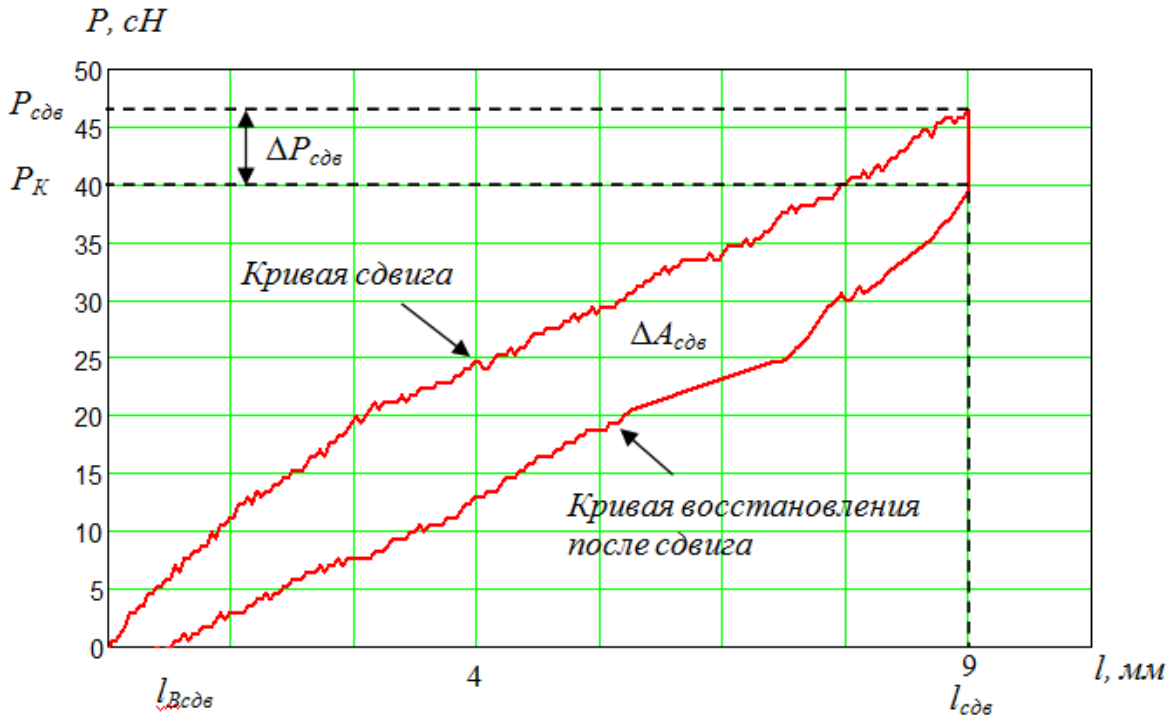


Рисунок 3.7 – Обработанная кривая процесса сдвига нитей в ткани и восстановления после сдвига с релаксацией усилия

Для эффективного обучения персонала составлена инструкция пользователя по методике аналогичной применению измерительной системы для определения характеристик изгиба (см. приложение 4).

Разработанный метод позволяет получить комплекс характеристик при сдвиге нитей в ткани, характеризующих технологические и эксплуатационные свойства.

Жесткость ткани при сдвиге $P_{сдв}$, сН – сила сопротивления сдвигу нитей в ткани до образования диагональной складки. Характеризует усилие, затрачиваемое на преодоление сил сцепления и трения сдвигаемых нитей. Оценка жесткости по величине усилия является общепринятой в отечественном материаловедении, как например, в ГОСТ 8977-74. Значение жесткости при сдвиге $P_{сдв}$ определяют по графику или таблице зависимости $P_{сдв}(l_{сдв})$.

α_{max} – максимальный угол сдвига нитей ткани до образования диагональной складки. Угол сдвига – это величина угла, на который происходит смещение нитей основы и утка. Угол сдвига характеризует формовочную способность ткани, обусловленную сдвигом нитей в ткани.

Падение усилия в деформированном состоянии сдвига $\Delta P_{сдв}$, % характеризует релаксацию усилия (напряжения) в ткани в состоянии сдвига:

$$\Delta P_{сдв} = \frac{P_{сдв} - P_K}{P_{сдв}} 100, \qquad (3.1)$$

где $P_{сдв}$ – максимальное усилие, предшествующее появлению диагональной складки, сН;

P_K – усилие после выдерживания пробы в нагруженном состоянии, сН.

Работа сдвига $A_{сдв}$, мкДж – работа, необходимая для сдвига нитей ткани.

Работа восстановления $A_{Всдв}$, мкДж – работа, затраченная на восстановление после сдвига.

Характеристики, которые показывают количество энергии, затраченной на сдвиг нитей и восстановление после сдвига.

Разность работ $\Delta A_{сдв}$, мкДж, характеризует формоустойчивость ткани и определяется площадью гистерезисной петли:

$$\Delta A_{сдв} = A_{сдв} - A_{Всдв} . \quad (3.2)$$

Коэффициент формоустойчивости при сдвиге $K_{Ф_{сдв}}$ определяют отношением работы восстановления после сдвига к работе сдвига:

$$K_{Ф_{сдв}} = \frac{A_{B_{сдв}}}{A_{сдв}} . \quad (3.3)$$

Относительную характеристику формоустойчивости, $K_{Ф_{сдв}}$ целесообразно использовать для сравнения свойств разных тканей.

Близость значений коэффициента к единице свидетельствует о высокой устойчивости структуры полотна к изменению сетевых углов между системами нитей.

Результаты испытаний разных материалов на сдвиг приведены в табл. 3.1.

Аналогично устройству определения характеристик изгиба (п. 2.1), рассчитаны метрологические характеристики измерительного канала силы автоматизированного устройства (см. п. 2.2). Устройству присвоен класс точности 2,5.

Таблица 3.1– Результаты испытаний разных материалов на сдвиг

Вид материала	Характеристики сдвига нитей				
	Жесткость при сдвиге $P_{сдв}$,сН	Максимальный угол сдвига α_{max}	Работа сдвига $A_{сдв}$, мкДж	Работа восстановления $A_{Всдв}$, мкДж	Коэффициент формоустойчивости при сдвиге $K_{ф_{сдв}}$
Чистольняная ткань полотняного переплетения	30,96	5_{31}	127,24	98,28	0,77
Льнохлопковая костюмная ткань мелкоузорчатого переплетения	29,82	5_{30}	102,91	90,10	0,87
Камвольная костюмная ткань мелкоузорчатого переплетения	60,37	5_{60}	270,61	253,37	0,94

Диапазон усилий сдвига –200…+200 сН определен по статической характеристике датчика силы. Диапазон угла сдвига до 17°. Погрешность канала перемещения составляет γ = 0,69 % (приложение 2).

Представленный в главе 1 комплекс автоматизированных приборов серии KES-FB KAWABATA (Япония) [7], применяемый в зарубежной практике, позволяет определять характеристики сдвига и изучать свойства разных текстильных полотен (тканых, нетканых, трикотажных, композиционных). Однако, эти приборы не имеют распространения в России и возникают сложности при сравнении результатов исследований.

Проведено исследование возможностей двух приборов для измерения показателей сдвига − прибора KES-FB1 KAWABATA (рис. 1.20) и разработанной автоматизированной системы [172].

На приборе KES-FB1 для определения характеристик сдвига используют пробы размером 200×200 мм с зажимной длиной 50 мм, схема закрепления которых представлена на рис. 1.20. Испытуемая проба расположена в горизонтальной плоскости.

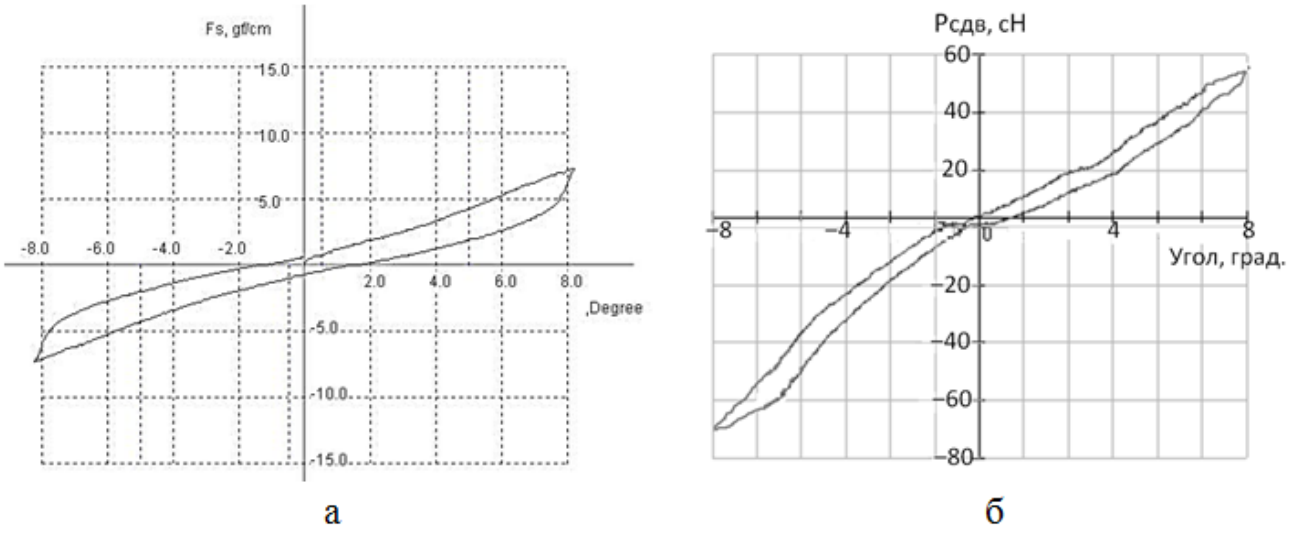
Прибор реализует схему непрерывного нагружения и релаксации. Пробы деформируют до угла сдвига 8°, параллельно записывая диаграмму зависимости сдвигающей силы от угла сдвига (рис. 3.8а). Автоматически определяют три показателя, характеризующие относительные показатели жесткости при сдвиге:

− жесткость при сдвиге *G* (сН/см·град), равная углу наклона кривой сдвига (отношение сдвигающей силы на единицу длины к углу сдвига) между углами сдвига 0,5 и 2,5°;

− гистерезис усилия сдвига *2HG* (сН/см) при нагружении и релаксации, равный разности между усилиями при сдвиге и релаксации, измеренной при +0,5 и –0,5°;

− гистерезис усилия сдвига *2HG5* (сН/см), равный разности между усилиями при сдвиге и релаксации, измеренной при +5 и –5°.

Исследование деформации сдвига на разработанной автоматизированной системе производилось на пробах с рабочими размерами 100×100 мм при сдвиге нитей также на 8º. Схема закрепления проб в вертикальной плоскости (рис. 3.4) также реализует схему непрерывного нагружения и релаксации с записью диаграммы «усилие сдвига − угол сдвига» (рис. 3.8б).



а б

Рисунок 3.8 – Диаграммы «усилие сдвига – угол сдвига», получаемые на приборах KES-FB1 (а) и разработанной автоматизированной системе

Диаграммы сдвига свидетельствуют об идентичных возможностях сравниваемых приборов. Перечень характеристик сдвига, определяемых с помощью разработанной системы перечислен выше.

Таким образом, разработанная автоматизированная система позволяет измерять новые характеристики сдвига, не имеющие аналогов за рубежом, и получать дополнительную информацию о поведении материалов при сдвиге (табл. 3.2). Сравнительный анализ возможностей приборов выполнен для камвольной ткани саржевого переплетения арт. 23260.

Таблица 3.2 − Сравнительный анализ характеристик сдвига

Направление раскроя	Характеристики сдвига нитей в ткани							
	Автоматизированная система					Прибор KES-FB1		
	$P_{сдв}$, сН	$A_{сдв}$, мкДж	$A_{Всдв}$, мкДж	$\Delta A_{сдв}$, мкДж	$K_{Фсдв}$	G, сН/см·град	$2HG$, сН/см	$2HG5$, сН/см
Основа	59	470	333	137	0,71	0,68	1,43	2,45
Уток	40	271	153	118	0,56	0,64	1,40	2,38
Под углом 45°	62	525	391	134	0,74	0,89	1,73	3,95

Количественные показатели свойств материалов при сдвиге сопоставить не представляется возможным из-за масштабного эффекта, обусловленного разными размерами испытуемых проб. Однако сравнение может быть выполнено при оценке влияния анизотропии. Характер анизотропии показателей сдвига, определенных на приборе KES-FB1 и автоматизированной системе, показал аналогичную тенденцию к их изменению в зависимости от направления раскроя (см. табл. 3.2). Характеристики жесткости имеют максимальные значения для проб, выкроенных под углом 45° и минимальные − для проб по утку (см. табл. 3.2).

Практическая значимость разработанной измерительной системы заключается в возможности импортозамещения приборной базы для контроля качества продукции в лабораториях предприятий легкой промышленности, в научно-исследовательских лабораториях и в учебном процессе вузов легкой промышленности при подготовке специалистов для швейных, обувных и текстильных предприятий.

Автоматизированная система может производить сдвиг нитей в ткани на больший угол, что позволяет расширить диапазон измерений в сравнении с прибором KES-FB-1.

Аналогично измерительной системе определения характеристик изгиба в квазистатическом режиме (см. приложение 5), проведен расчет договорной цены разработанного автоматизированного устройства определения характеристик сдвига, цена составила 58648 руб. в ценах 2018 года. Стоимость прибора KES-FB-1 составляет приблизительно 600 тыс. руб. в минимальной комплектации.

Разработанная измерительная система соответствует современным тенденциям развития техники, отличается объективностью, универсальностью, имеет высокий уровень информативности и позволяет оценить способность к сдвигу нитей разных по волокнистому составу тканей (см. табл. 3.1) и плетеных полотен [121, 178, 179, 194]. Предложенный комплекс характеристик сдвига

нитей в ткани дает возможность оценить жесткость, формоустойчивость и формуемость тканей для одежды [122–124, 195].

Выводы по главе

1. Разработан метод для реализации определения способности материалов к сдвигу и восстановлению после сдвига и автоматизированная система. Метод моделирует реальный процесс сдвига нитей в ткани, отличается объективностью и имеет высокий уровень информативности.
2. Разработанный метод и автоматизированная система дают возможность по диаграммам сдвига и восстановления в режиме реального времени изучать кинетику процесса сдвига и определить новые характеристики оценивающие релаксационные свойства тканей.
3. Метод является универсальным и позволяет оценить способность к сдвигу нитей разных по волокнистому составу тканей.
4. Автоматизированная система входит в измерительный комплекс оценки свойств текстильных материалов и позволяет научно обоснованно осуществлять конфекционирование материалов.

4. РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК РАСТЯЖЕНИЯ

4.1. Определение одноцикловых характеристик текстильных материалов в динамических условиях растяжения

Одной из основных деформаций, возникающих в материалах одежды, является растяжение. Устойчивость формы изделий и их внешний вид во многом зависят от способности ткани и швов реагировать на внешние растягивающие усилия, поэтому оценка деформационных свойств необходима для принятия рациональных конструкторско-технологических решений при изготовлении высококачественной одежды.

Устройства и методы оценки деформационных свойств материалов, существующие в настоящее время, реализуют в большинстве своем статический характер испытаний, что не в полной мере отражает условия эксплуатации изделий, где они подвергаются действию небольших по величине кратковременных нагружений. Поэтому для более объективной оценки деформационных свойств текстильных материалов и пакетов из них необходимо применять не только статические, но и динамические методы испытаний.

Для определения деформационных свойств при растяжении текстильных материалов разработана автоматизированная измерительная система [125] для проведение испытаний на растяжение в условиях кратковременных нагружений, позволяющая оценить комплекс характеристик: жесткость, общую деформацию растяжения и ее составные части.

Автоматизированная измерительная система входит в измерительный комплекс оценки свойств текстильных материалов.

Структурная схема разработанной автоматизированной системы для определения характеристик растяжения в динамических условиях включает (рис. 4.1): тензометрический датчик (Д), усилитель постоянного тока на

прецизионных операционных усилителях (УПТ), аналого-цифровой преобразователь (АЦП), блок питания (БП), устройство ввода/вывода (УВВ) и управляющую ЭВМ.

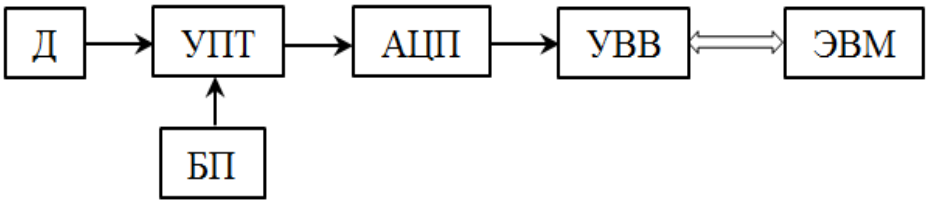


Рисунок 4.1 – Структурная схема автоматизированной системы для определения характеристик растяжения в динамических условиях

Основным элементом системы является автоматизированное устройство, которое имеет самостоятельное конструктивное оформление (рис. 4.2), и функционирует совместно с ЭВМ под управлением специально разработанной программы.

В предлагаемом устройстве в качестве первичного преобразователя измерения деформации применяется тензометрический датчик и автоматическая запись на ЭВМ, получаемых экспериментальных результатов.

Тензометрический датчик представляет собой упругую балку, закрепленную на призмах, на которую наклеены тензорезисторы, в центре балки зажим для пробы (рис. 4.2).

Для увеличения выходного электрического сигнала применяется восемь тензорезисторов, соединенных в мостовую цепь с четырьмя рабочими плечами. Учитывая, что ток питания фольговых тензодатчиков значительно больше тока питания проволочных тензодатчиков, были применены фольговые с целью повышения выходного напряжения.

Частота собственных колебаний балки более 700 Гц, что значительно выше свободных колебаний системы «проба – груз».

Для обеспечения необходимого коэффициента усиления электрического сигнала, снимаемого с тензорезисторов, и минимального дрейфа нуля

использованы прецизионные операционные усилители постоянного тока в интегральном исполнении. Полученная экспериментально статическая характеристика датчика линейная. Элементы схемы усиления подобраны таким образом, что погрешность при частоте входного сигнала 1 кГц составляет менее 1 %.

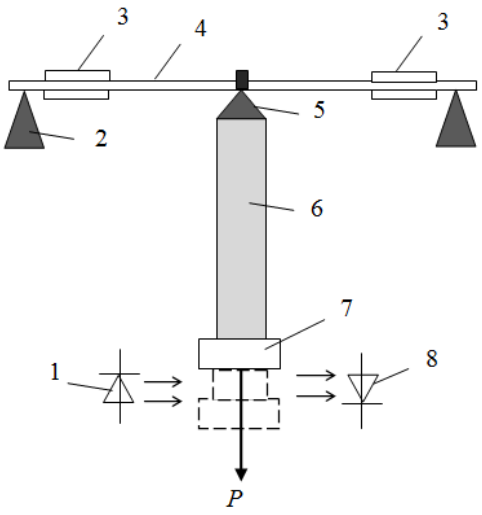


Рисунок 4.2 – Схема устройства для растяжения материалов
в динамических условиях:
1 – светоизлучатель; 2 − призма; 3 – тензорезисторы; 4 – упругий элемент (балка);
5 – верхний зажим; 6 – проба; 7 – груз; 8 – фотоприемник

Время преобразования АЦП составляет 1 мкс, что не оказывает существенного влияния на быстродействие устройства.

Тарировка устройства производится однократно, коэффициент преобразования заносится в управляющую программу на ЭВМ.

Аналогично устройству определения характеристик изгиба (п. 2.1), рассчитаны метрологические характеристики измерительного канала силы автоматизированной системы (см. п.2.2). Устройству присвоен класс точности 2,5. Однако при измерении быстро изменяющихся процессов необходимо учитывать и динамическую составляющую погрешности. Динамические погрешности измерительного канала являются дополнительными и обычно не суммируются с остальными, а просто ограничивают частотный диапазон измеряемой величины в области высоких частот ее измерения [142]. Расчет

динамической погрешности измерительного канала приведен ниже (см. п.4.3) Алгоритм проведения испытаний следующий: проба одним концом закрепляется в зажиме устройства и подвергается импульсному растяжению после подъема и последующего отпускания груза, закрепленного на другом конце пробы.

Аналоговый сигнал с датчика поступает в ЭВМ. Полученные данные обрабатываются специально разработанной программой и представляются в цифровой или графической форме (рис. 4.3). Программа работает в режиме реального времени, что позволяет осуществлять регистрацию данных с заданной частотой опроса и обеспечивать высокую точность проведения эксперимента.

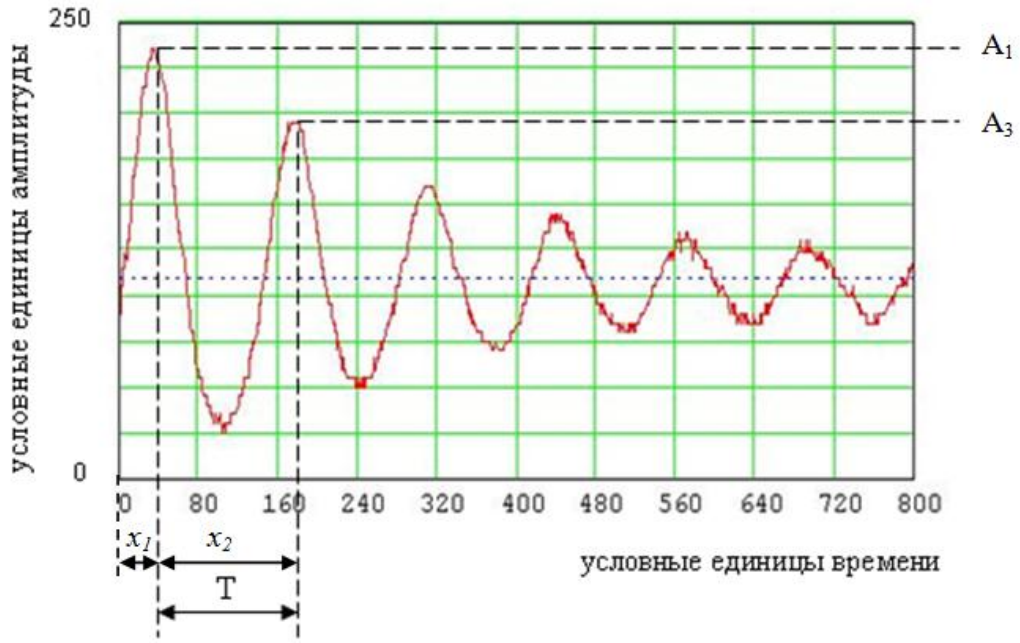


Рисунок 4.3 – График свободных затухающих колебаний системы «проба − груз» при динамических испытаниях на растяжение

Колебания пробы с грузом имеют затухающий характер. Затухание происходит под действием сил внутреннего трения.

После завершения регистрируемых свободных затухающих колебаний груза определяется величина полной деформации фотоприемником (рис. 4.2). Сразу после снятия груза фиксируется упругая составляющая деформации. После отдыха в течение 2 часов определяется эластическая и остаточная

деформации. С целью выявления вынужденной эластической деформации после отдыха в климатических условиях пробы переводятся в высокоэластическое состояние путем пластификации водой в течение 15 минут, после высушивания определяется вынужденная эластическая деформация и корректируется величина остаточной деформации.

Величины составных частей деформации определяются традиционно:

$$\varepsilon_{общ} = (L_к - L_0)100 / L_0; \tag{4.1}$$

$$\varepsilon_{упр} = (L_к - L_1)100 / L_0; \tag{4.2}$$

$$\varepsilon_{эл} = (L_1 - L_2)100 / L_0; \tag{4.3}$$

$$\varepsilon_{вын.эл} = (L_2 - L_3)100 / L_0; \tag{4.4}$$

$$\varepsilon_{ост} = (L_3 - L_0)100 / L_0, \tag{4.5}$$

где L_0 – начальная длина пробы, мм;

$L_к$ – длина пробы после совершения колебаний, мм;

L_1 – длина пробы после снятия груза, мм;

L_2 – длина пробы после отдыха в течение 2 часов, мм;

L_3 – длина пробы после пластификации и сушки, мм.

Величина груза выбирается порядка 10 % от разрывной нагрузки.

Колебательную систему рассматриваем как линейную, поскольку проба совершает малые колебания. Используя классическую теорию колебаний (модель упруговязкого тела Кельвина – Фойгта), дифференциальное уравнение свободных колебаний с вязким демпфированием для колебательной системы «образец – груз» принимает вид

$$m\frac{d^2x}{dt^2} = -cx - h\frac{dx}{dt} \tag{4.6}$$

где m – масса пробы;

h – коэффициент вязкости;

c – коэффициент жесткости (упругости).

Разделив левую и правую части на m, приведем уравнение (4.6) к виду

$$\ddot{x} + 2\vartheta\dot{x} + \omega^2 x = 0 \tag{4.7}$$

где ϑ – коэффициент затухания;

ω – собственная угловая частота колебаний.

По графику (см. рис. 4.3) определяются показатели деформационных свойств материалов.

Коэффициент вязкости, Н·с/м

$$h = 2M\frac{\ln\frac{A_1}{A_3}}{T}, \tag{4.8}$$

где M – масса груза, кг;

$\lambda = \frac{A_1}{A_3}$ – логарифмический декремент затухания, A_1 и A_3 – отношение смежных амплитуд колебаний, определяемых по графику;

T – условный период свободных затухающих колебаний, с.

Период колебаний определяется по формуле

$$T = \frac{(x_2 - x_1)}{nF}, \tag{4.9}$$

где x_2, x_1 – количество точек по оси абсцисс;

n – число периодов на выбранном отрезке;

F – частота опроса сигнала с датчика силы (задается в управляющей программе), Гц.

Коэффициент жесткости $C_д$, Н/м, определяемый в условиях кратковременных динамических нагружений, рассчитывается по формуле

$$C_д = (\frac{2\pi}{T})^2 M, \tag{4.10}$$

Коэффициент затухания

$$\vartheta = \frac{\lambda}{T} \tag{4.11}$$

Время затухания, в течение которого напряжение, возникающее в деформируемом материале, уменьшится в *e* раз

$$\tau = \frac{1}{\vartheta} \qquad (4.12)$$

Применение современной элементной базы и цифровых принципов преобразования сигнала обеспечивает точность измерений и снижение трудоемкости испытаний на разработанном устройстве.

Исследования одноцикловых характеристик льняных тканей в динамических условиях растяжения (табл. 4.1) показали влияние характеристик строения на деформационные свойства тканей [196].

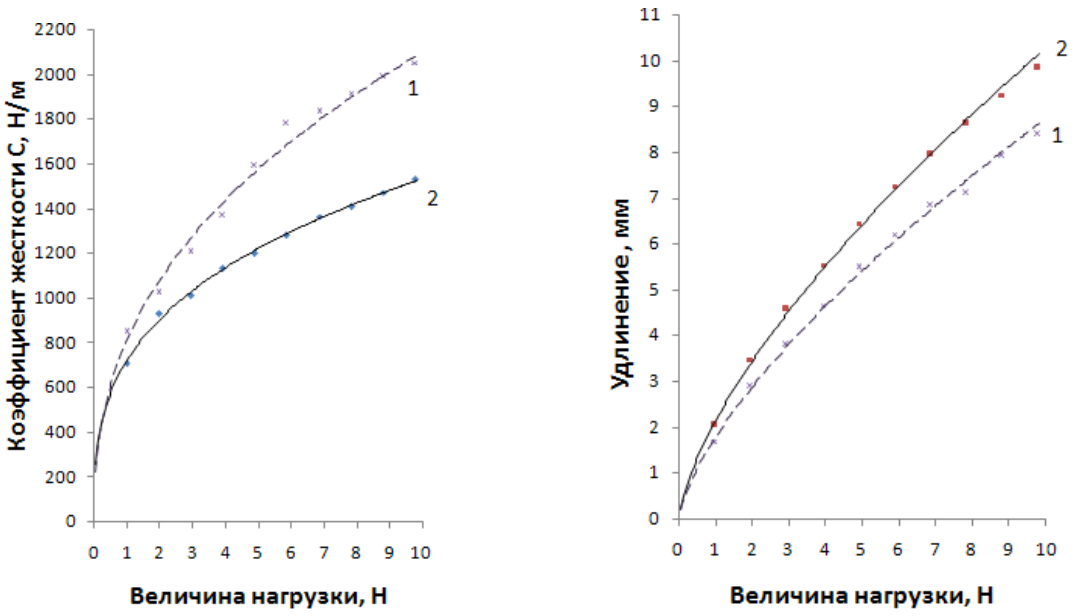
Таблица 4.1 – Характеристики льняных тканей при растяжении в условиях кратковременных нагружений

Переплетение ткани	Поверхностная плотность г/м^2	Коэффициент жесткости, $C_д$, Н/м	$\varepsilon_{общ}$, %	$\varepsilon_{упр}$, %	$\varepsilon_{эл}$, %	$\varepsilon_{вын.эл}$, %	$\varepsilon_{ост}$, %
Сатиновое	190	1166,8	16,0	6,0	2,0	3,0	5,0
Ромбовидная саржа	214	842,4	14,5	8,5	1,0	2,0	3,0
Креповое	206	2666,2	3,0	2,0	0,5	0,5	0
Саржа 2/2	175	3803,9	3,0	1,5	1,0	0,5	0

Выбирая при конфекционировании ткани разных переплетений, мы можем обеспечить высокую формоустойчивость где деформация равна нулю.

Зависимость деформационных свойств льняных тканей с различной поверхностной плотностью от величины действующей нагрузки в условиях динамического нагружения показана на рис. 4.4. Ткань с большей поверхностной плотностью имеет более высокие значения коэффициентов жесткости и меньшие значения удлинения (порядка 15%).

При производстве и эксплуатации одежды материалы, из которых она изготовлена, подвергаются многократным небольшим по величине нагрузкам. Происходящие при этом изменения размеров и формы отдельных участков швейного изделия ухудшают его внешний вид. Поэтому информация о кинетике деформационных свойств текстильных материалов представляет интерес, и может использоваться при конфекционировании и разработке новых материалов с улучшенными свойствами [193].



а б

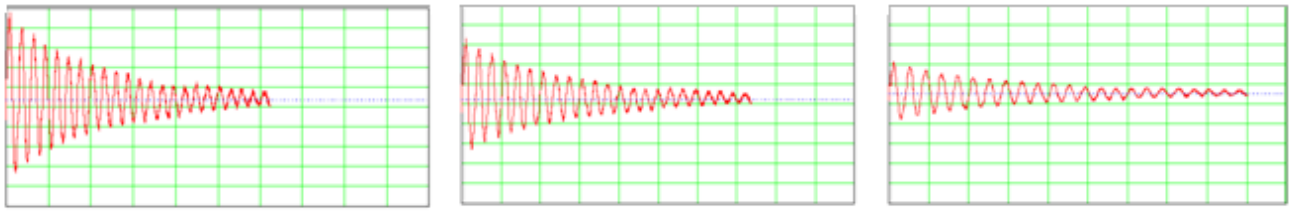
Рисунок 4.4 – Зависимость деформационных свойств льняных тканей с различной поверхностной плотностью от величины действующей нагрузки в условиях динамического нагружения: 1 – льняная ткань полотняного переплетения с Ms = 280 г/м^2;

2 – льняная ткань полотняного переплетения с Ms = 140 г/м^2

а – зависимость коэффициента жесткости от величины нагрузки;

б – зависимость деформации от величины нагрузки

Испытания по влиянию числа воздействий на деформационные свойства текстильных материалов проводились с применением разработанной методики. Общее число воздействий на пробу равнялось ста. Каждый цикл динамического растягивающего воздействия вызывает постепенное снижение амплитуды колебаний и увеличение времени колебательного процесса (рис. 4.5), и, следовательно, уменьшение коэффициента жесткости и увеличение деформации материалов.

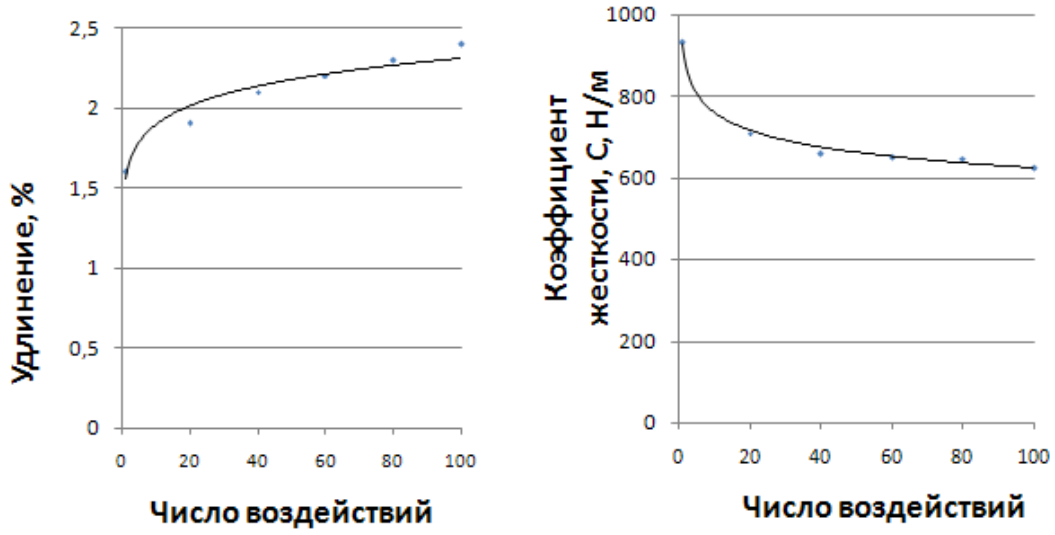


1 цикл 5 цикл 10 цикл

Рисунок 4.5 – Кривые свободных колебаний системы «проба – груз» после различных циклов воздействия на пробу

Влияние числа воздействий на деформационные характеристики льняной ткани в динамическом режиме нагружений показано на рис. 4.6. Общее изменение указанных характеристик составило порядка 30 %.

Так как изделия при эксплуатации, как правило, находятся в постоянно изменяющихся атмосферных условиях были проведены исследования по влиянию влаги на деформационные свойства материалов. Установлено, что увеличение относительной влажности приводит к снижению способности к сохранению формы как ткани, так и пакетов одежды (рис. 4.7). Вода выступает в роли пластификатора.



а б

Рисунок 4.6 – Влияние числа воздействий на деформационные характеристики льняной ткани в динамическом режиме нагружений

а – зависимость деформации от числа воздействий;

б – зависимость коэффициента жесткости от числа воздействий

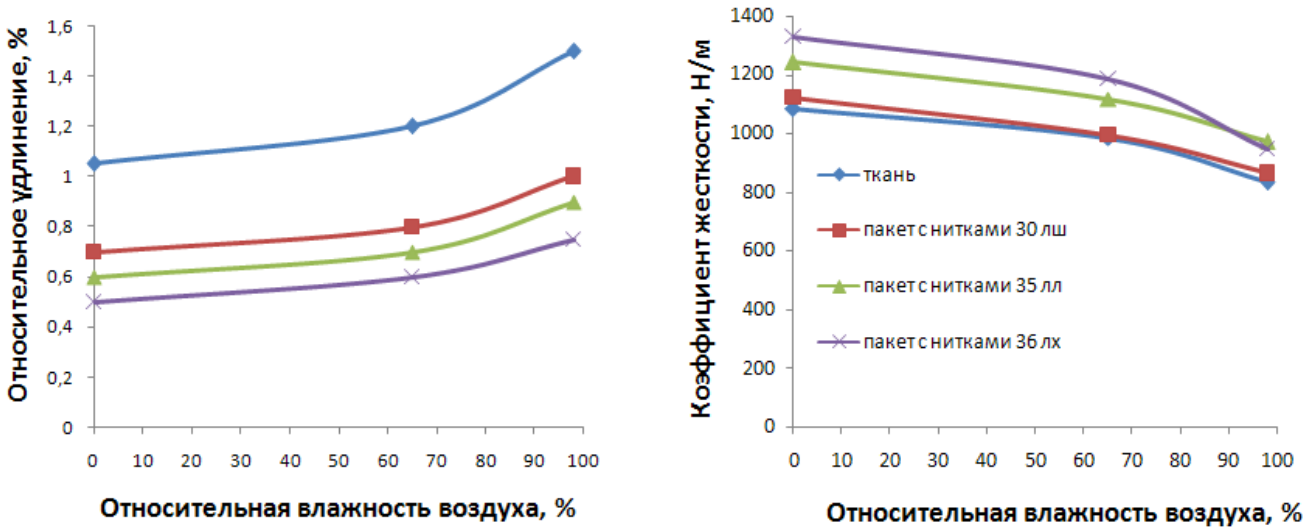


Рисунок 4.7 – Влияние относительной влажности воздуха на деформационные характеристики ткани и пакетов одежды в динамическом режиме нагружений

Наибольшее изменение деформационных свойств наблюдается с ростом влажности от 65 до 98%. Общее увеличение деформации составляет порядка 40%, а снижение жесткости – 30 %.

4.2. Термомеханические исследования материалов

Общими недостатками конструкций всех приборов [54] для изучения термомеханических свойств по термомеханическим кривым (ТМК) являются: нелинейный характер увеличения температуры, отсутствие возможности поддержания постоянной скорости нарастания температуры, низкая точность измерений, обусловленная визуальным отсчетом деформации, устаревшие электронные компоненты, низкие надежность, информативность и автоматизация эксперимента.

Для реализации возможности регистрации термомеханических кривых (ТМК) и определения свойств при растяжении под действием температуры, характерной для режимов влажно-тепловой обработки материалов (ВТО), разработана методика и автоматизированная система для ее реализации, которая может быть использована для нитей, полотен [126, 127, 168].

Измерительная система объединяет в себе три блока: блок автоматического задания, контроля и регулирования температуры; блок автоматического измерения деформации пробы; блок автоматической регистрации и обработки результатов исследований.

Структурная схема (рис. 4.8) разработанной автоматизированной системы содержит: термокамеру (ТК), где размещены испытываемая проба (ИП), термоэлектрический преобразователь (ТХК), дифференциальный индуктивный датчик деформации (ИД) с диапазоном измерения 30 мм, нагревательный элемент (НЭ); электронный автоматический потенциометр (КСП-4), используемый для получения стандартного унифицированного аналогового сигнала значения температуры; схема преобразования и усиления сигнала (СПС); устройство управления (УУ), включающее коммутатор аналоговых сигналов, аналого-цифровой преобразователь, дешифратор, программируемый параллельный интерфейс для сопряжения с ЭВМ.

Внешний вид автоматизированной измерительной системы, входящей в измерительный комплекс, показан на рис. 4.9.

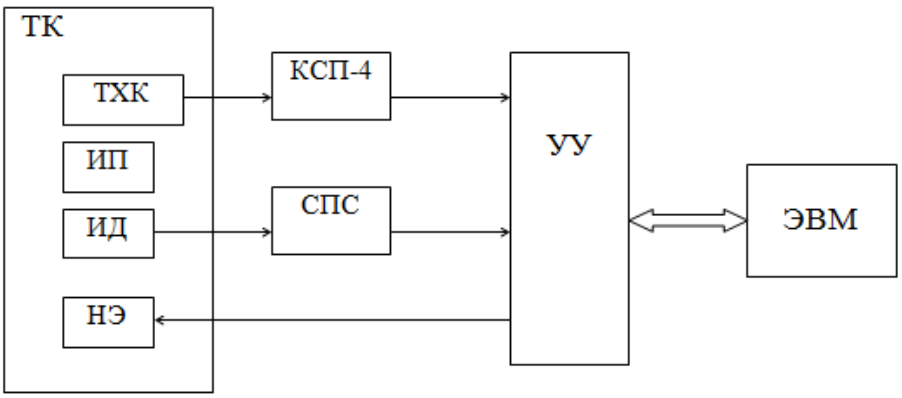


Рисунок 4.8 – Структурная схема автоматизированной измерительной системы для термомеханических исследований материалов

Измерение деформации происходит через определение величины линейного перемещения пробы. Особое внимание в данных условиях уделено выбору датчика. Преобразователь должен быть невосприимчив к высокой температуре.

Рисунок. 4.9 – Внешний вид автоматизированной измерительной системы, входящей в измерительный комплекс

Учитывая особенности измерений – повышенную температуру, малый диапазон перемещений – наиболее приемлемым является электромагнитный принцип преобразования индуктивного датчика.

Используемый индуктивный датчик [128] характеризуется высокой чувствительностью, точностью, линейностью, надежностью, отсутствием механического износа, нечувствительностью к колебаниям температуры, простотой конструкции. Применение дифференциальной схемы включения обмоток датчика позволило максимально приблизить его характеристику к линейной. Относительная погрешность линейности преобразователя составляет 1 %.

Для обеспечения линейного нагрева применяется система регулирования температуры с обратной связью, что позволяет осуществлять нагрев в соответствии с заданной программой, непрерывно сверяясь с достигнутым уровнем температуры.

Скорость нагрева линейна на всем протяжении эксперимента. Величина скорости может быть избрана с учетом кинетики процессов, имеющих место в ходе опыта.

Термокамера (рис. 4.10) представляет собой керамическую трубку 9 диаметром 68 мм и длиной 300 мм, нагревательный элемент 5 (обеспечивает рабочую температуру внутри термокамеры до 300 ^{o}C), вокруг нагревательного элемента находится теплоизоляционный слой 4, сверху камеры – теплоизоляционная крышка 6.

К крышке крепится термоэлектрический преобразователь 8. Испытываемая проба 10 закрепляется в верхнем неподвижном зажиме 7 и нижнем подвижном зажиме 3. Индуктивный датчик 1 измеряет деформацию пробы. Съемный груз 11, создающий постоянную нагрузку, крепится к нижнему зажиму с помощью съемной штанги 2.

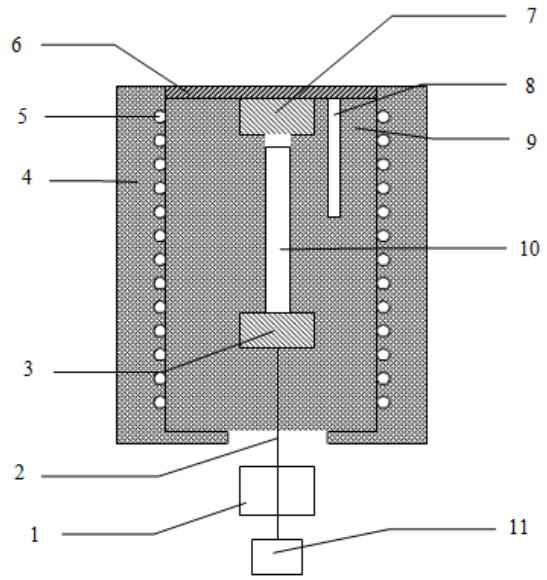


Рисунок 4.10 – Схема термокамеры для термомеханических исследований

Эксперимент возможно проводить в интервале температур от 20 ^{o}C и до температуры разрушения пробы.

Последовательность проведения испытаний реализуется по алгоритму (рис. 4.11).

Весь процесс проведения эксперимента и обработки результатов испытаний осуществляется специально разработанной управляющей программой «Heat» [129].

Результаты испытаний материалов автоматически сохраняются в файле данных и отображаются на дисплее в виде ТМК в режиме реального времени (рис. 4.12).

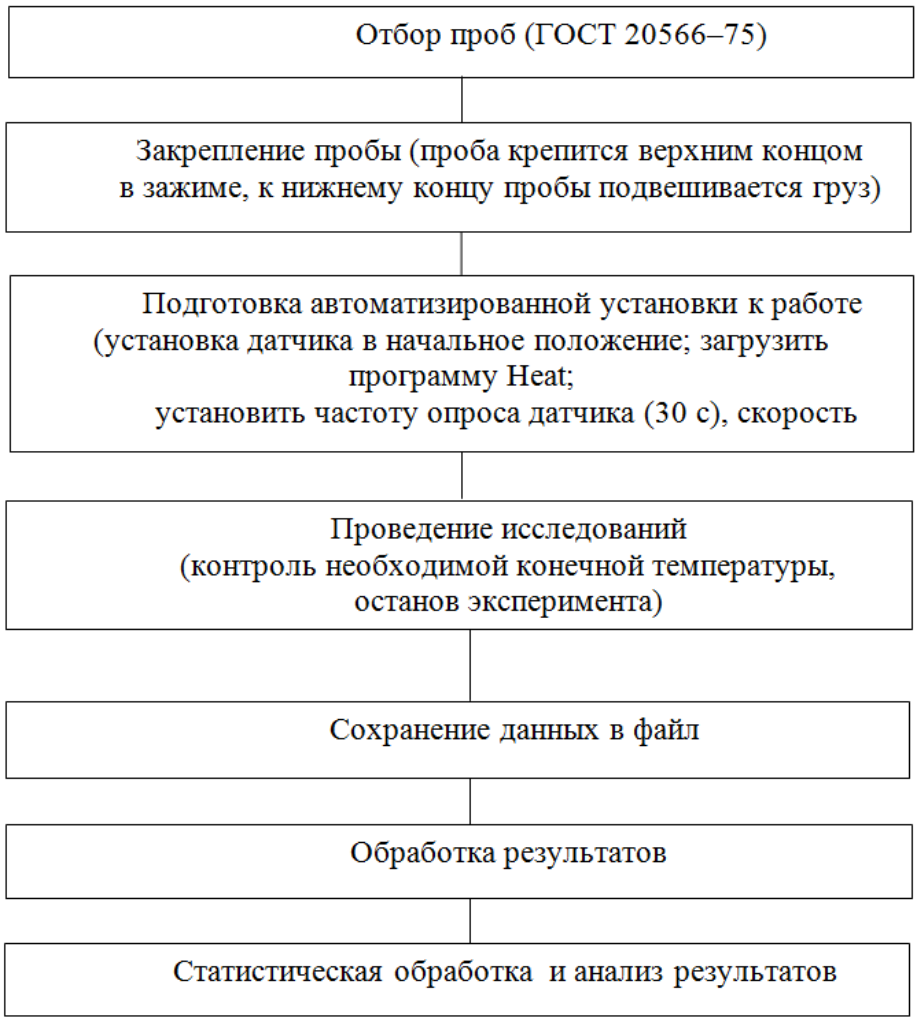


Рисунок 4.11 – Алгоритм проведения термомеханических исследований

Преимуществом разработанного автоматизированного устройства и методики является то, что существенно снижаются затраты времени на подготовку и проведение эксперимента. Возможно изучение термомеханических свойств тканей, трикотажных и нетканых полотен, кожи, пряжи, швейных нитей, систем материалов. Кроме того, устройство работает в

комплекте с ЭВМ, что позволяет автоматизировать математическую обработку результатов измерений, выдавать их в виде термомеханических кривых, создавать базу данных по предмету исследований.

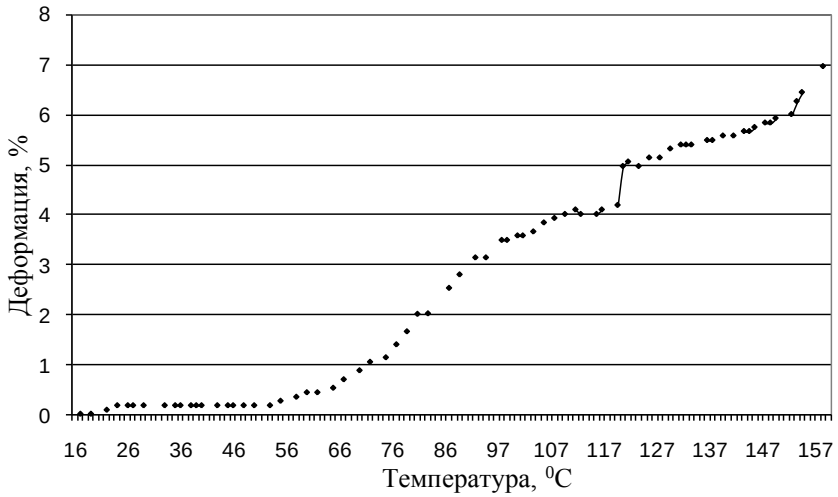


Рисунок 4.12 – Экспериментальная термомеханическая кривая зависимости деформации швейных ниток 35 ЛЛ при нагрузке 1 даН и скорости нагревания 2 град/мин

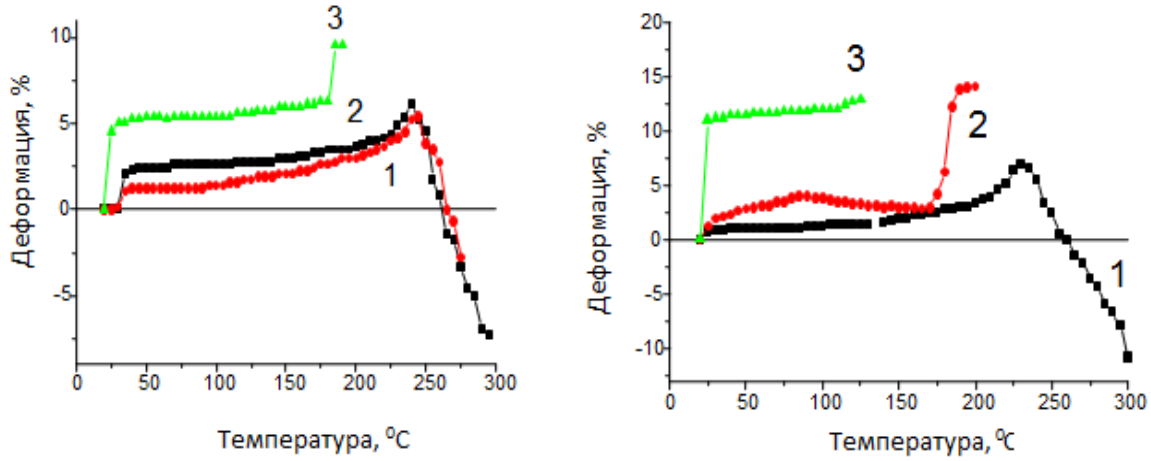
Анализ ТМК материалов позволяет получить довольно широкую информацию о характере изменения свойств материалов при воздействии тепла и деформирующих сил [130, 131]. Изучая ТМК различных материалов, можно выявить зависимость их термодеформационных свойств от волокнистого состава.

Проведенные термомеханические исследования льняной ткани при напряжениях 0,1; 1 и 10 МПа показали, что характер получаемых кривых для льняных материалов сходен с ТМК аморфно-кристаллического полимера (рис. 4.13). Однако особенностью льняных материалов являются высокое значение температуры стеклования $T_{ст} \approx 180…200^{o}C$ и отсутствие зоны текучести, выше $T_{ст}$ начинается разложение материала, что является характерным для целлюлозного материала (рис. 4.13). Отсутствие зоны текучести приводит к тому, что целлюлозные материалы по сравнению с другими полимерами обладают низкими термодеформационными свойствами. Температура

разложения льняных материалов $T_{разл}$ = 220…250 °С, но уже при температуре (140 ± 20) °С наблюдается необратимое изменение свойств – изменение цвета.

Кроме того, для льняных материалов не характерно проявление самопроизвольной усадки, отрицательный характер деформации наблюдается на ТМК чистольняных тканей при их разрушении, а именно при спекании проб. При повышении напряжения материала увеличивается их деформационная способность, а основные температуры релаксационных переходов смещаются в сторону уменьшения.

Для швейных ниток в зависимости от величины напряжения возможно проявление как растяжения, так и усадки (рис. 4.14) [146–148].



а б

Рисунок 4.13 – ТМК чистольняной ткани полотняного переплетения при разных напряжениях: а – основа; б – уток;
1 – при напряжении 0,1 МПа; 2 – при напряжении 1 МПа;
3 – при напряжении 10 МПа

Методика оценки деформационных характеристик растяжения материалов при температурных воздействиях требует больших затрат времени на эксперимент: 1 ч – для нагревания пробы, 2 ч – для остывания прибора перед следующим экспериментом и реализует статический характер испытаний.

Значения деформации, полученные при длительном нагружении, оказываются завышенными и не полностью характеризуют поведение материалов в технологических условиях швейного производства.

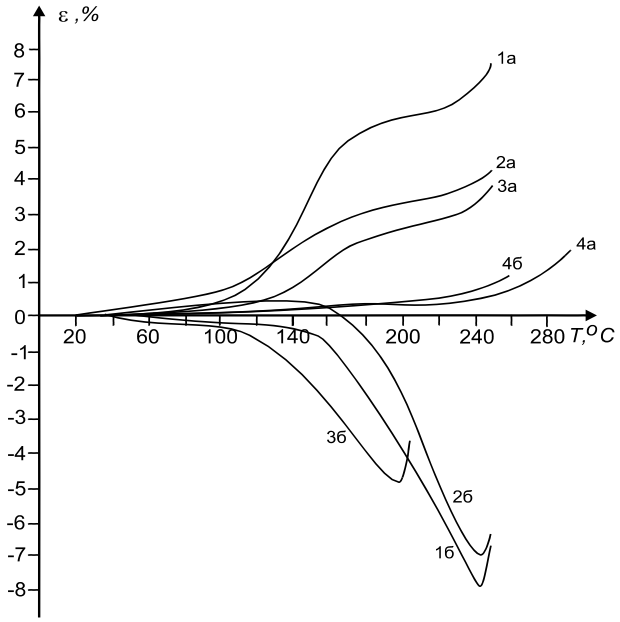


Рисунок 4.14 – ТМК швейных ниток на воздухе при напряжении 0,1 МПа (а), 0,01 МПа (б) и скорости подъема температуры 5 ^{0}С/мин:

1 – армированные полиэфирные 45ЛЛ;

2 – армированные хлопколавсановые 44ЛХ;

3 – комплексные лавсановые 33ЛЛ;

4 – хлопчатобумажные 40

Для технологического процесса изготовления швейных изделий характерно воздействие кратковременных нагрузок. При кратковременном нагружении преобладают обратимые составляющие релаксационного процесса, а остаточные деформации не успевают накапливаться.

Разработанный метод оценки деформационных свойств материалов при температурном и кратковременном механическом воздействии имитирует реальные условия технологического процесса [149]. Метод включает динамическое воздействие груза на образец в термокамере при постоянной высокой температуре, характерной для режимов влажно-тепловой обработки данного текстильного материала и реализуется на разработанной автоматизированной системе (см. рис. 4.9).

Пробу испытуемого материала подвергают кратковременному механическому нагружению в термокамере и отдыху при климатических условиях.

Сравнение результатов исследования деформационных свойств динамическим методом определения релаксационных характеристик текстильных материалов при растяжении при нормальных условиях (без воздействия температуры) (см. п.4.1), методом ТМА и предлагаемым методом свидетельствует о целесообразности использования разработанного метода для прогнозирования технологичности материалов (рис. 4.15).

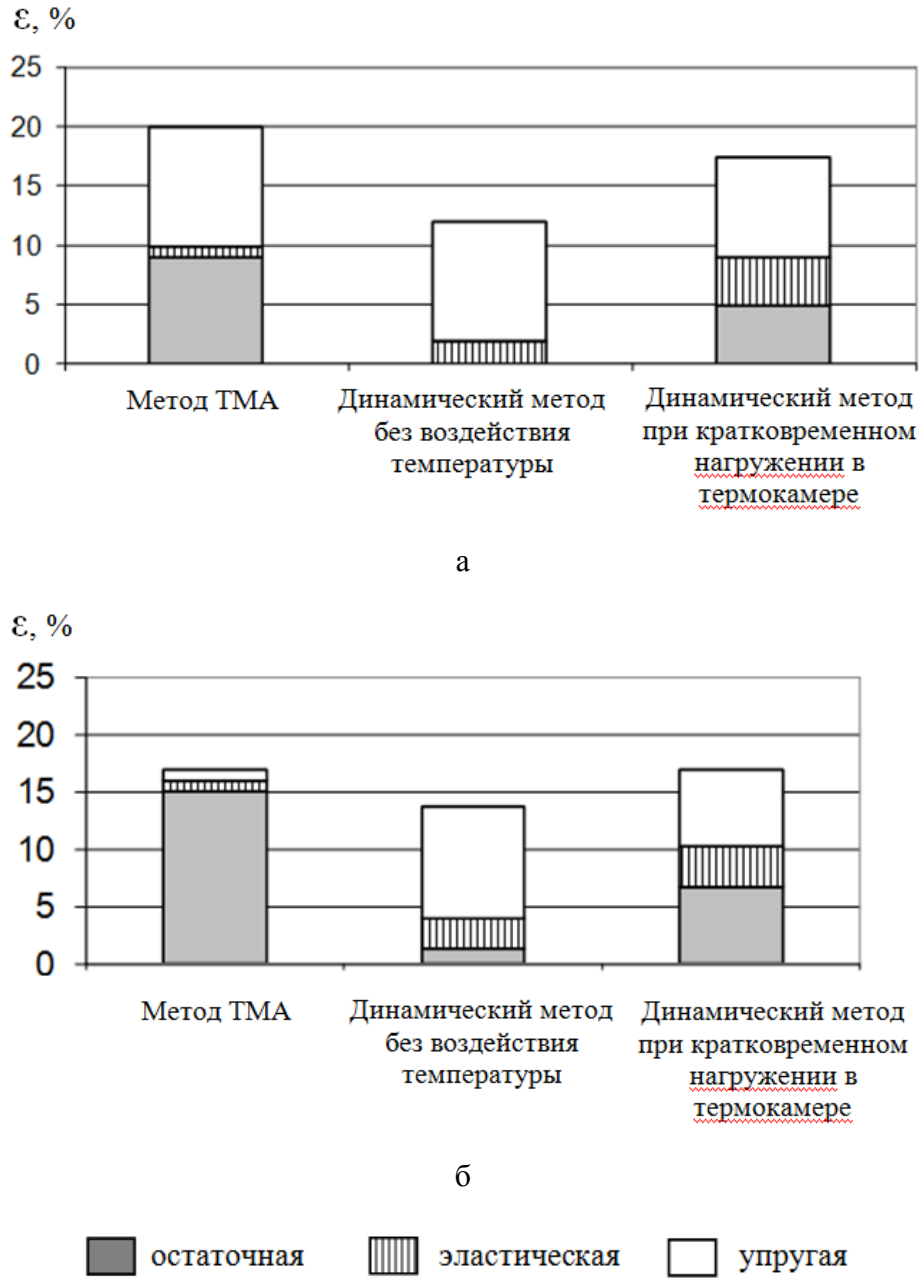


Рисунок 4.15 – Диаграммы деформаций при 10МПа определенных разными методами: а – льняной ткани; б – швов

Метод универсален и применим к тканям и швам. Метод оценки деформационных свойств тканей и пакетов одежды при температурном воздействии и кратковременном позволяет осуществлять рациональный выбор материалов на швейные изделия.

4.3. Расчет динамической погрешности измерительного канала

Динамические (частотные) погрешности аналоговых приборов (первичных преобразователей, усилителей) принято нормировать указанием их амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) [142]. Располагая частотной характеристикой прибора, можно найти динамическую погрешность для любого значения частоты регистрируемого процесса.

Частота свободных (собственных) колебаний чувствительного элемента (балки) автоматизированного устройства для растяжения материалов в динамических условиях (см. рис. 4.2) составляет приблизительно 700 Гц (рис. 4.16).

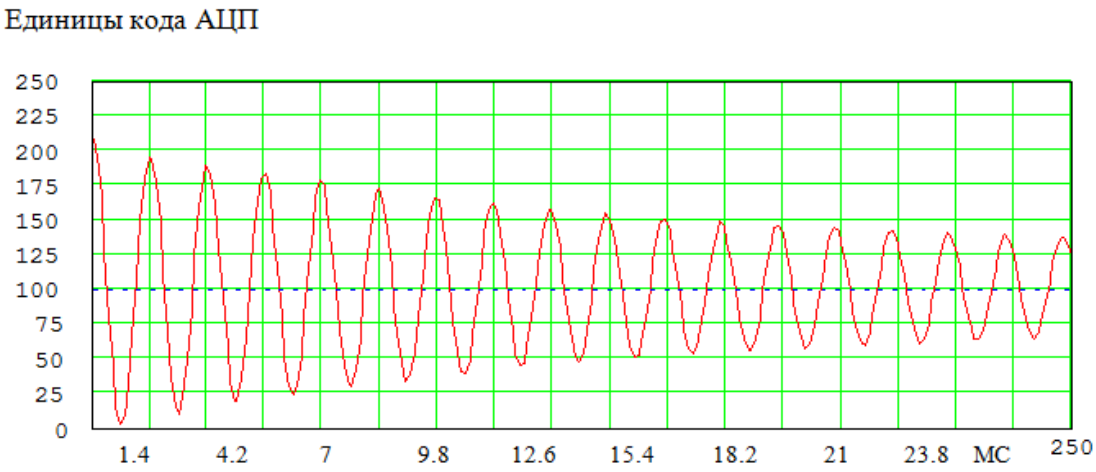


Рисунок 4.16 – Кривая свободных колебаний чувствительного элемента (балки)

По кривой свободных затухающих колебаний определим логарифмический декремент затухания:

$$\lambda = \ln\left(\frac{A_1}{A_3}\right) = 0.077, \qquad (4.13)$$

где: A_1 и A_3 - амплитуды первого и третьего колебаний.

Показатель затухания:

$$\beta = \frac{\lambda}{\pi} = 0.025. \tag{4.14}$$

Получим амплитудно-частотную характеристику балки и определим величину погрешности в динамике. Коэффициент динамичности [145]:

$$Y = \frac{1}{\sqrt{(1-\xi^2)+\xi\cdot(\beta)^2}}, \tag{4.15}$$

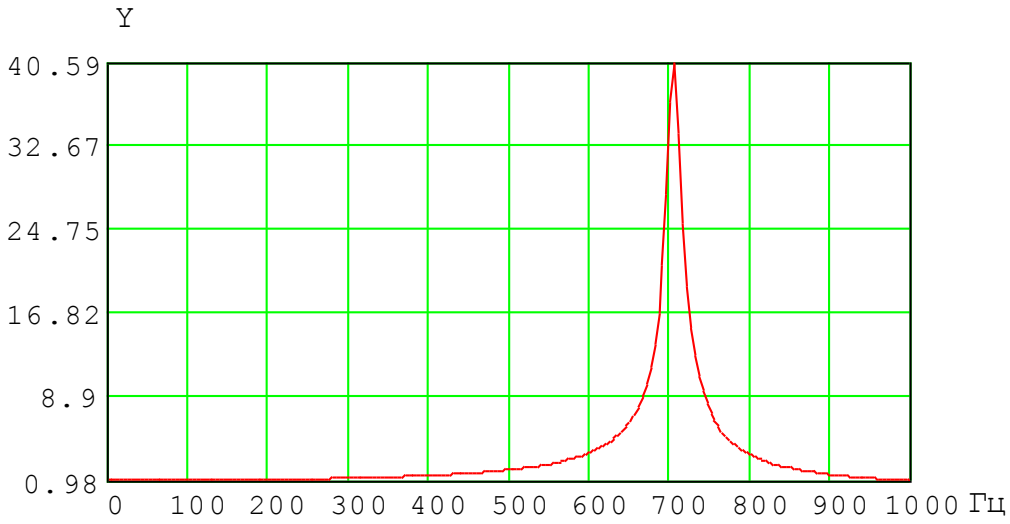
где β – показатель затухания;

$\xi = \frac{f}{f_0}$,

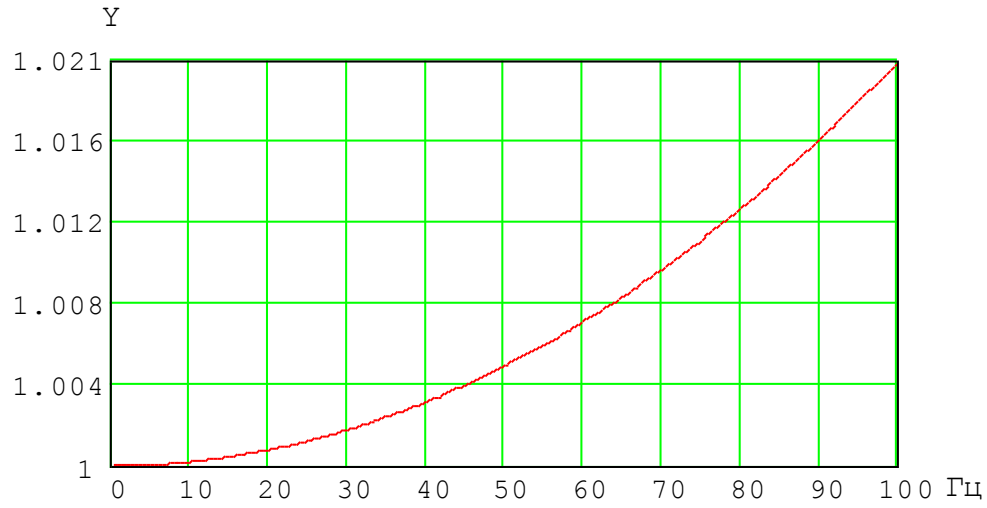
f – частота вынуждающих колебаний;

f_0 – частота собственных колебаний балки.

График амплитудно-частотной характеристики показан на рис. 4.17. Погрешность, вносимая самой балкой, зависит от частоты вынуждающих колебаний (измеряемого процесса). Коэффициент динамичности Y определяет погрешность. На частоте измеряемого процесса 700 Гц происходит резонанс и погрешность максимальная (рис. 4.17а). Если частота измеряемого процесса, например 100 Гц, то погрешность, вносимая чувствительным элементом датчика, будет 2,01% (рис. 4.17б).



а)



б)

Рисунок 4.17 – Амплитудно-частотная характеристика чувствительного элемента

а) – общий вид кривой;

б) – начальный участок кривой.

Частотную погрешность воспринимающего чувствительного элемента (балки) можно также приближенно рассчитать по формуле [142]:

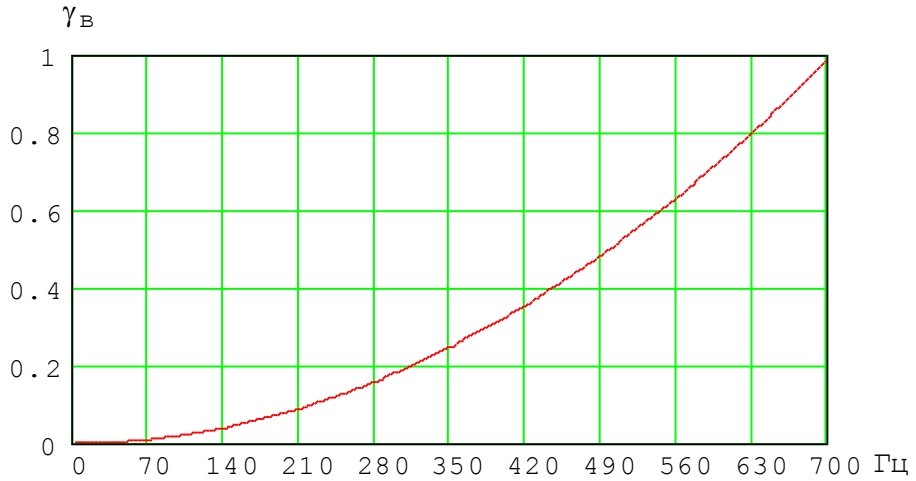
$$\gamma_в \approx (1-2\beta^2)\cdot(\frac{f}{f_0})^2, \qquad (4.16)$$

где β – показатель затухания чувствительного элемента;

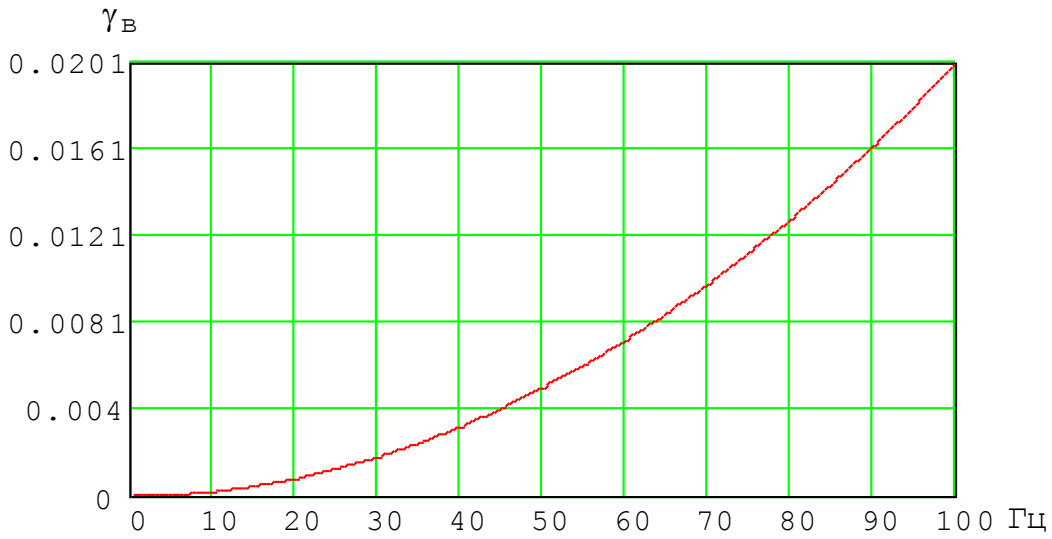
f_0 – собственная частота чувствительного элемента;

f – частота измеряемого процесса.

График частотной погрешности воспринимающего ЧЭ показан на рис. 4.18.



а)



б)

Рисунок 4.18 – Частотная погрешность воспринимающего чувствительного элемента по формуле (4.16)

а) погрешность при резонансной частоте 700 Гц;

б) начальный участок кривой.

На резонансной частоте измеряемого процесса 700 Гц частотная погрешность максимальная и равна 100% (см. рис. 4.18а), на частоте 100 Гц погрешность составляет приблизительно 2% (см. рис. 4.18б), что сходится с определением погрешности по АЧХ (рис. 4.17).

Частотная погрешность апериодических преобразователей, например, го усилителя постоянного тока (УПТ), может быть приближенно выражена [142] как:

$$\gamma_f \approx \frac{1}{2} \cdot (\frac{f}{f_c})^2, \qquad (4.17)$$

где $f_c = (2\pi\tau)^{-1}$ – частота среза частотной характеристики;

τ – постоянная времени, определяемая фильтром низкой частоты.

Частотные характеристики УПТ главным образом определяются цепочкой резистор–конденсатор (RC), которая выполняет роль пассивного фильтра нижних частот. Номиналы R и C подобраны таким образом, что частотная погрешность γ_f при частоте входного сигнала 1000 Гц составляет 0,39% (рис. 4.19).

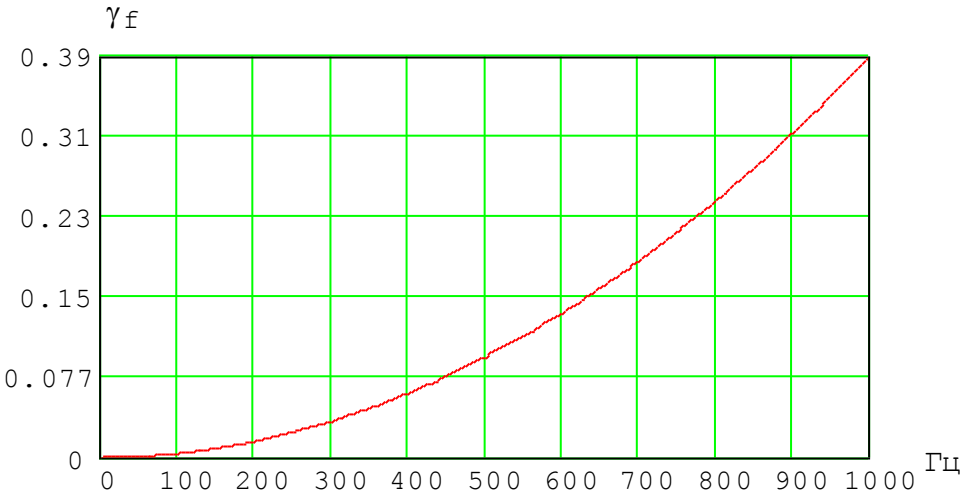


Рисунок 4.19 – Амплитудно-частотная характеристика нормирующего усилителя

При регистрации сигнала аналого-цифровыми устройствами (АЦП) приведенное значение динамической погрешности восстановления измеряемого сигнала можно определить по формуле [142]:

$$\gamma_{АЦП} = \frac{\pi^2}{2} \cdot t_0^2 \cdot f^2 \cdot 100\%, \qquad \text{(п.4.6)}$$

где f – частота измеряемого процесса;

t_0 – период дискретизации АЦП.

Во всех разработанных автоматизированных устройствах применяются быстродействующие АЦП с периодом дискретизации 1,5 мкс и 30 мкс. Динамическая погрешность восстановления измеряемого сигнала $\gamma_{АЦП}$ частотой 1000 Гц будет составлять 0,0011% и 0,44% соответственно.

Динамическая погрешность УПТ и АЦП ничтожно мала по сравнению с динамической погрешностью воспринимающего чувствительного элемента, следовательно, динамическая погрешность измерительного канала автоматизированного устройства обусловлена частотной погрешностью воспринимающего чувствительного элемента (балки).

Выводы по главе

1. Разработан метод определения деформационных свойств при растяжении текстильных материалов в условиях кратковременных нагружений, позволяющий оценить комплекс характеристик.
2. Метод реализуется с помощью автоматизированной измерительной системы, которая входит в измерительный комплекс оценки свойств текстильных материалов. Программное обеспечение позволяет проводить испытания в режиме реального времени, что обеспечивает высокую точность проведения эксперимента.
3. Исследования одноцикловых характеристик льняных тканей в динамических условиях растяжения показали влияние характеристик строения на деформационные свойства тканей.
4. Разработана методика и автоматизированная система для реализации возможности регистрации термомеханических кривых и определения свойств при растяжении под действием температуры, характерной для режимов влажно-тепловой обработки материалов, которая может быть использована для нитей, полотен и систем материалов.
5. Разработан метод оценки деформационных свойств материалов при температурном и кратковременном механическом воздействии, имитирующий реальные условия технологического процесса.
6. Метод оценки деформации при кратковременном нагружении и температурном воздействии и полученные зависимости являются экспресс-методом оценки термодеформационных свойств и рекомендуется взамен ТМА, осуществляемого при длительном статическом нагружении.
7. Разработана методика определения динамической погрешности измерительного канала автоматизированных систем и устройств.

8. Исследованиями установлено, что разработанные методы и автоматизированные системы позволяют оценить влияние характеристик строения полотен на их деформационные и термодеформационные свойства и рационально осуществлять конфекционирование материалов.

5. РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ И ЭКСПЛУТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ

Для успешной реализации цифровизации конфекционирования автоматизированный измерительный комплекс наряду с разработанными измерительными системами для определения свойств при изгибе, сдвиге, растяжении, дополнен автоматизированными устройствами к стандартному оборудованию, например, к разрывным машинам и приборам, реализующим испытания по общепринятым методам. К тому же создание новых измерительных систем довольно затратно и материально и по времени, поэтому актуальна разработка автоматизированных устройств для более эффективного использования существующего стандартного оборудования.

5.1. Определение коэффициента тангенциального сопротивления методом Эдерлея

Для реализации возможности испытаний на трение при поступательном перемещении соприкасающихся плоскостей разработано автоматизированное устройство к разрывной машине РМ-3. Впервые этот принцип испытаний был реализован Эдерлеем на приборе для волокон [169].

Метод широко использован исследователями при применении насадки к разрывным машинам. Метод был усовершенствован в ивановском текстильном институте В. В. Талепоровской, предложившей специальный зажим в виде насадки к разрывной машине для испытания волокон и нитей [8]. Существенными недостатками данного устройства являются: отсутствие постоянства давления, низкая точность и информативность измерений, обусловленная механической конструкцией спецприспособлений, полное отсутствие современных средств измерений, автоматизации и регистрации результатов испытаний.

Для определения силы тангенциального сопротивления текстильных материалов разработано запатентованное автоматизированное устройство измерения на основе модернизированной насадки к разрывной машине [132].

Структурная схема автоматизированного устройства содержит (рис. 5.1): два датчика измерения усилий, состоящих из тензочувствительных элементов (ЧЭ 1, ЧЭ 2), которые закреплены на верхнем и нижнем зажимах разрывной машины, и двух нормирующих усилителей (НУ 1, НУ 2), создающих нормированный сигнал, пропорциональный усилию. Датчики подключаются к устройству сопряжения (УС) с ЭВМ, где происходит преобразование поступающих с измерителей аналоговых сигналов в цифровой код. Для этих целей используется аналоговый коммутатор (АК) и аналого-цифровой преобразователь (АЦП). По шине связи происходит передача цифровой информации в ЭВМ для ее дальнейшей обработки и преобразования. По этой же шине от ЭВМ к УС поступают управляющие сигналы, которые обеспечивают работу УС в необходимом режиме [133].

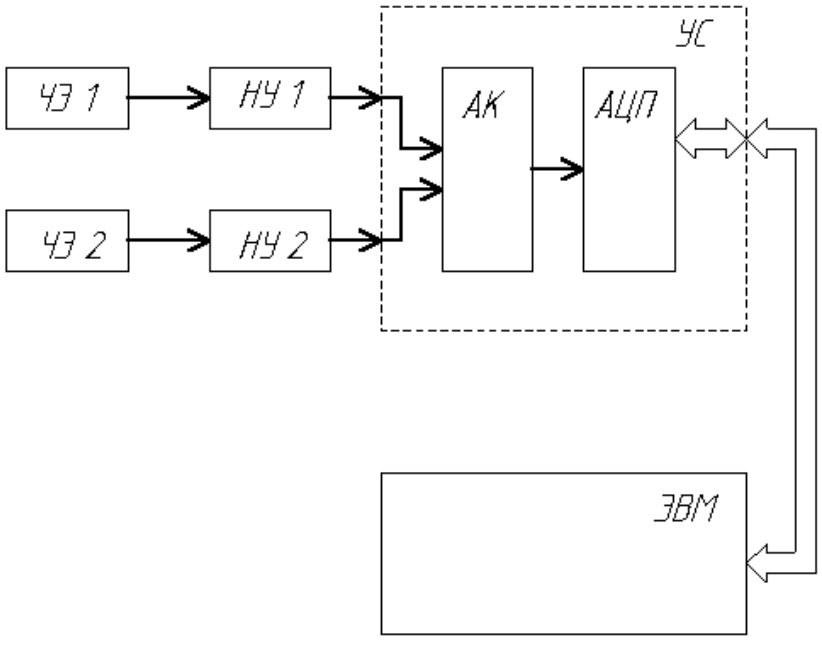


Рисунок 5.1 – Структурная схема автоматизированного устройства

Конструкция модернизированной насадки к разрывной машине для определения силы тангенциального сопротивления текстильного материала представлена на рис. 5.2.

На подвижном штоке 9 разрывной машины 1 расположен нижний зажим 8, состоящий из правой жесткой и левой упругой пластин. На упругой пластине закреплен тензочувствительный элемент 7 нижнего датчика усилия. Благодаря этому датчику экспериментатор может установить необходимое усилие сжатия проб ткани при помощи винта 5. На верхней части корпуса разрывной машины закреплен неподвижный датчик усилия 3 с тензочувствительным элементом 2. В зажиме этого датчика крепится проба материала 4. При этом проба находится между поверхностями 6, покрытыми испытываемым материалом. Винтом 5 задается усилие давления на пробу, отслеживаемое с помощью тензочувствительного элемента 7. При опускании штока разрывной машины с нижним зажимом верхний неподвижный тензочувствительный элемент 2 зафиксирует усилие выдергивания пробы материала из зажима. По значениям усилий с обоих датчиков определяется коэффициент тангенциального сопротивления по формуле

$$KTC = \frac{P}{2N}\ , \qquad (5.1)$$

где P – усилие разрывной машины по вытаскиванию пробы из зажимов;

N – сила нормального давления щечек зажимов на пробу.

Перед проведением эксперимента производится тарировка устройства с помощью эталонных мер веса, коэффициент преобразования заносится в управляющую программу.

Расчет метрологических характеристик измерительных каналов автоматизированного устройства произведен по методике (см. п. 2.2). Устройству присвоен класс точности 2,5. Исследование линейности статических характеристик датчиков усилия приведено в приложении 3.

Разработанное программное обеспечение позволяет получать, обрабатывать и предоставлять экспериментальные данные в удобном пользователю виде. На рис. 5.3 показаны экспериментальные кривые усилий при исследовании льняной костюмной ткани. По графикам (рис. 5.3) усилие разрывной машины по вытаскиванию пробы из зажимов P = 58 сН, сила

нормального давления щечек зажимов на пробу N = 48 сН. Коэффициент тангенциального сопротивления согласно формуле (5.1) составил 0,604.

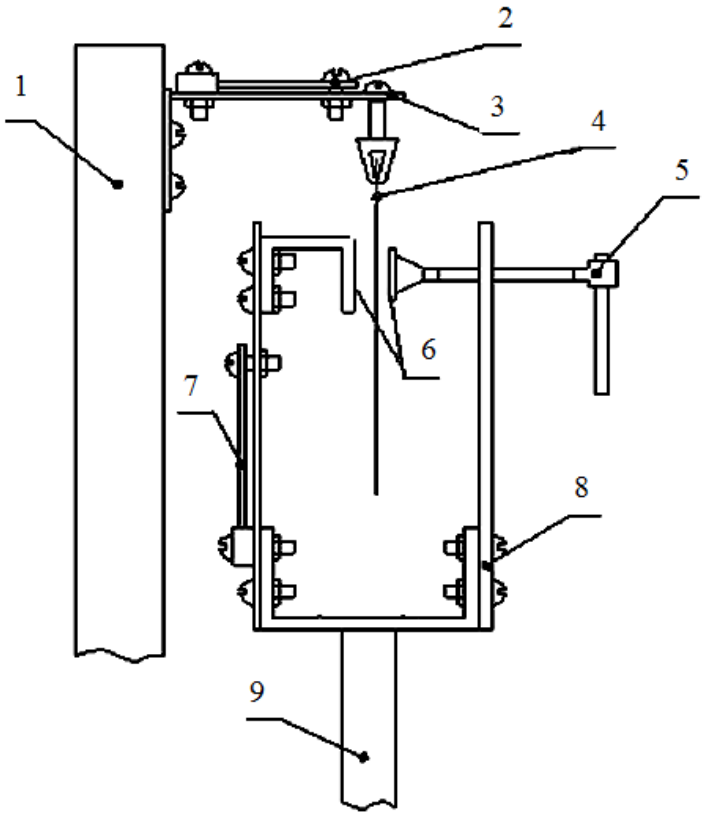
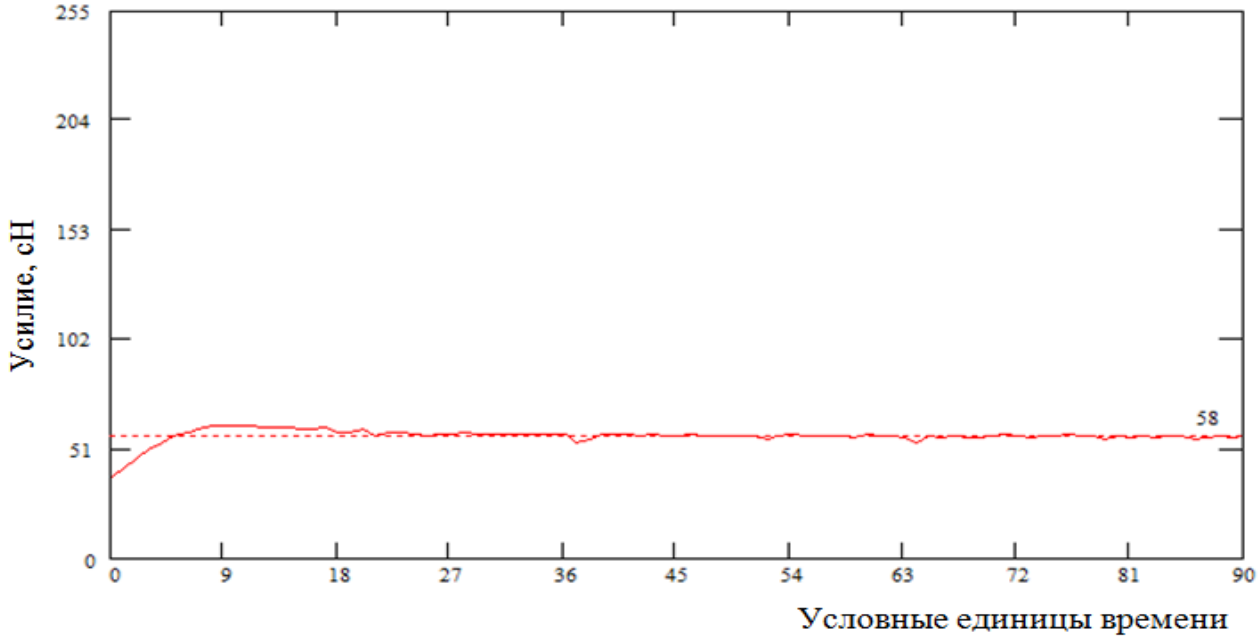
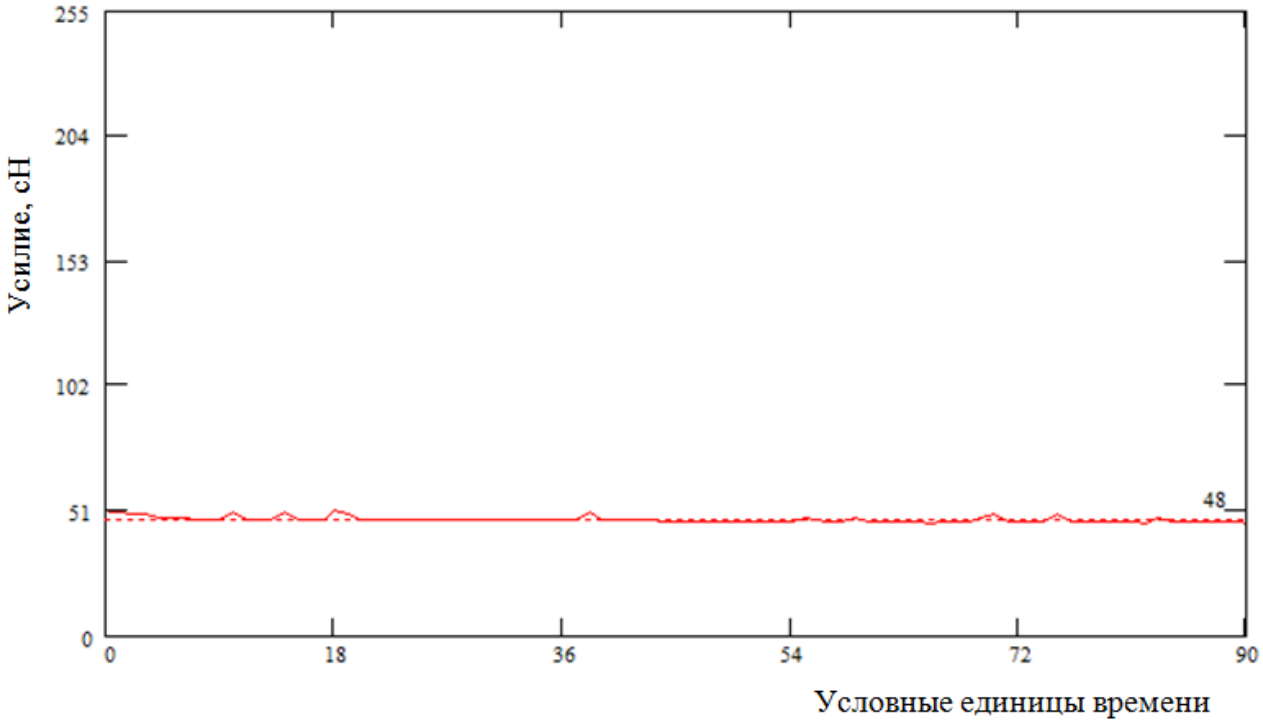


Рисунок 5.2 – Конструкция модернизированной насадки к разрывной машине для определения силы тангенциального сопротивления текстильных материалов

Разработанное автоматизированное измерительное устройство позволяет проводить эксперименты по исследованию трения текстильных материалов в диапазоне усилий до 3 кгс и обеспечивает возможность определения численного значения коэффициента тангенциального сопротивления.



а



б

Рисунок 5.3 – Экспериментальные кривые усилий при исследовании льняной костюмной ткани:

а – значения верхнего датчика;

б – значения нижнего датчика

5.2. Определение осыпаемости тканей

Определение осыпаемости ткани согласно ГОСТ 3814–81 для тканей хлопчатобумажных и остальных (кроме хлопчатобумажных) осуществляется по разным методикам [134], что не позволяет проводить сравнительный анализ. Только для хлопчатобумажных тканей разработана количественная градация осыпаемости.

С целью разработки унифицированной методики, реализуемой для разных по волокнистому составу тканей, разработано автоматизированное устройство к разрывной машине для определения усилия сбрасывания двухмиллиметрового слоя нитей [135].

Структурная схема автоматизированного устройства показана на рис. 5.4. На подвижном штоке 1 разрывной машины 2 закреплена гребенка 3, которая прокалывает слой пробы 4 на уровне двух миллиметров от края. Проба 4 закрепляется в зажиме 5, который установлен на конце упругой пластины с тензочувствительным датчиком 6.

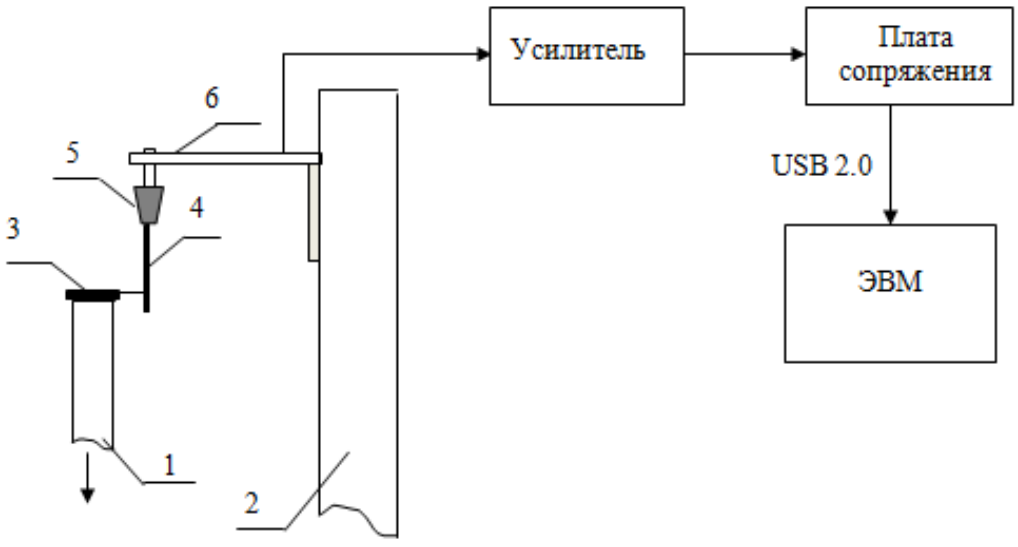


Рисунок 5.4 – Структурная схема автоматизированного устройства для определения усилия сбрасывания двухмиллиметрового слоя нитей

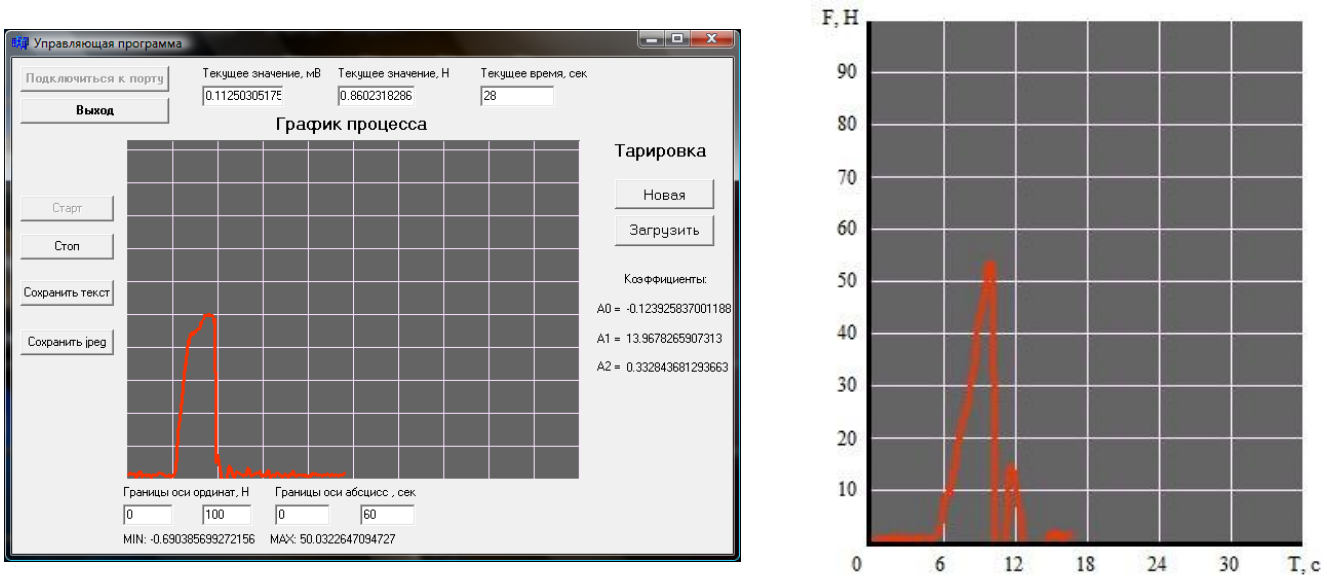
Измерение усилия сбрасывания нитей производится в следующей последовательности: при движении штока 1 вниз тензочувствительный датчик

фиксирует усилие, передает сигнал на усилитель и далее плата сопряжения, содержащая быстродействующее АЦП, передает сигнал по USB-каналу связи в компьютер.

Перед проведением эксперимента производится тарировка устройства, коэффициент усиления заносится в управляющую программу. По методике (см. п.2.2) произведен расчет метрологических характеристик измерительного канала автоматизированного устройства, устройству присвоен класс точности 2,5. Погрешность линейности датчика усилия рассчитана по методике (приложение 3).

Апробация автоматизированного устройства на тканях различного волокнистого состава показала чувствительность и достоверность измерений для легкоосыпаемых шелковых и льняных тканей (табл. 5.1).

Автоматизированное устройство функционирует под управлением специально разработанной программы «Durability» [136]. Программа формирует файл данных и выводит их на экран монитора (рис. 5.5). Максимум на кривой показывает значение усилия сбрасывания, которое характеризует осыпаемость.



а б

Рисунок 5.5 – Интерфейс программы «Durability»:

а – диалоговое окно управляющей программы;

б – графическое представление усилия сбрасывания во времени

Таблица 5.1 – Осыпаемость льняных тканей

Вид ткани	Переплетение	Линейная плотность нитей, текс		Количество нитей на 10 см		Усилие сбрасывания, даН	
		$T_о$	$T_у$	$П_о$	$П_у$	$Р_о$	$Р_у$
Льняная	Полотняное	38	60	170	120	0,81	1,27
Льняная	Саржевое	38	100	170	120	0,51	0,72
Льняная	Креповое	38	60	170	140	0,64	0,89
Льнохлопковая	Саржевое	50	68	176	162	2,57	4,83

Предложенная унифицированная методика реализует использование общепринятого показателя осыпаемости – усилия сбрасывания двухмиллиметрового слоя нитей из среза тканей, который является стандартным для хлопчатобумажных тканей и позволяет проводить сравнительные испытания различных целлюлозосодержащих тканей: хлопчатобумажных, чистольняных и льнохлопковых.

Унифицированная методика определения осыпаемости может быть успешно реализована не только для целлюлозосодержащих тканей, но и для шелковых и шерстяных.

5.3. Определение формуемости и пластичности материалов при пространственном растяжении

В процессе изготовления формованных изделий материалы получают пространственное деформирование. Остаточная (пластическая) доля деформации в результате такого растяжения будет характеризовать его формуемость.

Известные методы испытаний в значительной степени устарели и несовершенны [137, 138], поскольку с появлением новых материалов необходимо изменять параметры испытаний, применять более современные или усовершенствованные приборы и приспособления.

Для оценки формовочной способности материалов для одежды при пространственном деформировании усовершенствован метод, реализуемый с

помощью разрывной машины ИР 5074 и специального приспособления [139]. Предлагаемый усовершенствованный метод приближает условия испытаний к условиям изготовления швейных изделий способом формования и дает оценку пластичности текстильных материалов по величине остаточного приращения площади материала после пространственного деформирования и отдыха.

Стандартный метод продавливания шариком для оценки прочности и растяжимости трикотажных полотен и нетканых материалов реализуется на разрывной машине, зажимы которой заменены специальным приспособлением. Метод не определяет автоматически остаточную деформацию после снятия напряжения. Усилие, создаваемое при растяжении, определяется механически силоизмерителем маятникого типа, что снижает точность измерений, отсутствует регистрация полученных данных.

В усовершенствованном методе используется проба круглой формы, внешний срез которой укрепляется бумажным кольцом или дублируется кольцом из клеевого прокладочного материала (рис. 5.6). Процессы деформирования при нагрузках, меньших разрывных, и отдыха сопровождаются автоматической записью измерений.

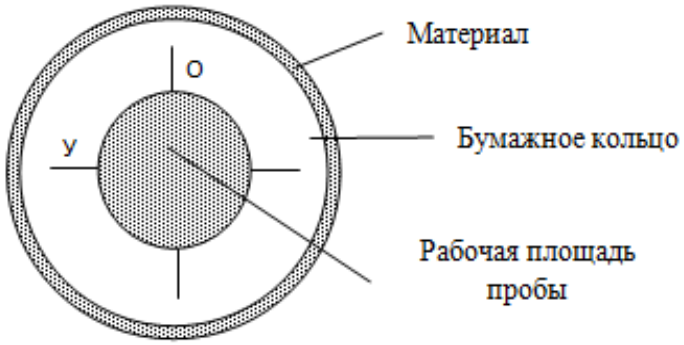


Рисунок 5.6 – Схема пробы для пространственного деформирования

Для осуществления метода испытываемую пробу текстильного материала закрепляют в зажиме разрывной машины с приспособлением для продавливания шариком. В момент достижения заданной величины нагрузки разрывную машину останавливают, фиксируют стрелу прогиба f (рис. 5.7а).

После снятия нагрузки пробе текстильного материала дают отдых. Фиксируют стрелу прогиба после отдыха $f_{ост}$ (рис. 5.7б).

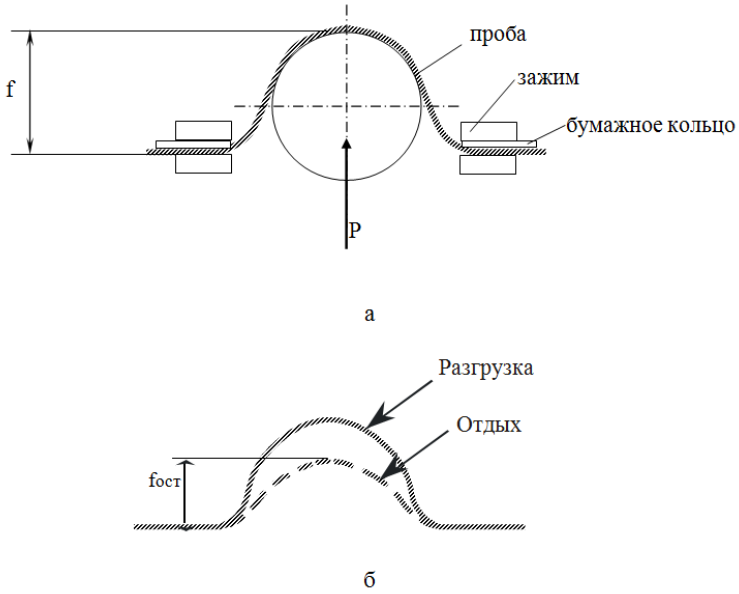


Рисунок 5.7 – Схема измерений деформированной пробы:
а – при нагружении; б – после разгрузки и отдыха

Общую деформацию, характеризующую способность текстильного полотна к формообразованию, определяют как приращение площади пробы в процентах и рассчитывают как

$$\Delta S_{общ} = \frac{S - S_0}{S_0} 100\% \ , \qquad (5.2)$$

где S_0 – первоначальная рабочая площадь пробы, мм^2;

S – рабочая площадь пробы после пространственного деформирования, мм^2.

Способность к сохранению формы определяют как относительное остаточное приращение площади пробы (пластичность) и рассчитывают как

$$\Delta S_{ост} = \frac{S' - S_0}{S_0} 100\% , \qquad (5.3)$$

где S' – рабочая площадь пробы после прекращения действия нагрузки и отдыха, мм^2.

Выбор величины нагрузки зависит от вида материала и задач эксперимента.

Метод реализуется на автоматизированном устройстве, структурная схема которого представлена на рис. 5.8.

В состав устройства входят: два канала измерения, плата сопряжения аналоговых датчиков с ЭВМ (ПС), блок управления двигателем (БУД) и ЭВМ.

Первый канал образуют бесконтактный датчик определения стрелы прогиба (ДСП), который измеряет перемещение пробы при заданной нагрузке и после снятия нагрузки, и усилитель (У1). Второй канал образуют тензодатчик (Д2), который определяет заданную нагрузку, и усилитель (У2).

Плата сопряжения состоит из коммутатора аналоговых сигналов (АК), аналого-цифрового преобразователя АЦП и схемы управления (СУ) с логическими элементами. Блок управления двигателями предназначен включать/отключать двигатель как в ручном, так и в автоматическом режиме и тем самым управлять ходом эксперимента.

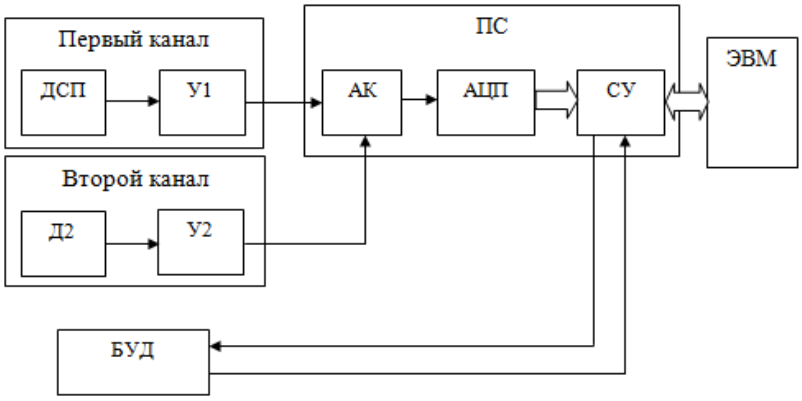


Рисунок 5.8 – Структурная схема автоматизированного устройства

Основным элементом автоматизированного устройства является датчик определения стрелы прогиба.

Для решения задачи определения величины стрелы прогиба из всех существующих принципов преобразования выбираем фотоэлектрический. Главное преимущество фотопреобразователя – отсутствие механической связи с контролируемым объектом, что исключает погрешность измерения, вносимую чувствительным элементом. Также он отличается высокой

чувствительностью и быстродействием, простотой и надежностью, малыми габаритами и массой, нечувствительностью к внешним электромагнитным помехам. Влияние посторонних источников света на работу фотопреобразователя устранено конструкцией датчика.

Для бесконтактного способа измерения перемещения применяем оптическую пару: источник света 1 и фотопреобразователь 2 (рис. 5.9).

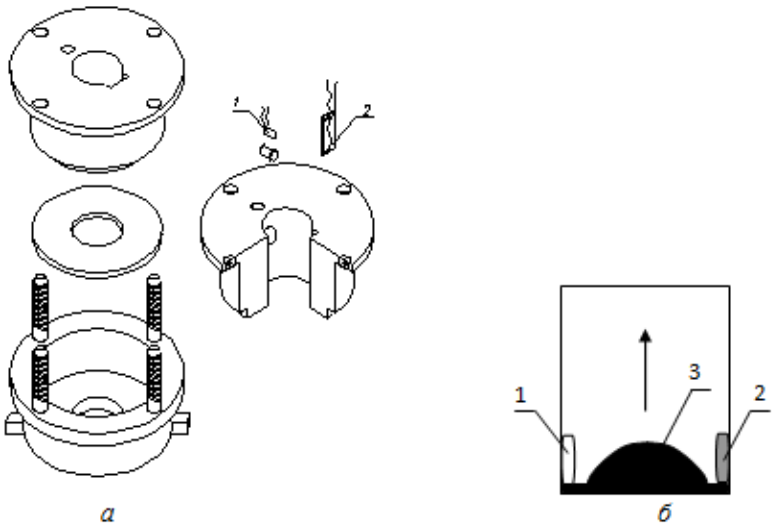


Рисунок 5.9 – Конструкция (а) и внутренняя часть (б) датчика для определения стрелы прогиба

В процессе измерения удлинения пробы, продавливаемой шариком, пучок света, исходящий от источника излучения 1 (см. рис. 5.9б), частично перекрывается выпуклой пробой 3, в зависимости от ее положения. Поэтому изменяется поток света, падающий на фотоприемник 2. Приемник излучения (фотодатчик) преобразует световой поток в постоянный ток, по величине которого и судят о положении пробы в определенный момент времени. Когда усилие на пробу достигает заданного значения, шарик перестает действовать на пробу и происходит релаксация при снятом напряжении. Величину стрелы прогиба после отдыха также фиксирует фотодатчик.

Источником излучения служит миниатюрная лампа накаливания. Питание источника света производится от стабилизированного источника энергии с возможностью регулировки интенсивности излучения посредством регулировочного резистора.

Величину нагружения определяет тензометрический датчик, сигнал с которого усиливается двухкаскадной схемой усиления, собранной на интегральных операционных усилителях с малым дрейфом нуля.

Поскольку фотодатчик обладает нелинейностью, проверена его статическая характеристика (приложение 3), погрешность линейности составляет не более 3 %. Метрологические характеристики измерительных каналов автоматизированного устройства рассчитаны по методике (см. п.2.2). Устройству присвоен класс точности 3.

Управление автоматизированной установкой и проведением эксперимента осуществляется с помощью разработанной программы «Form» [140], которая формирует файлы данных и строит графики в режиме реального времени. Интерфейс управляющей программы показан на рис. 5.10.

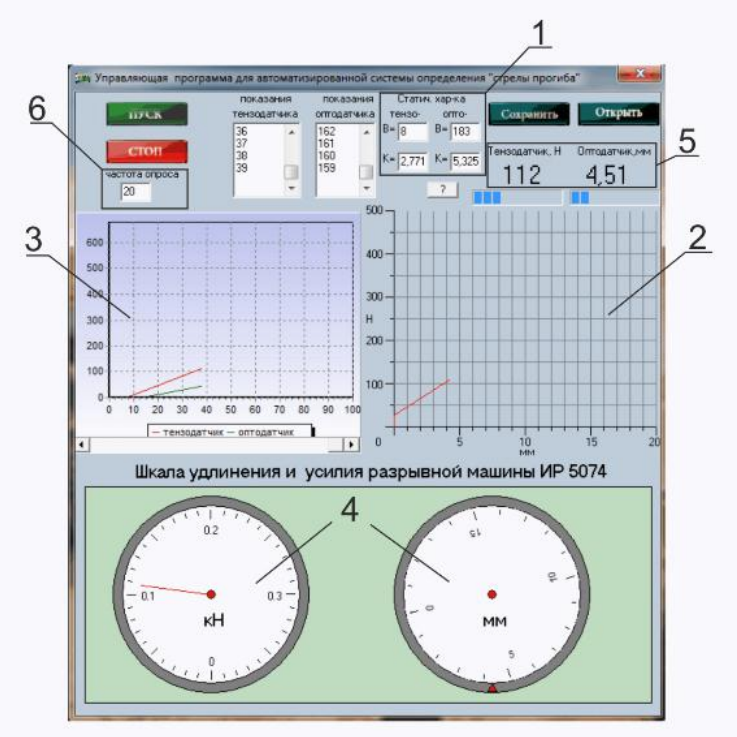


Рисунок 5.10 – Интерфейс программы «Form»

1 – поле ввода статических характеристик датчиков при таррировке; 2 – график зависимости усилия от деформации; 3 – графики зависимости усилия и деформации во времени; 4 – шкала усилия и деформации; 5 – текущие значения усилия и деформации; 6 – поле ввода программной частоты опроса датчиков

Рисунок 5.11 – Графическая запись показания датчика усилия и фотодатчика фиксирующего пространственную деформацию пробы

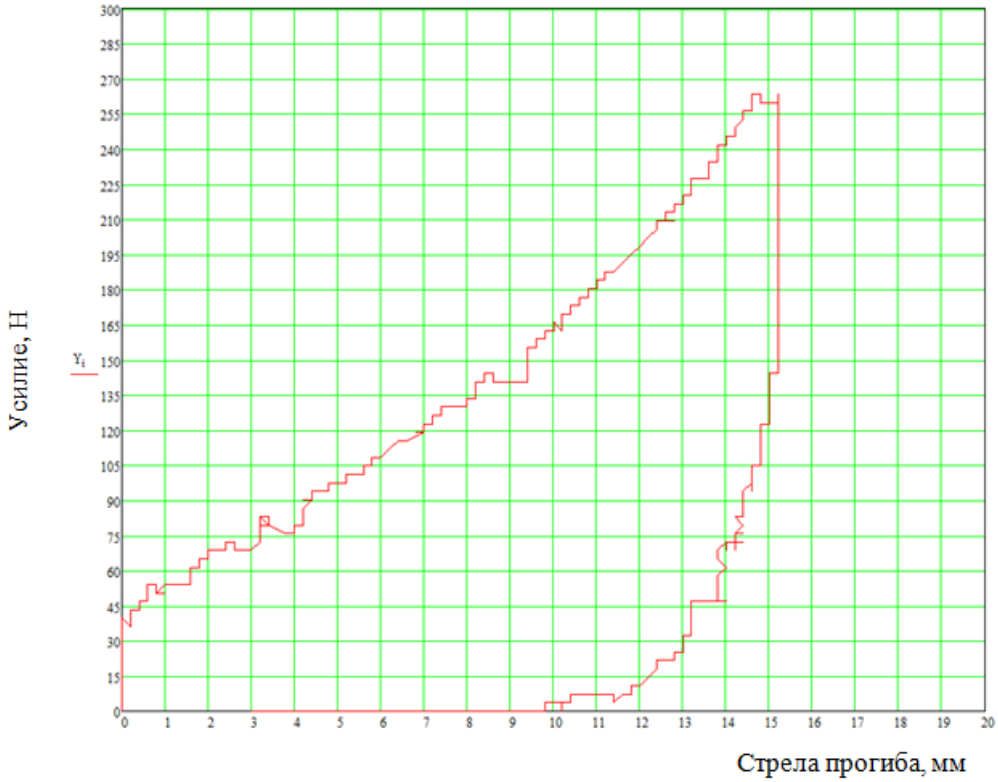


Рисунок 5.12 – График изменения стрелы прогиба пробы

Исследования пластичности различных материалов проводились при нагрузке P = 0,7 от разрывной P_p и времени отдыха проб t = 24 ч. Данные приведены в табл. 5.2.

Таблица 5.2 – Значения стрелы прогиба и площади проб материалов

Материал	f, мм	$f_{ост}$, мм	$\Delta S_{общ}$, %	$\Delta S_{ост}$, %
Кожа натуральная (КРС)	15,4	10,7	78,45	58,41
Костюмная тонкосуконная ткань, 260 г/м^2	11,7	6,5	69,84	21,56
Чистольняная ткань, 206 г/м^2	10,5	8,0	56,25	32,69
Хлопчатобумажная джинсовая ткань, 350 г/м^2	9,3	7,0	44,13	25,0
Шелковая костюмная ткань (33% вискоза, 67% полиэфир), 210 г/м^2	6,65	2,5	22,56	3,19

Результаты экспериментальных исследований показали, что при нагрузке, составляющей 0,5P_p, доля обратимой деформации льняных тканей составляет 40–50 % (рис. 5.13). Известно, что с уменьшением величины нагрузки доля обратимой деформации возрастает, поэтому оценивать пластичность льняных тканей при нагрузках, меньших 0,5P_p, нецелесообразно.

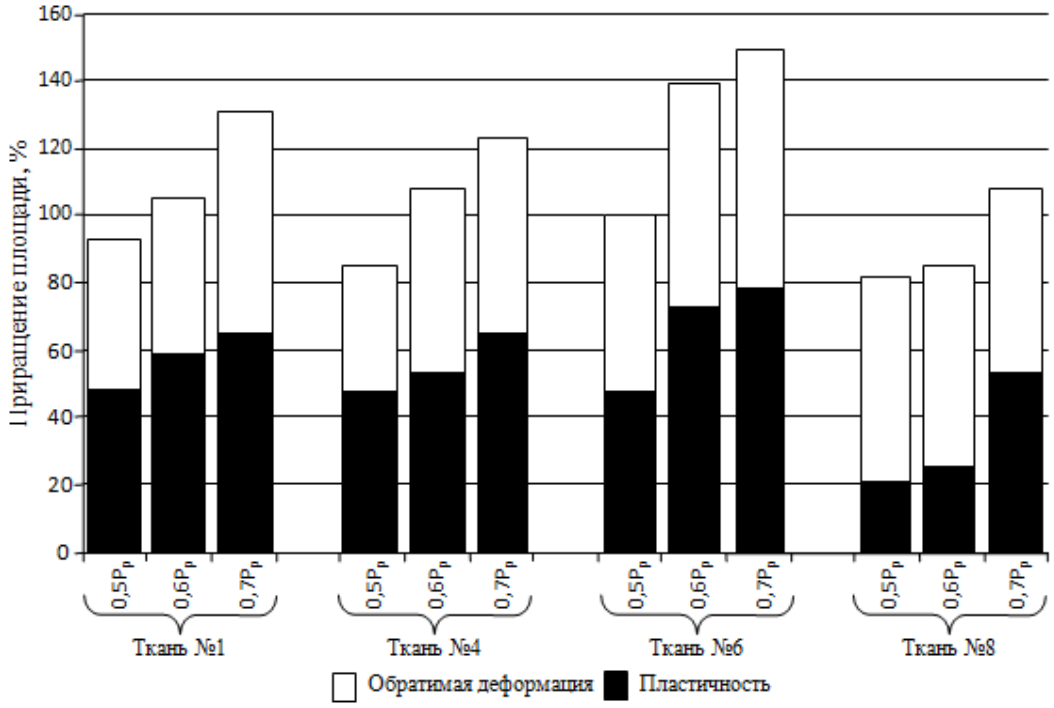


Рисунок 5.13 – Приращение площади льняных тканей после пространственного деформирования и отдыха при нагрузках 0,5P_p, 0,6P_p, 0,7P_p

Для льняных тканей зависимость «усилие – деформация» на участке 0,5–0,7P_p (рис. 5.14) является практически линейной, что говорит о неизменности процесса деформирования. На участке 0,7–0,75P_p происходит изменение характера зависимости ΔS от P, выражающееся в перегибе (рис.5.11), что свидетельствует о том, что механизм деформирования меняется. Установлено, что для льняных тканей целесообразна нагрузка 0,7P_p.

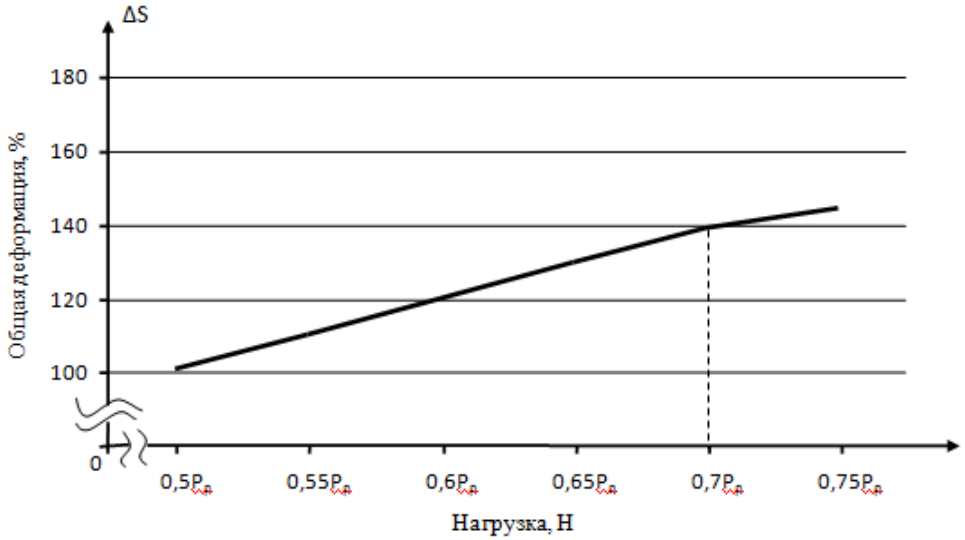


Рисунок 5.14 – Зависимость «усилие – деформация» для льняной ткани

Усовершенствованный метод дает наиболее информативную оценку пластичности материалов, так как оценивается приращение площади пространственно деформированной пробы, а не изменение ее линейных размеров.

Предложенный метод позволяет определить пластическую (остаточную) деформацию текстильных материалов, а также пакетов одежды, состоящих из различных материалов, что дает возможность обеспечить научно обоснованный выбор материалов, выбрать оптимальное расположение конструктивных линий в одежде и изготавливать конкурентоспособные швейные изделия

5.4. Определение свойств полотен при складкообразовании

Для определения характеристик стабильности и подвижности складок разработано универсальное автоматизированное устройство, которое

используется при определении драпируемости методом иглы и новым разработанным методом сектора, позволяющим оценить драпируемость и изменение линейных размеров (ИЛР) при драпировании.

Подвижность складок предложено определять величиной усилия *P*, сН, необходимого для смещения складок. Чем меньше усилие, тем больше подвижность складок. Характеристика *P* дополняет известные оценки способности материалов образовывать под действием собственной тяжести подвижные складки.

Усилие определяется с помощью разработанного автоматизированного устройства [141]. В состав устройства (рис. 5.15) входят: первичный преобразователь (ПП), двигатель (Дв), усилитель (У), аналого-цифровой преобразователь (АЦП) и ЭВМ.

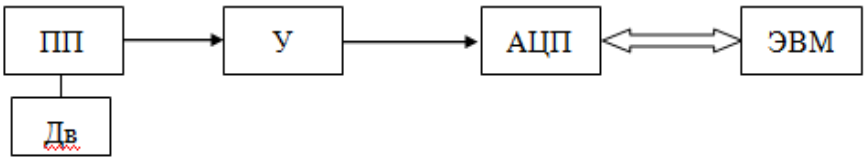


Рисунок 5.15 – Структурная схема устройства

Первичный преобразователь представляет собой полупроводниковый тензометрический датчик марки С05А, служащий для преобразования силы в электрический сигнал напряжения. Достоинствами данного датчика являются: малые габариты и вес (не более 35 г), высокая чувствительность (способен воспринимать очень малые усилия ~1 сН), высокий уровень выходного сигнала (до 230 мВ), что позволяет использовать усилитель с небольшим коэффициентом усиления и, следовательно, снижает чувствительность к помехам. Статическая характеристика датчика линейная (процент нелинейности не более ± 0,7).

Конструкция устройства (рис. 5.16): проба 2 закрепляется в зажиме на стойке 1. К первичному преобразователю 4 присоединен чувствительный элемент 5 (металлический стержень длиной 12 мм, воспринимающий отклонение). Датчик закреплен на механизме поступательного действия 3, позволяющем с помощью двигателя равномерно перемещать его в двух

координатах, перпендикулярно плоскости материала и по высоте складки. Перемещение осуществляется на заданную величину.

Процесс измерения происходит под управлением специально разработанной программы в режиме реального времени. Алгоритм программы позволяет изменять следующие параметры: частоту опроса датчика, коэффициент усиления, объем фиксируемых точек. Экспериментальные данные записываются в файл, что позволяет получить график зависимости «усилие – перемещение».

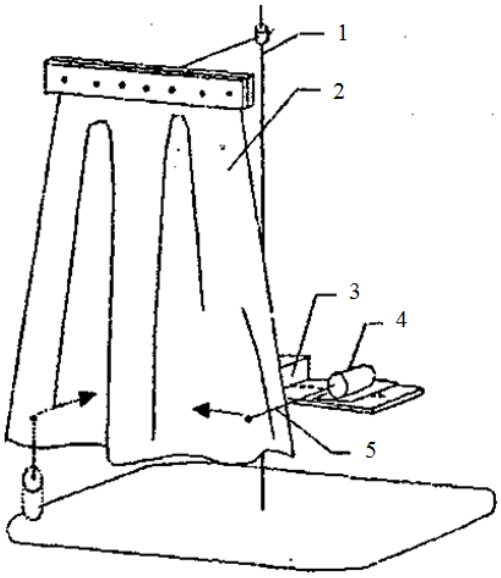


Рисунок 5.16 – Конструкция устройства

Разработанное автоматизированное устройство позволяет оценить устойчивость складок в драпировках и является чувствительным даже к таким жестким полотнам, как льняные ткани.

Выводы по главе

Для реализации цифровизации конфекционирования автоматизированный комплекс дополнен автоматизацией существующего стандартного оборудования.

1. Разработано автоматизированное устройство к разрывной машине на основе модернизированной насадки реализующее принцип Эдерлея для проведения испытаний на трение.
2. Разработано автоматизированное устройство к разрывной машине для определения усилия сбрасывания двухмиллиметрового слоя нитей, позволяющее унифицировать метод определения осыпаемости гостированный для хлопчатобумажной ткани и получать достоверные измерения для легкоосыпаемых шелковых и льняных тканей.
3. Усовершенствован метод для оценки формуемости материалов для одежды при пространственном деформировании реализуемый с помощью разрывной машины и разработанного специального приспособления.
4. Разработано универсальное автоматизированное устройство, которое используется при определении драпируемости. Разработанное автоматизированное устройство позволяет оценить устойчивость складок в драпировках и является чувствительным даже к таким жестким полотнам, как льняные ткани.

6. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ РАЗРАБОТКИ МЕТОДОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ

Прогнозирование – вероятностное суждение о будущем на основе специальных научных исследований. В приложении к материаловедению задача прогнозирования заключается в определении свойств проектируемых материалов на основе управляемых параметров строения, выбор их оптимального соотношения с учетом требований изготовителей одежды. Задача решается путем обобщения накопленного эмпирического опыта, т.е. знаний о свойствах элементов структуры, аналогичных материальных системах, установление физических и физико-химических закономерностей явлений и процессов. Использование вычислительной техники делает решение задачи прогнозирования общедоступным и независимым от опыта конкретного эксперта. Исследователи отмечают недостаточное развитие этой области текстильного материаловедения в связи со сложностью самой задачи и широкого ассортимента используемых материалов.

6.1. Моделирование свойств материалов

Для реализации возможности прогнозирования динамических свойств материалов в процессе их восстановления после изгиба характеристики, которых были установлены в результате использования разработанной автоматизированной системы (п. 2.2), предложен расчетный метод моделирования [181] дающий возможность определения динамических свойств материалов в процессе их восстановления после изгиба.

Моделирование осуществлялось путем разбиения пробы (полоски ткани) на (N) прямолинейных жёстких стержней, массы (m) и длины (l) соединённых шарнирами и упругими элементами (спиральными пружинами),

препятствующими их повороту относительно друг друга с коэффициентом жесткости (k) (рис. 6.1). Составлены уравнения Лагранжа 2-го рода движения пробы. В качестве обобщенных координат приняты углы поворота стержневых элементов φ_i.

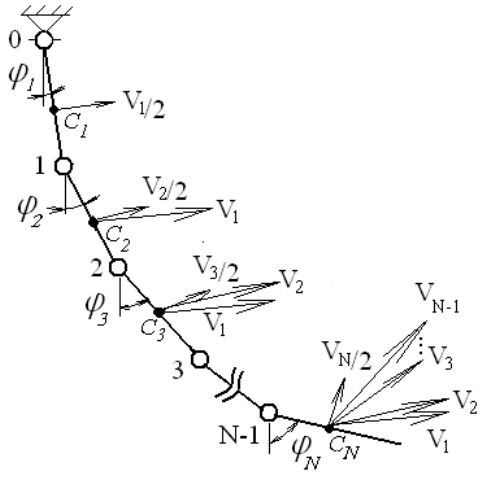


Рисунок 6.1 – Модель пробы

Коэффициент жесткости спиральной пружины (k, *Н·м/рад*) определен из условия равенства прогиба на свободном конце консольной балки длиной, равной длине стержневого элемента модели, с изгибной жёсткостью, равной жёсткости пробы, и отклонения свободного конца абсолютно жёсткого консольного стержня той же длины с упругим элементом в виде спиральной пружины на другом конце:

$$k = \frac{3 \cdot EJ \cdot N}{l}. \tag{6.1}$$

Кинетическая энергия системы равна сумме кинетических энергий N стержневых элементов. Кинетическая энергия каждого i-го стержня равна:

$$T_i = \frac{1}{2}\left(J_C \dot{\varphi}_i^2 + m v_{C_i}^2\right), \tag{6.2}$$

где $J_C = ml^2/12$ – момент инерции стержня, относительно оси, проходящей через его центр масс;

v_{Ci} – сумма вектора вращательной скорости точки центра масс C_i относительно i-ой шарнирной точки и векторов скоростей всех шарнирных точек $v_j = \dot{\varphi}_j l$ с номерами $j<i$.

Потенциальная энергия этой системы равна:

$$П = \frac{1}{2} k \sum_{i=1}^{N} (\varphi_i - \varphi_{i-1})^2 \quad . \tag{6.3}$$

Уравнения движения модели пробы получили из уравнений Лагранжа 2-го рода, выбрав в качестве обобщенных координат углы поворота стержневых элементов φ_i.

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}_i}\right) - \frac{\partial T}{\partial \varphi_i} = -\frac{\partial П}{\partial \varphi_i} \ . \tag{6.4}$$

В результате анализа уравнений были установлены закономерности формирования коэффициентов системы. В итоге получена система сильно нелинейных дифференциальных уравнений второго порядка, которая в матричном представлении имеет вид:

$$([M]\cdot\cos[\Delta\varphi])\cdot[\ddot{\varphi}] = -([M]\cdot\sin[\Delta\varphi])\cdot[\dot{\varphi}^2] - \frac{kN^3}{ml^2}[K]\cdot[\varphi] \tag{6.5}$$

где $[\varphi]$, $[\dot{\varphi}]$, $[\ddot{\varphi}]$ – вектора углов поворота, угловых скоростей и угловых ускорений стержневых элементов модели, соответственно;

[M], [K] – матричные коэффициенты:

$$[M] = \begin{matrix} N-1+\frac{1}{3} & \dots & N-i+\frac{1}{2} & \dots & \frac{3}{2} & \frac{1}{2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \\ N-i+\frac{1}{2} & \dots & N-i+\frac{1}{3} & \dots & \frac{3}{2} & \frac{1}{2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{3}{2} & \frac{3}{2} & \frac{3}{2} & \dots & 1\frac{1}{3} & \frac{1}{2} \\ \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & \dots & \frac{1}{2} & \frac{1}{3} \end{matrix} \qquad [K] = \begin{matrix} 2 & -1 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ -1 & 2 & -1 & 0 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & -1 & 2 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 \end{matrix}$$

$$[\Delta\varphi]=\begin{matrix}\varphi_1-\varphi_1 & \varphi_2-\varphi_1 & \cdots & \varphi_N-\varphi_1\\ \varphi_1-\varphi_2 & \varphi_2-\varphi_2 & \cdots & \varphi_N-\varphi_2\\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots\\ \varphi_1-\varphi_N & \varphi_2-\varphi_N & \cdots & \varphi_N-\varphi_N\end{matrix}$$

Система решена численным методом переменного порядка Адамса–Бэшфорта–Милтона, являющимся особенно эффективным для нежёстких систем дифференциальных уравнений, правые части которых вычисляются по сложным формулам. Программирование осуществлено в среде MatLab с относительной точностью вычислений 10^{-3} [152]. В результате получена возможность теоретически определять кинематические параметры пробы ткани, в том числе, длину пути и скорость концевого свободного участка в процессе «раскрытия» пробы, а также анализировать влияние жесткости и массы пробы на её кинематические параметры (рис. 6.2).

При $N=60$ относительное отклонение экспериментально и теоретически определённой скорости концевого свободного участка пробы в процессе её «раскрытия» составило не более 2%, периода свободных колебаний – менее 1%.

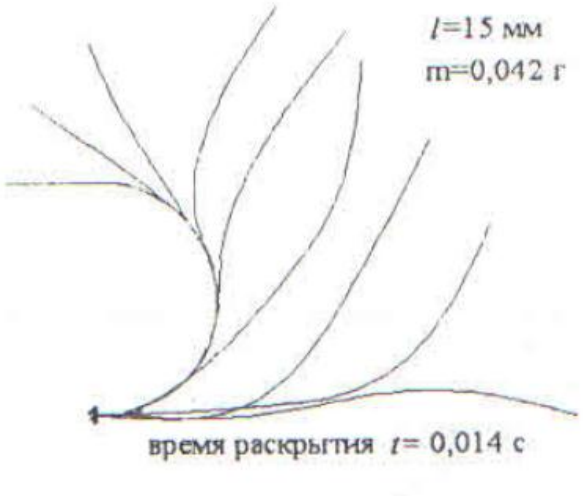


Рисунок 6.2 – Положение пробы в процессе раскрытия

Возможность прогнозирования динамических свойств в процессе восстановления после изгиба позволяет определить ряд показателей,

характеризующих свойства тканей, и является основой для выбора рационального конструктивного решения одежды. Так, например, большая скорость восстановления ткани после изгиба свидетельствует о высокой формоустойчивости швейных изделий в процессе эксплуатации.

Расчетный метод определения свойств ткани в динамических условиях эксплуатации позволяет расширить информативность показателей потребительских и технологических свойств материалов для одежды и научно обоснованно подходить к конфекционированию материалов.

6.2. Прогнозирование свойств материалов с использованием интеллектуальной системы, созданной на базе искусственных нейронных сетей

Цифровизация конфекционирования становится реальной при при использовании интеллектуальной системы, способной обобщить накопленную информацию, выдать рекомендации и прогнозы по свойствам материалов, обновляться и развивать собственную структуру с учетом новых данных, при этом не требуя глубокого научного знания по моделированию. Такая интеллектуальная система создана на базе искусственных нейронных сетей (ИНС). Дессинатор подбирает структуру материала, зная, как изменяются свойства аналогичных материалов с изменением строения. ИНС, аналогичная по структуре головному мозгу человека, способна выполнять функции группировки и классификации, обобщения их свойств.

Аналитическая система, построенная на базе ИНС, обладает рядом достоинств: быстрая адаптация модели к новым данным (развитие и уточнение); нет необходимости пересматривать математическую форму; расширение емкости за счет простого наращивания числа элементов; однотипный подход к обучению системы для задач аппроксимации любой сложности (для создания модели в виде аналитического выражения существует большое число методов аппроксимации); непрерывность выходных значений;

система создается один раз и не требует дополнительного научного труда при дополнительном уточнении модели.

Система, построенная на базе ИНС, имеет свои особенности: форма представления закономерностей не воспринимается человеческим сознанием; невозможно использовать как промежуточную систему выражений для других расчетов; ее невозможно создать и использовать без вычислительной техники; человек не участвует в поиске оптимального решения, при котором возможны упрощения, а для ИНС все данные равнозначны [153].

При создании системы прогнозирования на основе ИНС использованы: организация и хранение данных о свойствах материалов (структурные характеристики, показатели качества, деформационные характеристики); возможность изменения сети под конкретные испытания.

Основная ячейка сети – нейрон должен обладать непрерывной функцией активации: сигмоид, гиперболический тангенс, в крайнем случае линейной (униполярная или биполярная форма). Согласно поставленной задаче выбрана прямопоточная слоистая сеть. Такая структура может применяться индивидуально, согласно решаемых задач и позволяет достигать лучших результатов прогнозирования. Достоинство прямопоточной слоистой сети является простота применения, достаточно определить количество слоев и количество нейронов в слоях, а их взаимосвязь определена. Наибольшее распространение получили сети с одним скрытым слоем (максимум два), число нейронов в слое может различаться от N до 3N. По теореме Колмогорова для многовходовой сети: "если ограничиться непрерывной функцией, трансформирующей N-мерное множество входных данных в M-мерный выходной вектор d, то можно доказать, что аппроксимация такого типа осуществима при использовании сети с одним скрытым слоем, в котором (2N + 1) нейрон, где N – число входных нейронов" [153].

Применяемая методика и способ обучения сети – обучение с учителем, чтобы варьирование выходных значений соответствовало экспериментальным. Эффективным алгоритмом обучения многослойной сети, является механизм

обратного распространения ошибки, которы основан на использовании методов градиентных оптимизации [154]. Необходимо постепенное наращивание сложности сети, контролируя требуемый уровнь погрешности воспроизведения заданных выходных данных.

Пробное тестирование ИНС производится на контрольных данных, составляющих обучающую вывборку по величине погрешности.

Для прогнозирования свойств текстильных материалов на основе ИНС разработан и зарегистрирован собственный программный продукт NeuroPrognosis (рис. 6.3) [155]. В программе используются алгоритмы проф. С. Короткого на базе концепции объектно-ориентированного программирования [154].

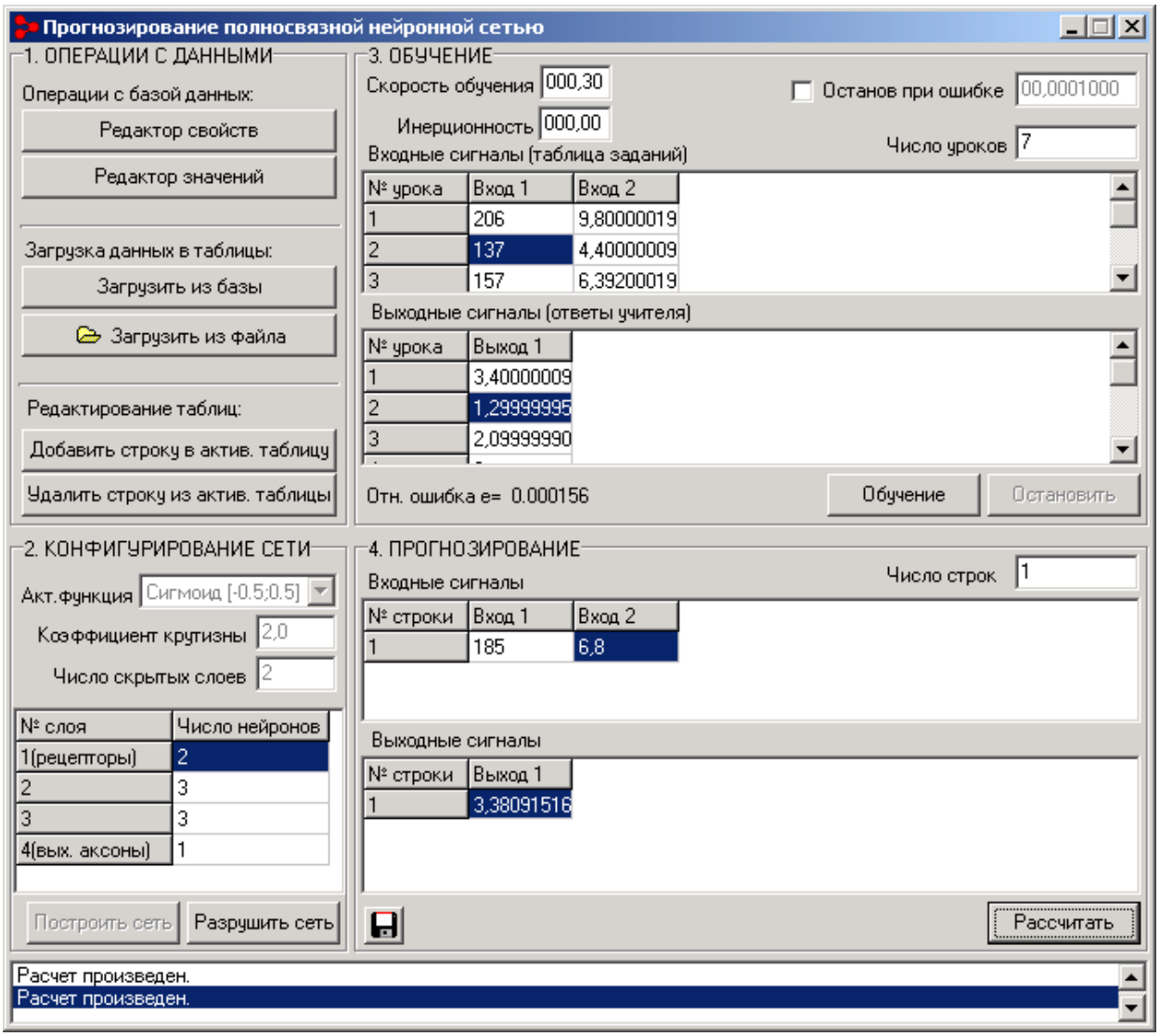


Рисунок 6.3 – Пример интерфейса программы NeuroPrognosis

Функции, которые выполняет программа NeuroPrognosis следующие: загрузка и выгрузка баз данных, создание прямопоточной многослойной сети с выбором числа слоев и нейронов, обучение ИНС с учителем по алгоритму обратного распространения ошибки (BackPropagation), расчет и прогнозирование, передачу данных в другие системы.

Перед обучением сети можно задавать и изменять значение скорости и инерционности обучения, останавливать обучение до достижения заданной ошибки.

Реализация прогнозирования характеристик свойств материалов выполнена на основе результатов исследований их взаимосвязи с характеристиками строения (п. 2.1). Порядок формирования прогноза происходит по алгоритму (рис. 6.4)

Технология прогнозирования приводится на примере оценки взаимосвязи показателей формоустойчивости и характеристик строения льняных тканей. Показатель формоустойчивости оценивается работой $A_{изг}$, затрачиваемой на прогиб пробы объемной формы. В качестве характеристик строения льняных тканей выбраны коэффициент переплетения F_n (по Ереминой Н.С.) и поверхностная плотность M_s (г/м^2), зависящая от линейной плотности нитей и плотности ткани (числа нитей на 10см) [156].

Выбираем двухслойную сеть с двумя входами, скрытым слоем который содержит пять нейронов, в выходном слое содержится один нейрон, выходная величина работа изгиба $A_{изг}$ (рис. 6.5). По экспериментальным значениям ИНС аппроксимирует непрерывную поверхность зависимости работы $A_{изг}$, затрачиваемой на изгиб, от F_n и M_s . В процессе обучения ИНС ошибка уменьшается (рис.6.6). Наращивая структуру сети (выбор трехслойной сети), ошибку обучения можно минимизировать практически до нуля, при этом сеть будет в точности воспроизводить экспериментальные данные, но потеряет свою способность обобщения (рис. 6.7). Средством проверить качество обучения и прогнозирования, , является определение ошибки прогнозирования для тканей, не вошедших в обучающую выборку.

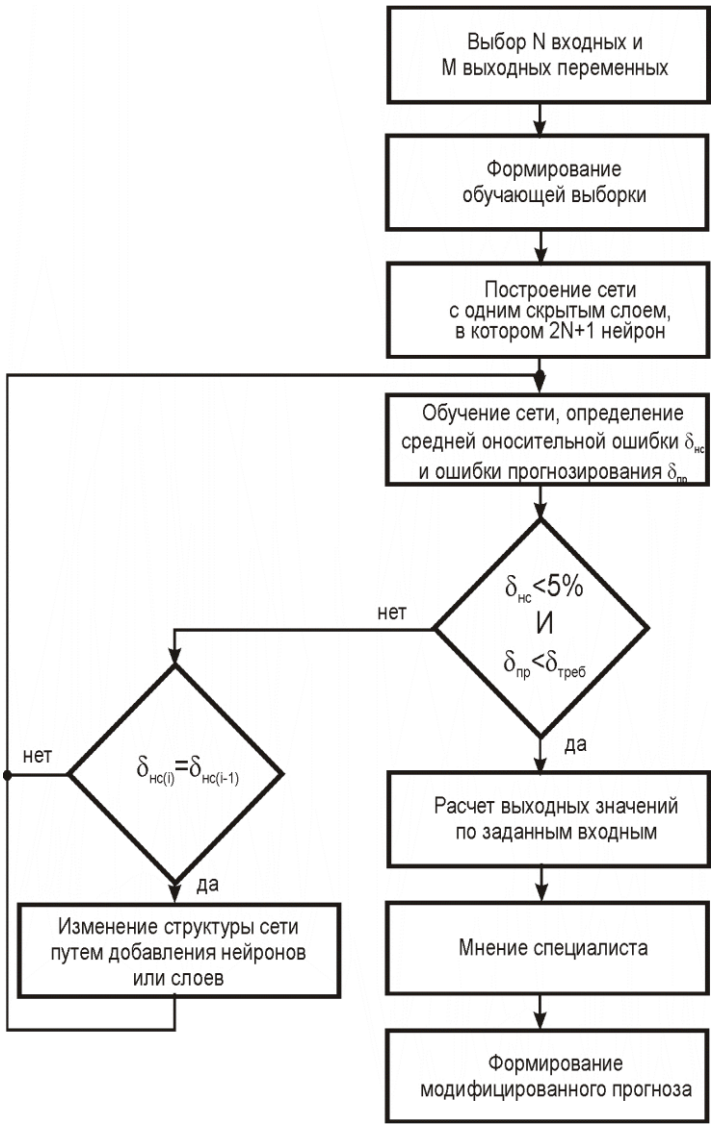


Рисунок 6.4 – Алгоритм формирования прогноза

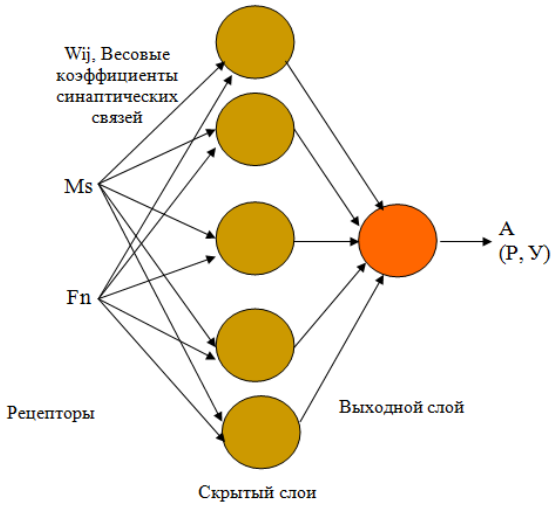


Рисунок 6.5 – Двухслойная нейронная сеть

Ms - поверхностная плотность; Fn - коэффициент переплетения

А, Р,У - возможные выходные характеристики (работа изгиба, сдвига, жесткость, упругость)

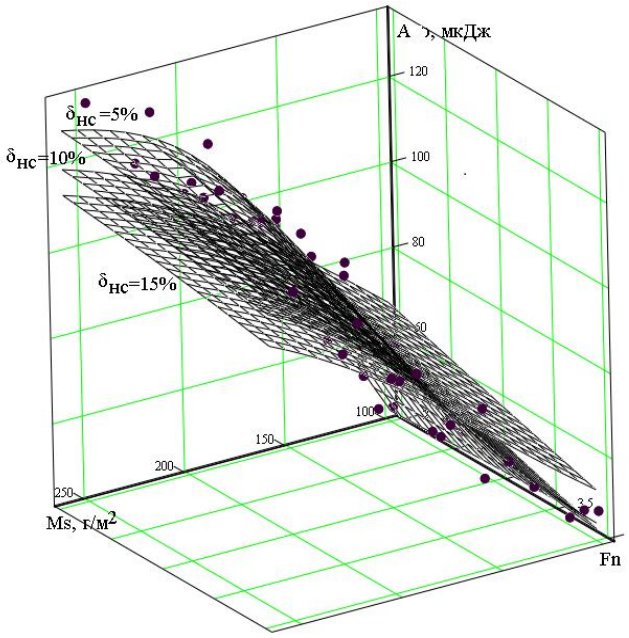


Рисунок 6.6 – Изменение поверхности $A_{нс}(M_s, F_n)$ с уменьшением погрешности δ

Процесс обучения остановился при $\delta_{нс} \approx 5$ % (см. рис. 6.6), то есть при данном размере сети ее дальнейшее обучение невозможно, но даже в этом случае нейронная сеть обеспечивает лучшее качество воспроизведения экспериментальных данных, чем эмпирическая формула (2.9) (рис. 6.7, табл.6.1).

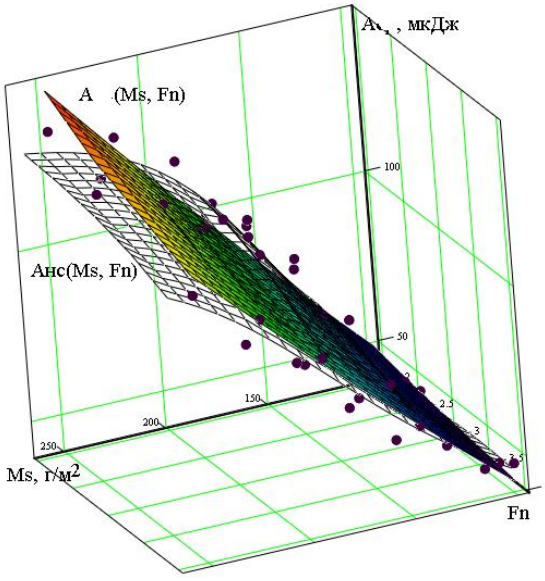


Рисунок 6.7 – Графическое представление эмпирической формулы $A_{изг}(M_s, F_n)$ и результатов генерирования ИНС $A_{нс}(M_s, F_n)$ при $\delta_{нс} \approx 5$ %

Таблица 6.1 – Оценка воспроизведения экспериментальных данных двухслойной и трехслойной сетью и эмпирической формулой

Оценки точности воспроизведения экспериментальных данных	Двухслойная ИНС			Трехслойная ИНС	Эмпирическая формула $A_{изг}(M_s, F_n) = 0{,}14\frac{M_s^{1,5}}{F_n^{0,31}}$
	$\delta_{нс}$			$\delta_{нс2}$	δ
Средняя относительная погрешность, %	15	10	5	2,0	7,3
Средняя абсолютная погрешность Δ, мкДж	11,2	8,6	3,98	1,8	6,3
Коэффициент множественной корреляции R	0,85	0,93	0,98	0,99	0,95

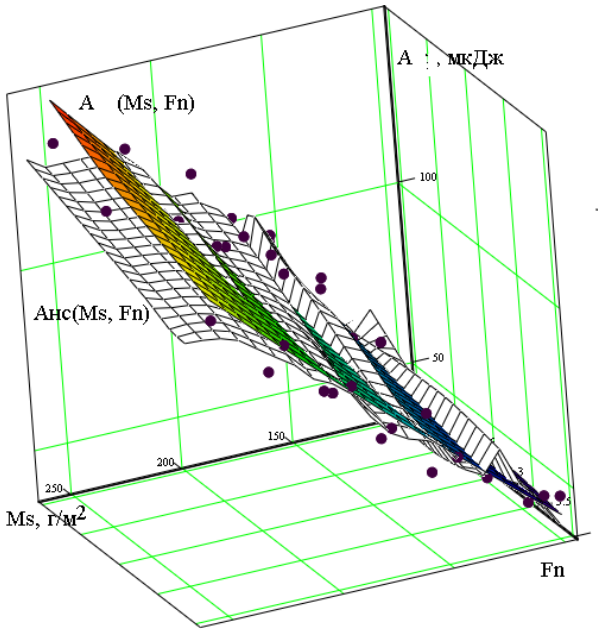


Рисунок 6.8 – Графическое представление эмпирической формулы $A_{изг}(M_s, F_n)$ и результатов генерирования трехслойной ИНС $A_{нс}(M_s, F_n)$ при $\delta_{нс2}$ = 2 %

Способность сети к прогнозированию работы изгиба проверена на тканях, не включенных в обучающую выборку (табл. 6.2). Для трехслойной сети относительная погрешность прогноза δ на порядок больше, чем у двухслойной при $\delta_{нс}$ = 5 %, хотя оценки качества воспроизведения экспериментальных данных лучше.

Таблица 6.2 – Прогнозирование работы изгиба льняных тканей, не включенных в обучающую выборку

Переплетение ткани	Входные данные		Прогнозируемая работа изгиба, $A_{изг}$, мкДж								
	M_s, г/м^2	F_n	Эксперимент	При $\delta_{нс}$= 15%	δ, %	При $\delta_{нс}$= 10%	δ, %	Трехслой-ная сеть		Эмпирическая формула	δ, %
								При $\delta_{нс2}$= 2%	δ, %		
Саржевое	196,1	4	90,1	91,2	1,2	93,7	4,0	70,8	21,4	94,3	4,7
Креповое	196,1	2,7	112,7	96,7	14,2	101,2	10,2	83,5	25,9	104,0	7,7
Полотняное	196,1	2	108,7	99,2	8,7	104,5	3,8	79,6	26,7	111,5	2,6
$\delta_{ср}$, %					8,0		6,0		24,6		5,0

По аналогичной схеме проводилось обучение сети анизотропии работы изгиба, где кроме характеристик строения использовался входной параметр угол раскроя пробы α. При структуре сети с одним скрытым слоем с 19 нейронами удалось достичь средней относительной ошибки $\delta_{нс}$ = 11,3 %. Добавление еще одного нейрона позволило достичь $\delta_{нс}$ = 9,6 %. Сеть с двумя скрытыми слоями по 9 нейронов в каждом повторяла экспериментальные данные с $\delta_{нс}$ = 5,8%. Таким образом, удалось простым наращиванием объема сети достичь более высокой точности аппроксимации экспериментальных данных.

Для прогнозирования анизотропии упругости была построена сеть со структурой, аналогичной сети для прогнозирования анизотропии работы изгиба. Обучение сети прекратилось при $\delta_{нс}$ = 4,5 % (табл. 6.3).

Таблица 6.3 – Оценка способности прогнозирования анизотропии упругости на тканях, не вошедших в обучающую выборку

Переплетение ткани	T_o	T_y	$П_o$	$П_y$	R_o	R_y	t_o	t_y	α, *град*	*У, %*	$У_{нс}$, %	δ, %
Саржевое	33	100	170	140	4	4	6	6	90	85,0	87,4	2,8
	33	100	170	140	4	4	6	6	75	90,2	87,8	2,6
	33	100	170	140	4	4	6	6	60	84,2	88,3	4,8
	33	100	170	140	4	4	6	6	45	88,0	88,7	0,8
	33	100	170	140	4	4	6	6	30	80,5	89,1	10,7
	33	100	170	140	4	4	6	6	15	86,5	89,5	3,5
	33	100	170	140	4	4	6	6	0	88,3	89,9	1,8
	33	100	170	140	4	4	6	6	165	96,2	87,7	8,8
	33	100	170	140	4	4	6	6	150	89,5	88,2	1,4

окончание таблицы 6.3

	33	100	170	140	4	4	6	6	135	84,2	88,3	4,8
	33	100	170	140	4	4	6	6	120	85,0	87,5	3,0
	33	100	170	140	4	4	6	6	105	87,2	87,2	0,0
Полотняное	33	62	170	140	2	2	2	2	90	94,7	91,1	3,8
	33	62	170	140	2	2	2	2	75	85,7	91,8	7,1
	33	62	170	140	2	2	2	2	60	87,2	91,4	4,8
	33	62	170	140	2	2	2	2	45	89,5	90,5	1,2
	33	62	170	140	2	2	2	2	30	91,0	90,3	0,7
	33	62	170	140	2	2	2	2	15	95,5	90,5	5,2
	33	62	170	140	2	2	2	2	0	91,4	90,8	0,6
	33	62	170	140	2	2	2	2	165	90,2	88,0	2,4
	33	62	170	140	2	2	2	2	150	91,0	88,5	2,8
	33	62	170	140	2	2	2	2	135	85,0	89,0	4,7
	33	62	170	140	2	2	2	2	120	92,5	89,5	3,2
	33	62	170	140	2	2	2	2	105	93,2	90,2	3,2
$\delta_{ср}$, %												3,7

Анализ весовых коэффициентов показал, что $П_о$, $П_у$, $T_о$, $T_у$ влияют на упругость в меньшей степени, чем $R_о$, $R_у$, $t_о$ и $t_у$ (табл. 6.4). В случае работы изгиба было наоборот. На упругость большее влияние оказывает количество связей в ткани, переплетение.

Преимущества разработанной ИНС при прогнозировании характеристик свойств текстильных материалов: автоматический выбор факторов из числа известных параметров, поэтому нет необходимости решать задачу факторного и корреляционного анализа; возможность получить более высокую точность аппроксимации экспериментальных данных, чем методами регрессионного анализа; адаптивность сети к практически любому набору данных, любым характеристикам и показателям.

Таблица 6.4 – Весовые коэффициенты *w* скрытого слоя нейронов

j синапс / i нейрон	1 ($T_о$)	2 ($T_у$)	3 ($П_о$)	4 ($П_у$)	5 ($R_о$)	6 ($R_у$)	7 ($t_о$)	8 ($t_у$)	9 (α)	10 (+1)
1	–0,11	–0,08	–0,08	0,02	–0,12	0,20	–0,29	0,21	0,02	0,16
2	–0,22	–0,03	0,04	0,01	–0,05	0,08	0,05	–0,08	0,01	0,17
3	0,27	–0,02	–0,26	0,01	–0,03	0,05	0,17	–0,19	0,01	–0,02
4	–0,04	–0,05	0,09	0,01	0,17	–0,12	0,07	–0,12	0,01	–0,07
5	–0,06	0,01	–0,14	0,00	–0,14	0,13	–0,18	0,19	0,00	0,22
6	–0,12	0,15	0,14	–0,04	–0,08	–0,09	0,07	0,09	–0,04	0,05
7	0,45	0,15	–0,03	–0,04	–0,17	0,01	–0,14	0,30	–0,04	–0,36
8	0,20	–0,18	–0,14	0,18	0,50	–0,12	–0,07	–0,28	0,20	0,00
9	0,37	–2,64	1,01	–2,62	1,26	0,99	–0,58	–1,08	–0,84	0,59

окончание таблицы 6.4

10	0,08	–0,17	–0,15	0,19	0,22	0,17	–0,17	–0,18	0,22	0,15
11	–0,13	–0,03	0,14	0,01	0,01	0,03	–0,13	0,10	0,01	–0,02
12	–0,10	0,21	0,08	–0,13	–0,22	–0,13	0,25	0,07	–0,14	0,04
13	–0,17	–0,12	0,32	0,03	0,05	0,08	0,06	–0,18	0,03	–0,21
14	–0,17	2,99	–0,25	3,04	–3,89	–3,51	3,52	3,91	–6,32	–0,24
15	1,13	1,76	1,34	–4,79	–2,45	–2,46	3,64	3,59	–7,49	1,72
16	0,27	–0,20	–0,17	0,06	0,59	–0,37	0,14	–0,35	0,05	–0,18
17	–0,23	0,05	–0,01	–0,01	0,15	–0,21	–0,39	0,44	–0,01	0,27
$\sum_i \lvert w_i \rvert$	4,1	8,9	4,8	11,2	10,2	8,8	9,9	11,4	15,4	4,9
$\frac{\sum_i \lvert w_i \rvert}{\sum_{ij} \lvert w_{ij} \rvert} \cdot 100\%$	4,6	9,9	5,4	12,5	11,4	9,8	11,1	12,7	17,2	5,4

Анализ результатов исследований показал возможность применения ИНС и разработанной программы NeuroPrognosis для прогнозирования свойств материалов по характеристикам строения.

Работоспособность программы апробирована при прогнозировании свойств материалов. Это позволяет на стадии конфекционирования осуществить рациональный выбор современных термоклеевых прокладочных материалов и обеспечить качество швейных изделий. Входными параметрами для прогнозирования основных показателей качества материалов выбраны поверхностная плотность материалов (M_s, г/м^2) и количество клеевых точек ТКПМ в 1 см^2 (n). Поверхностная плотность является одним из основных свойств, которое учитывается при конфекционировании материалов в пакет в зависимости от требований к изделию и определяется суммой поверхностных плотностей костюмных тканей и ТКПМ. Прочность клеевого соединения при дублировании определяется количеством клеевых точек в клеевом соединении.

Выходные параметры: коэффициенты формоустойчивости (6.6), (6.8) и новые показатели – коэффициенты потери внутренней энергии (6.7), (6.9) определяемые отношением энергии, теряемой на гистерезисное трение при восстановлении, к энергии, затраченной на деформирование, характеризуемой работой.

$$K_{Ф_u} = \frac{A_{B_u}}{A_u} 100, \quad (6.6)$$

$$K_{D_u} = \frac{A_u - A_{B_u}}{A_u} 100, \quad (6.7)$$

где A_u – работа, затраченная на изгиб пробы, согнутой в форме кольца, мкДж;

A_{Bu} – работа, затраченная на восстановление пробы после изгиба на 1/3 диаметра.

$$K_{Ф_c} = \frac{A_{B_c}}{A_c} 100, \quad (6.8)$$

$$K_{D_c} = \frac{A_c - A_{B_c}}{A_c} 100, \quad (6.9)$$

где A_c – работа, затраченная на сдвиг пробы до нарушения гладкости поверхности, мкДж;

A_{Bc} – работа, затраченная на восстановление пробы после сдвига, мкДж.

Выбор прогнозируемого показателя определяется задачами эксперимента. Поверхность, отражающая коэффициенты формоустойчивости при изгибе и стабильности структуры при сдвиге дублированных пакетов одежды, характеризует их способность к накоплению упругой энергии и восстановлению после деформирования. Чем ближе показатели коэффициентов к 100 %, тем выше формоустойчивость и стабильность структуры материалов. Поверхности, отражающие коэффициенты потери внутренней энергии, рекомендуется использовать для оценки характера изменений эксплуатационных свойств материалов. Малые значения коэффициентов свидетельствуют о высоких технологических и эксплуатационных свойствах.

ИНС по экспериментальным значениям аппроксимирует непрерывные поверхности зависимостей коэффициентов формоустойчивости при изгибе ($K_{Фи}$,) и стабильности структуры ($K_{Фс}$) и коэффициентов потери внутренней энергии при изгибе и сдвиге (K_{Du}, K_{Dc}) от количества клеевых точек и поверхностной плотности материалов [157, 158].

Поверхности можно принять за реальные в области рабочих значений (рис. 6.9 – экспериментальная зависимость $K_{Фи}(M_s, n)$ и зависимость $К^{НС}_{Ф_и}(M_s,n)$, генерируемая ИНС при $\delta_{нс}$ = 6,398 %; рис. 6.10 – экспериментальная зависимость $K_{Dи}(M_s, n)$ и зависимость $К^{НС}_{D_и}(M_s, n)$, генерируемая ИНС при $\delta_{нс}$=5,684 %.

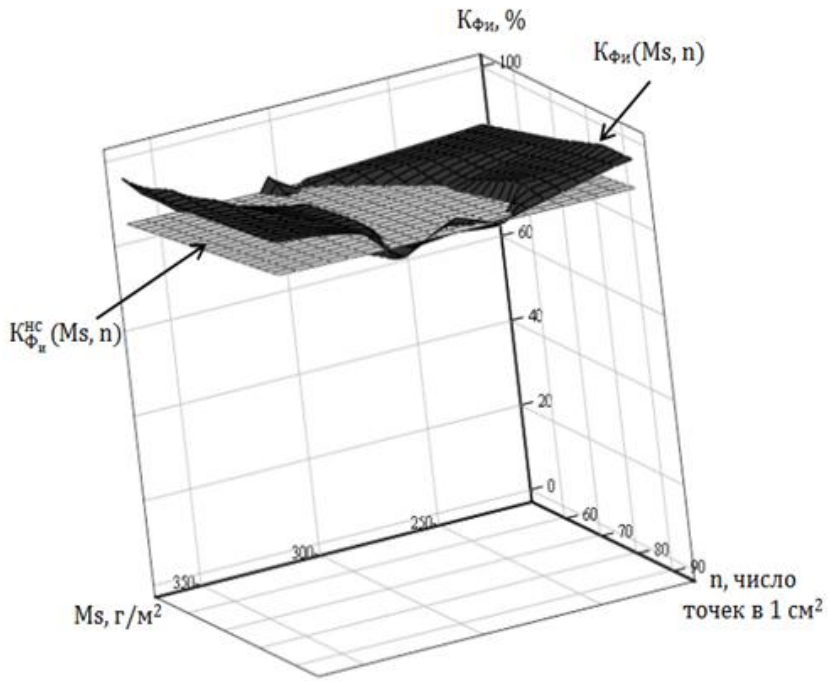


Рисунок 6.9 – Экспериментальная и генерируемая ИНС зависимости коэффициента формоустойчивости при изгибе

Экспериментальная зависимость $K_{Фс}(M_s, n)$ и зависимость $К^{НС}_{ФС}(M_s,n)$, генерируемая ИНС при $\delta_{нс}$ = 5,127 % представлена на рис. 6.11; экспериментальная зависимость $K_{Dс}(M_s, n)$ и зависимость $К^{НС}_{D_с}(M_s, n)$, генерируемая ИНС при $\delta_{нс}$ = 4,325 % – на рис. 6.12.

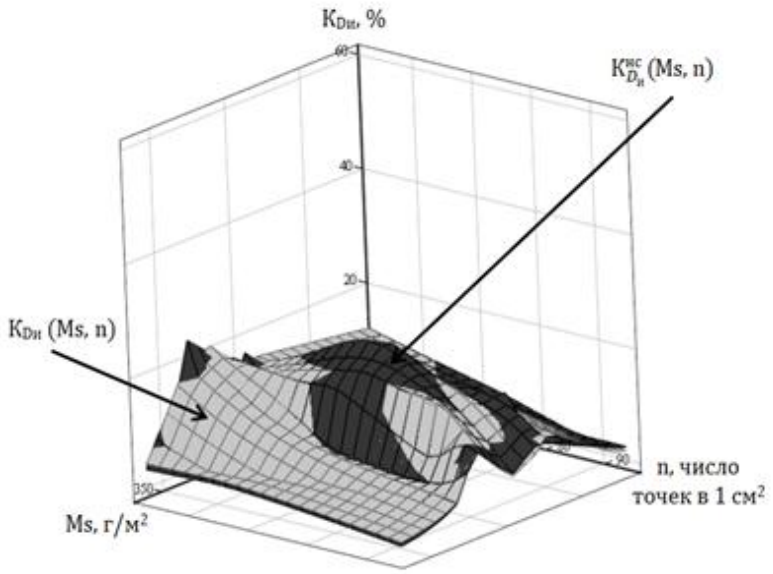


Рисунок 6.10 – Экспериментальная и генерируемая ИНС зависимости коэффициента потери внутренней энергии при изгибе

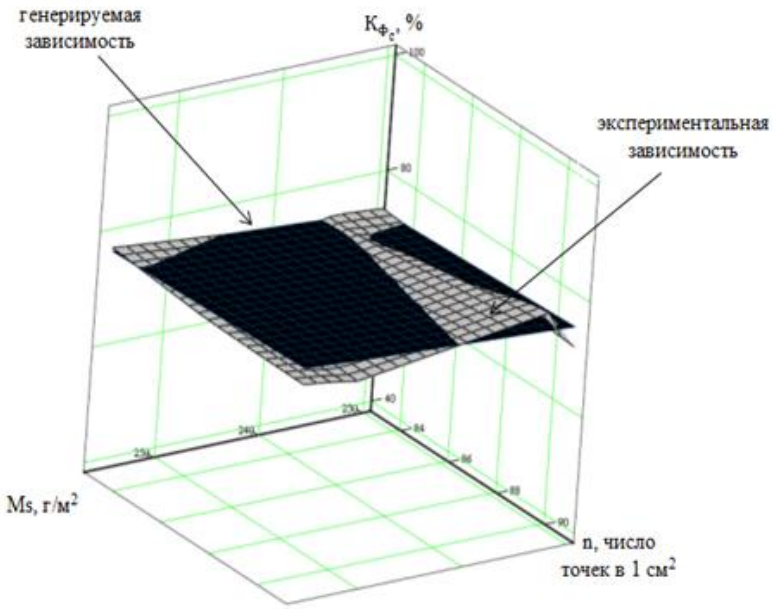


Рисунок 6.11 – Экспериментальная и генерируемая ИНС зависимости коэффициента стабильности структуры при сдвиге

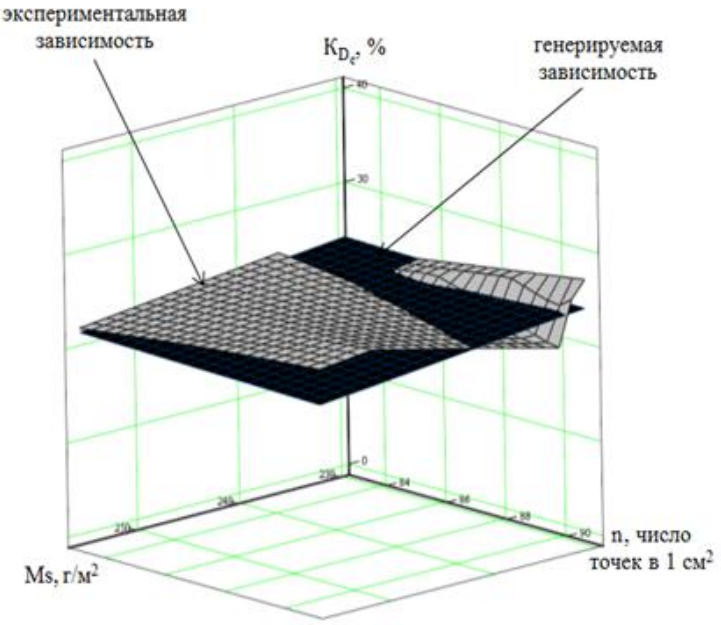


Рисунок 6.12 – Экспериментальная и генерируемая зависимости коэффициента потери внутренней энергии при сдвиге

Проверка качества обучения и прогнозирования определяется ошибкой прогнозирования для материалов, не вошедших в обучающую выборку, характеристика пакетов, выбранных для проверки, и значения ошибки прогнозирования представлены в табл. 6.5

Таблица 6.5 – Проверка качества обучения и прогнозирования с использованием ИНС

Характеристика дублированного пакета одежды		$K_{Фu}$, %		$K_{Фc}$, %		Ошибка прогнозирования, %	K_{Du}, %		K_{Dc}, %		Ошибка прогнозирования, %
Характеристика ткани	арт. ТКПМ	Эксперимен-тальный	Прогнози-руемый	Эксперимен-тальный	Прогнози-руемый		Эксперимен-тальный	Прогнози-руемый	Эксперимен-тальный	Прогнози-руемый	
Льняная ткань, полотняное переплетение, M_s = 260 г/м^2	3331 Hymo	88	83,3	–	–	4,7	22	25,9	–	–	3,9
		–	–	95	92,8	2,2	–	–	19	18,3	0,7
Камвольная ткань, креповое переплетение, M_s = 240 г/м^2	3431 Hymo	76	81,1	–	–	5,1	19	13,8	–	–	4,8
		–	–	97	93,7	3,3	–	–	21	20,4	0,6

Проверка системы прогнозирования свойств материалов показала простоту проведения аппроксимации, что свидетельствует о целесообразности использования разработанной ИНС. Преимуществом рассматриваемой системы является практически полное исключение человека из процессов организации структуры сети и обучения, что является ценным в создании самостоятельной подсистемы прогнозирования и учета свойств материалов в САПР одежды. Разработанная ИНС успешно решает задачу цифровизации конфекционирования материалов.

6.3. Прогнозирование свойств тканей с использованием системного подхода

6.3.1. Проектирование тканей с заданными свойствами

Разработанный автоматизированный измерительный комплекс позволил создать базу оцифрованных данных по малоизученным свойствам материалов, которые определяют выбор конструктивного решения методов технологической обработки и цифровизацию конфекционирования процесса проектирования изделий.

Цель работы заключается в улучшении качества изделий легкой промышленности за счет разработки и использования автоматизированных систем определения свойств материалов, позволяющих расширить информативность измерений, реализовать цифровизацию конфекционирования и прогнозирования свойств материалов при изготовлении и эксплуатации изделий.

Качество продукции определяется соответствующими нормативными документами на государственном и международном уровнях. [162, 201].

Анализ взаимосвязи характеристик строения и свойств материалов позволил реализовать целенаправленное регулирование технологических и эксплуатационных свойств материалов и изделий на основе разработки методов

их прогнозирования, которые реализуют инновационные технологии и обеспечивают выпуск высококачественных конкурентоспособных изделий легкой промышленности.

Решение этих задач осуществлялось с учетом методологических особенностей, характерных для системного подхода [159–163] (рис. 6.13).

«Системный подход – это подход, при котором любая система (объект) рассматривается как совокупность взаимосвязанных элементов (компонентов), имеющая выход (цель), вход (ресурсы), связь с внешней средой, обратную связь. Его сущность состоит в реализации требований общей теории систем согласно которой каждый объект в процессе его исследования должен рассматриваться как большая и сложная система и одновременно как элемент более общей системы» [164].

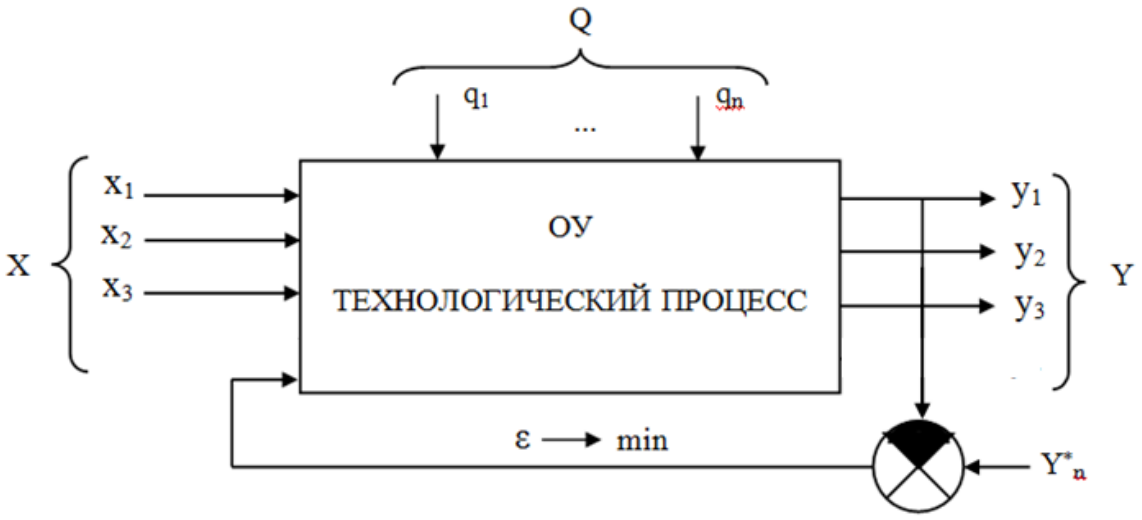


Рисунок 6.13 – Схема системы управления свойствами тканей:
X − входные параметры; Y − выходные параметры; Q − внешние возмущения;
ОУ − объект управления; Y^*_n – заданное значение; ε − отклонение

При разработке системы управления свойствами тканей [165] приняты следующие положения:

– ткань рассматривается как система, состоящая из нитей, способность которой к технологической переработке в швейные изделия зависит от характеристик строения тканей и является величиной, поддающейся изменению;

– показатели свойств тканей, определяющие их способность к переработке являются управляемыми;

– процесс прогнозирования свойств тканей реализуется посредством функциональных связей между критериями управления и характеристиками строения тканей;

– процесс ограничения возбуждается потребителем и обеспечивает соответствие выхода системы целям потребителя. Входные параметры системы X_i выбираем, исходя из возможности управления ими и решающего влияния на свойства материала, это характеристики строения: линейная плотность нитей $T_{o,y}$, плотность ткани $П_{o,y}$, раппорт переплетения $R_{o,y}$ и др.

Выходные параметры Y_i описывают конкретные свойства материала, их анализ в соответствии с требованиями потребителя позволяет целенаправленно изменять входные. К ним относятся значения жесткости, упругости, работ при изгибе, сдвиге, растяжении и др. которые определяются экспериментально или аналитически.

Заданное значение Y^*_n регламентируется спросом на продукцию, который изменяется в зависимости от направления моды в одежде и соответственно свойств тканей. Внешние возмущения Q_i: изменение температуры, влажности.

Наличие обратной связи позволяет сравнивать выборку выхода с моделью входа, Y_i с Y^*_n, оценивать содержание и смысл различия и вырабатывать решение по корректировке входных параметров, например, увеличить или уменьшить плотность ткани и т.п. Формируя процесс ввода, управляют показателями технологических и эксплуатационных свойств тканей в соответствии с требованиями потребителей, анализирующих выход системы.

Управление процессом осуществляется по отклонению, которое должно стремиться к минимуму: $|Y^*_n - Y_i| \rightarrow min$.

Функционирование системы базируется на связях между показателями свойств тканей и характеристиками структуры которые установлены с помощью проведенных экспериментальных исследований. Это обеспечит не только работу системы прогнозирования, но и управления свойствами при

проектировании тканей. В исследованиях использовались льняные ткани, выработанные на одном ткацком станке при одинаковых режимах, но с разными характеристиками плотности и переплетения. Принципы теории управления разработанной системой реализованы на практике.

Проектирование тканей с требуемыми свойствами открывает широкие возможности повышения эффективности производства и расширения ассортимента продукции с учетом потребностей.

6.3.2. Прогнозирование свойств тканей при конфекционировании

Прогнозирование свойств при выборе тканей показана на примерах определения коэффициентов тангенциального сопротивления, характеристик сдвига и жесткости в условиях динамического растяжения.

Целесообразность прогнозирования коэффициентов тангенциального сопротивления тканей определяется отсутствием ГОСТов на определение трения текстильных полотен. Задача прогнозирования заключается в определении свойств проектируемых материалов на основе управляемых параметров строения, выборе их с учетом требований изготовителей. Сведения о взаимосвязи коэффициентов тангенциального сопротивления (КТС) с характеристиками строения тканей достаточно ограничены. В отечественном материаловедении производств легкой промышленности отсутствуют сведения о коэффициентах тангенциального сопротивления льняных тканей, изделия из которых пользуются неизменным спросом. Поэтому изыскание объективной математической модели, отражающей взаимосвязь КТС с переплетением тканей, актуальна.

Экспрессный метод особенно важен на стадии проектирования, так как экспериментальные методы сложны и затратны в реализации. В условиях производства наиболее удобно применение математических моделей, отражающих взаимосвязь КТС и характеристик строения тканей.

Взаимосвязь коэффициентов тангенциального сопротивления с характеристиками строения (табл. 6.6) представлена для льняных тканей, которые были выработаны в одинаковых условиях, в лаборатории кафедры технологии и проектирования тканей и трикотажа Костромского государственного университета на станке АТ-100-5М с зевообразовательной кареткой РК-12. В качестве основы использована хлопчатобумажная пряжа T_o = *25 текс* ×2, а в утке льняная пряжа T_y = 56 *текс*. Ткани выработаны простыми и мелкоузорчатыми переплетениями.

Таблица 6.6 – Экспериментальные значения коэффициентов тангенциального сопротивления льняных тканей

Характеристики строения тканей			Экспериментальные значения КТС
Переплетение	Коэффициент переплетения $F_n = 2R_oR_y/(t_o + t_y)$	Коэффициент связности на 1 см^2 $C = П_oП_yT_{ср}/1000F_n$	
Сатиновое	6	2,25	0,63
Мелкоузорчатое (ромбовидная саржа)	3,6	3,76	0,72
Мелкоузорчатое (на базе саржи)	6	2,25	0,67
Мелкоузорчатое (рогожка)	6	2,25	0,69
Мелкоузорчатое (репс)	4	3,38	0,70
Мелкоузорчатое (усиленная саржа)	6	2,25	0,65
Мелкоузорчатое (ломаная саржа)	3,6	3,76	0,74
Мелкоузорчатое (креп)	3	4,51	0,79
Полотняное	2	6,76	0,83

Установленная степенная зависимость (рис. 6.14) КТС от коэффициентов переплетения

$$КТС = 0{,}97 \cdot F_n^{-0{,}22}. \qquad (6.10)$$

позволяет по значениям коэффициента переплетения определять КТС тканей и решать обратные задачи.

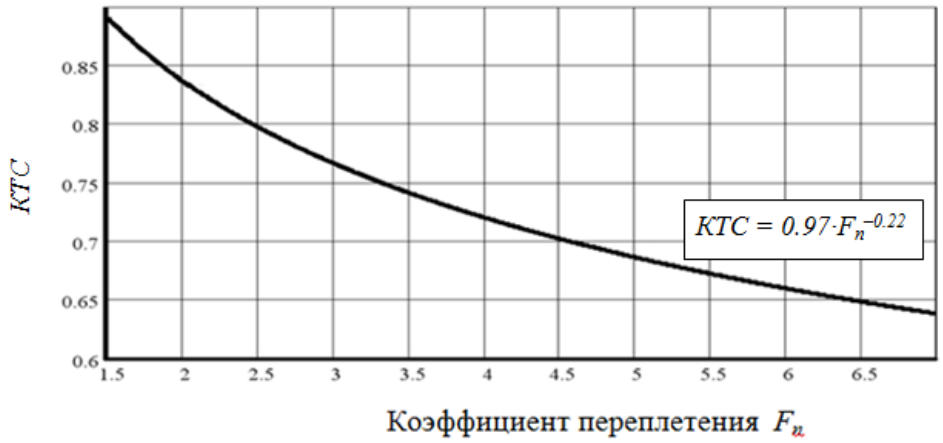


Рисунок 6.14 – Зависимость коэффициентов тангенциального сопротивления от коэффициентов переплетения тканей

Индекс корреляции, определяющий тесноту связи величин x_i и y_i, определен по формуле:

$$P_{xy} = \sqrt{1 - \frac{\sum_{i=0}^{n} \left(y_i - y(x_i)\right)^2}{\sum_{i=0}^{n} \left(y_i - \overline{y_i}\right)^2}} = 0{,}95 \tag{6.11}$$

Коэффициент детерминации:

$$r_{xy}{}^2 = P_{xy}{}^2 = 0{,}95^2 = 0{,}902 \tag{6.12}$$

Средняя ошибка аппроксимации – среднее отклонение расчетных значений от фактических вычислена как

$$\overline{A} = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^{n} \frac{y_i - y(x_i)}{y_i} \cdot 100\% = 2.3\% \tag{6.13}$$

Расчетное значение критерия Фишера:

$$F_{расч} = \frac{r_{xy}{}^2}{1 - r_{xy}{}^2}(N - 2) = 6{,}49. \tag{6.14}$$

Расчетное значение больше табличного, $F_{табл}$ = 5,59, что свидетельствует об адекватности модели.

Проверка работоспособности модели проведена на чистольняной ткани полотняного переплетения поверхностной плотностью 186 г/м^2 и показала ошибку 1,2 % (рис. 6.15), что свидетельствует о возможности использования для ассортимента льняных тканей.

Практическая значимость разработанного метода прогнозирования КТС льняных тканей по переплетению заключается в том, что, задаваясь конкретным значением коэффициента переплетения, на основании модели определяют КТС тканей и решают обратные задачи: проектирования ткани с заданным КТС, варьируя характеристиками строения тканей.

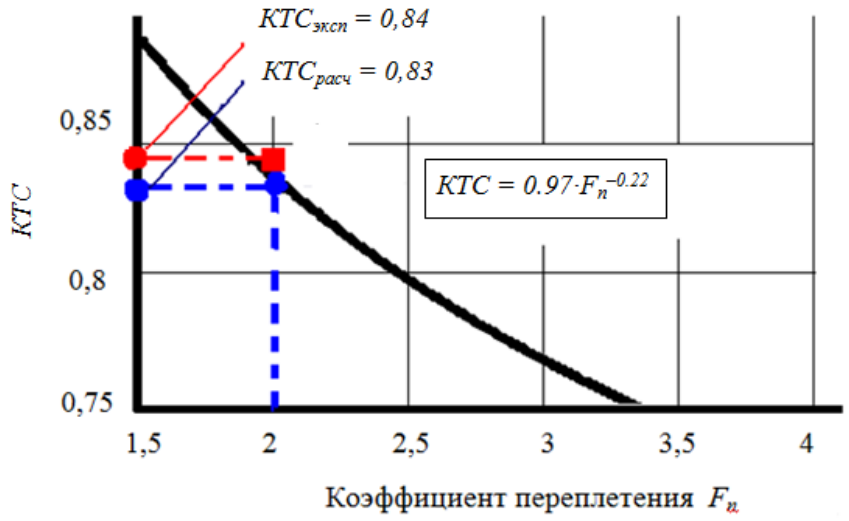


Рисунок 6.15 – Проверка работоспособности модели при F_n = 2

Аналогичный подход к прогнозированию КТС предложен для льняных тканей по коэффициенту связности в переплетении (см. табл. 6.6):

$$КТС = 0{,}55 \cdot C^{0{,}22} \qquad (6.15)$$

Научная значимость установленных зависимостей заключается в возможности проектирования тканей с заданными свойствами, варьируя характеристиками их строения.

Для проектирования текстильных полотен с заданными свойствами целесообразно воспользоваться графическими зависимостями, позволяющими определить характеристики строения полотен без проведения экспериментальных исследований.

Для проектирования тканей с коэффициентом тангенциального сопротивления равным 0,7 можно воспользоваться зависимостью КТС от коэффициентов связности нитей в переплетении (рис. 6.16), согласно которой проектируемая ткань должна иметь коэффициент связности нитей в переплетении порядка трех.

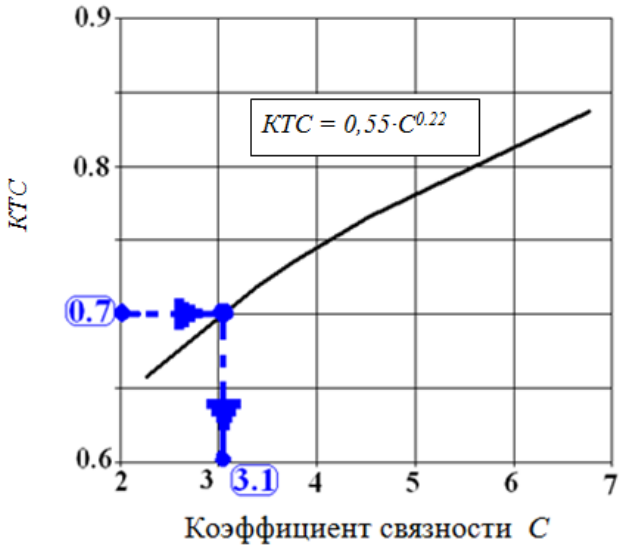


Рисунок 6.16 – Зависимость КТС от коэффициента связности нитей в переплетении по Н. С. Ереминой

Требуемые коэффициенты связности достигаются за счет варьирования таких характеристик строения как плотность ткани, линейная плотность нитей и др.

Прогнозирование характеристик сдвига: показателей жесткости, работы сдвига и восстановления после сдвига представлено для льняных тканей. Определение жесткости при сдвиге осуществляется по установленным взаимосвязям с коэффициентами связности нитей в переплетении (6.16) (рис.6.17).

$$P_{сдв} = 6{,}07 \cdot C + 11{,}05, \qquad (6.16)$$

где $P_{сдв}$ – жесткость при сдвиге нитей на 5º, как наиболее часто встречающаяся в процессе производства швейных изделий;

C – коэффициент связности нитей в переплетении по Н. С. Ереминой.

Работа сдвига (восстановления) определяется по установленным взаимосвязям с коэффициентами переплетения (6.17).

$$A_{сдв}(A_{Всдв}) = a \cdot F_n + b, \qquad (6.17)$$

где $A_{сдв}(A_{Всдв})$ – работа сдвига, работа восстановления после сдвига нитей на угол 5°;

F_n – коэффициент переплетения по Н. С. Ереминой;

a, b – коэффициенты, характерные для работы сдвига (восстановления):

для работы сдвига: a = –21,6; b = 249,1;

для работы восстановления: a = –13,1; b = 175,6.

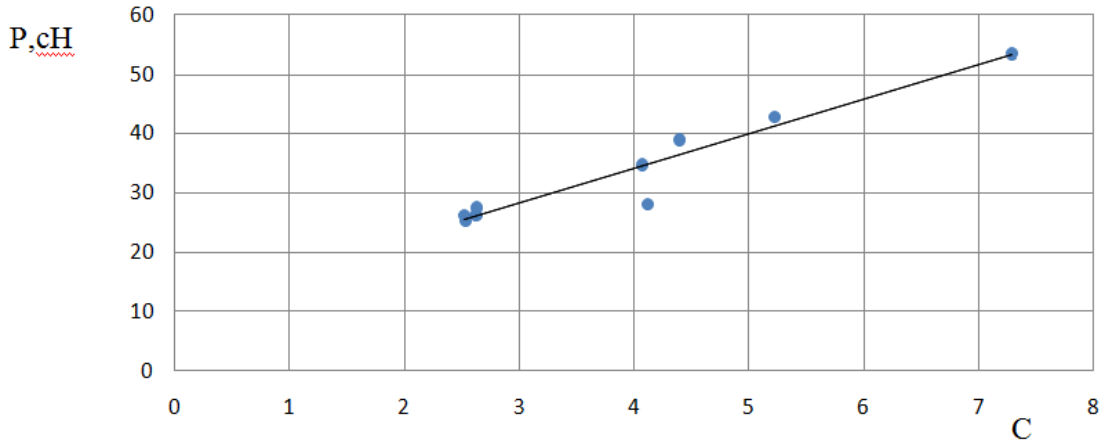


Рисунок 6.17 – Прогнозирование жесткости при сдвиге от коэффициентов связности нитей в переплетении

Проведенный регрессионный анализ моделей показал их адекватность: для модели (6.16) – коэффициент корреляции 0,97; $F_{расч}$ = 5,59 < $F_{табл}$ = 115,40; для модели (6.17) – коэффициент корреляции 0,97; $F_{расч}$ = 5,59 < $F_{табл}$ = 110,76.

Работоспособность моделей проверена для разных чистольняных костюмно-платьевых тканей (табл. 6.7, 6.8). Отклонение экспериментальных значений жесткости при сдвиге от расчетных составляет 1,6–5,3 %, а для работы сдвига и работы восстановления после сдвига составляет 2–4,8 % и 3–6,2 % соответственно.

Таблица 6.7 – Оценка работоспособности модели (6.16) для чистольняных тканей

Переплетение ткани	Жесткость при сдвиге, сН		Коэффициент связности по Н. С. Ереминой $C = \frac{П_о П_у T_{ср} (t_о + t_у)}{10^3 \, 2R_о \, R_у}$
	Расчетная $P_{расч}$	Фактическая $P_{факт}$	
Мелкоузорчатое саржевое (2/2)	32,1	30,48	3,47
Мелкоузорчатое саржевое (3/3)	23,8	22,63	2,11
Мелкоузорчатое креповое	42,04	41,37	5,11
Полотняное	47,14	45,01	5,95

Таблица 6.8 – Оценка работоспособности модели (6.17) для чистольняных тканей

Переплетение ткани	Работа сдвига $A_{сдв}$, мкДж		Работа восстановления $A_{Всдв}$, мкДж		Коэффициент переплетения $F_п = \frac{2R_о R_у}{t_о + t_у}$
	расчетная	фактическая	расчетная	фактическая	
Мелкоузорчатое саржевое (2/2)	167,14	159,4	125,77	119,26	3,8
Мелкоузорчатое саржевое (3/3)	119,69	116,56	96,91	93,38	6
Мелкоузорчатое креповое	193,03	189,25	141,52	137,35	2,6
Полотняное	205,97	198,63	149,39	140,7	2

Зависимость жесткости при сдвиге нитей от коэффициентов связности нитей в переплетении дает возможность определять по коэффициенту связности нитей в переплетении способность ортогональных систем нитей ткани изменять сетевой угол, что позволяет осуществлять выбор рационального конструктивного решения одежды в зависимости от переплетения ткани [150, 151].

Предложенные модели позволяют осуществлять выбор рационального конструктивного решения изделий с учетом переплетения тканей, что свидетельствует об их практической значимости.

Прогнозирование свойств материалов при конфекционировании по аналитическим зависимостям показателей свойств от характеристик строения позволяет осуществить рациональный выбор материалов и обеспечить качество проектируемых изделий.

Выводы по главе

1. Разработан расчетный метод, который определяет динамические свойства материалов в процессе их восстановления после изгиба, в котором осуществлено моделирование процесса восстановления ткани после изгиба.

2. Для реализации цифровизации конфекционирования при отсутствии автоматизированной измерительной системы разработан метод прогнозирования свойств тканей с помощью интеллектуальной системы, созданной на базе искусственных нейронных сетей.

3. Использование автоматизированного комплекса позволило разработать систему прогнозирования и управления свойствами при проектировании тканей. Функционирование системы базируется на связях между показателями свойств, которые установлены с помощью проведенных экспериментальных исследований, и характеристиками строения тканей.

4. Предложен метод прогнозирования показателей качества материалов при конфекционировании по аналитическим зависимостям от характеристик строения.

7. ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ РАБОТЫ

7.1. Конфекционирование материалов с учетом свойств материалов

Свойства тканей необходимо учитывать при конфекционировании. Разработан метод автоматизированного прогнозирования, созданный на базе искусственных нейронных сетей (см. п. 6.2), имеет большое практическое значение, так как позволяет осуществить научно обоснованное конфекционирование без экспериментального определения свойств материалов. Апробация метода в производственных условиях при изготовлении женской, мужской и детской одежды из льняных тканей показала экономическую эффективность метода. За счет сокращения затрат времени на конфекционирование материалов и разработку конструкций происходит снижение себестоимости продукции на 8-12 % (приложение 7.9). Конфекционирование рациональных материалов с использованием интеллектуальной системы на базе искусственных нейронных сетей при проектировании одежды позволяет улучшить качество выпускаемой продукции.

Практическая реализация метода прогнозирования свойств при проектировании тканей с использованием системного подхода позволяет обеспечить экономию сырья 13-14 % (приложение 7.10).

Использование разработанного автоматизированного измерительного комплекса позволило составить новые справочные сведения по материалам для одежды [102,110,150,156,178,181 и др.]. Для реализации цифровизации конфекционирования составлены шкалы технологических и эксплуатационных свойств материалов для одежды (приложение 6).

Использование базы данных по анизотропии свойств удобно с применением полярных диаграмм (рис. 7.1), позволяющих выбрать

рациональное направление раскроя деталей изделия, обеспечивающее высокие эксплуатационные свойства.

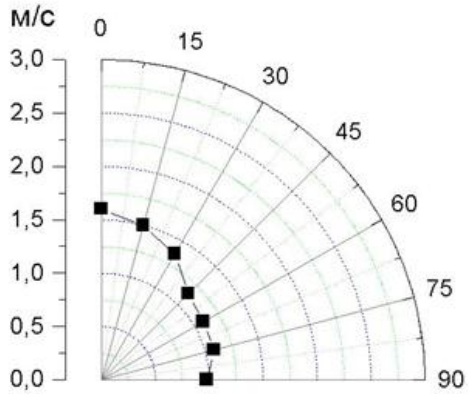


Рисунок 7.1 Анизотропия восстановления льняных тканей после изгиба

Большая скорость восстановления свидетельствует о высоких упругих свойствах материала и высокой формоустойчивости в эксплуатации.

На практике удобно использовать графические изображения (рис. 7.2 - 7.4) аналитических зависимостей (п. 6.3.2).

Выбирая ткань с коэффициентом связности нитей в переплетении 6 определяем жесткость при сдвиге 47,5 сН, а для ткани с коэффициентом связности 7,2 жесткость оценивается 55 сН (см. рис. 7.2).

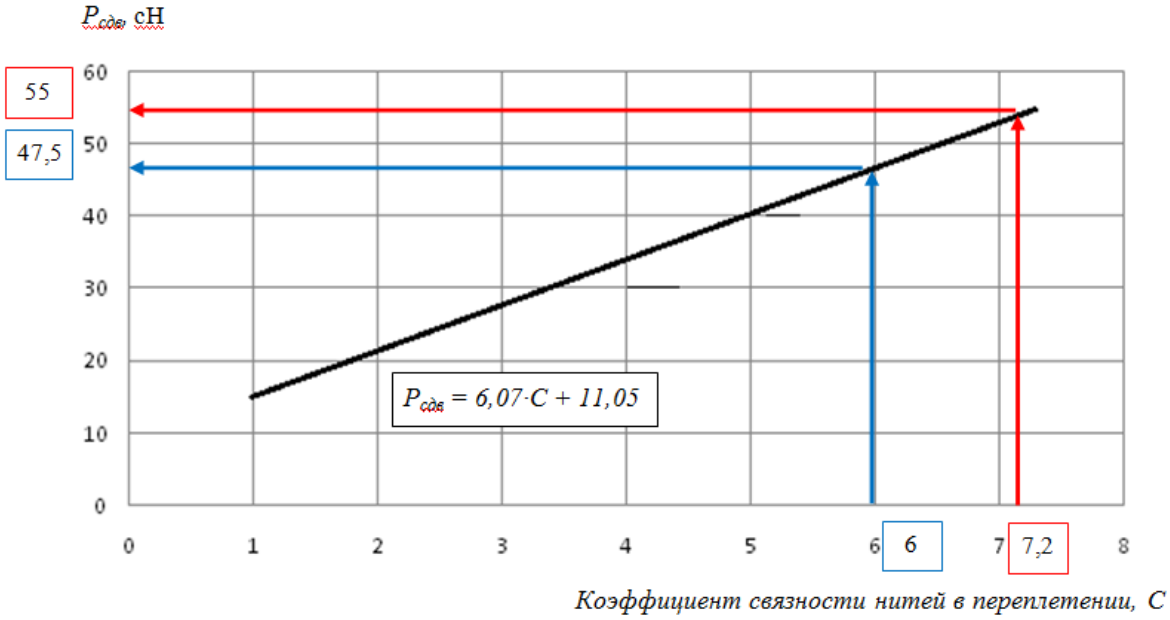


Рисунок 7.2 – Пример практической реализации метода прогнозирования жесткости по коэффициенту связности

При конфекционировании важное значение имеют характеристики работы сдвига и работы восстановления. Прогнозируя работу сдвига льняной ткани с коэффициентом переплетения 4, определяем ее значением 163 мкДж (см. рис. 7.3), а работу восстановления - 123 мкДж (см. 7.4).

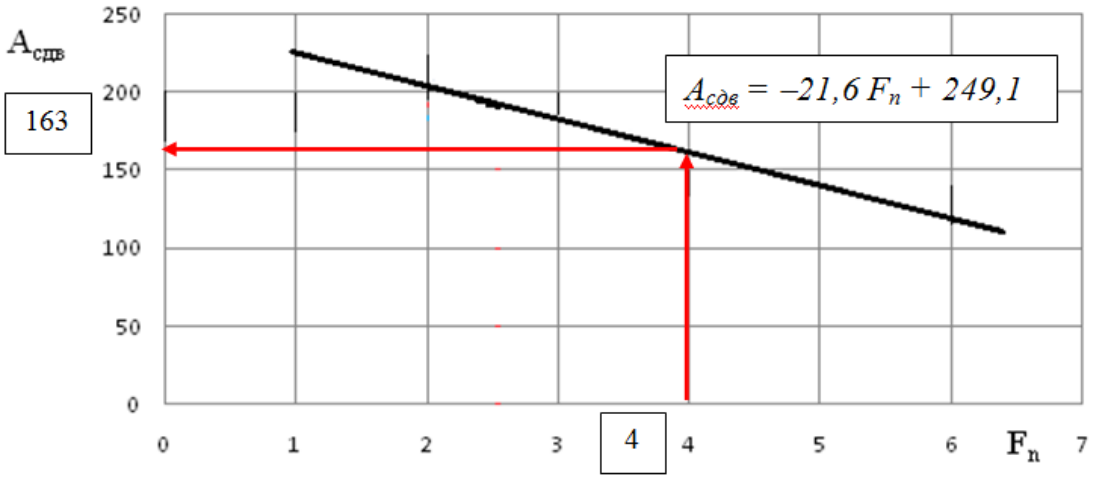


Рисунок 7.3 – Пример практической реализации метода прогнозирования работы сдвига по коэффициенту переплетения

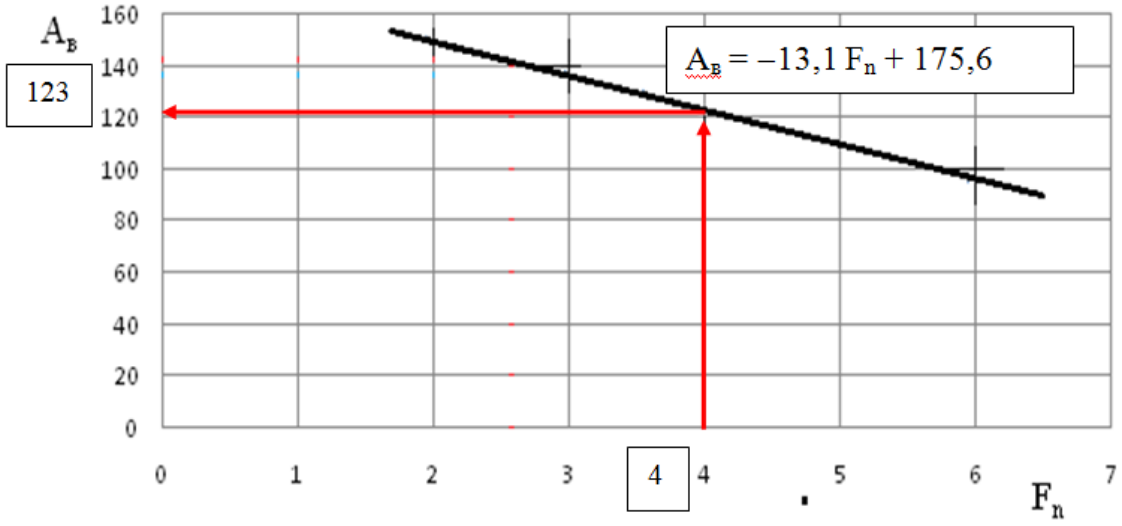


Рисунок 7.4 – Пример практической реализации метода прогнозирования работы восстановления по коэффициенту переплетения

Целесообразность практического использования созданного автоматизированного измерительного комплекса подтверждается низкой стоимостью автоматизированных устройств в сравнении с зарубежными

приборами и целесообразность импортозамещения. Например, договорная цена автоматизированного устройства с программным обеспечением для определения характеристик изгиба составила 56406,7 руб. (приложение 5), цена зарубежного аналога составляет порядка 600000 руб.

Автоматизированная система определения характеристик изгиба апробирована и получила положительную оценку ОАО «ЦНИИПИК» г.Москва, на предприятии ИП «Метелева О.В.» г. Киров, на ЗАО «Новый мир» г.Переславль-Залесский.

Основные результаты работы нашли применение на предприятиях: ООО «Серебряная нить» г.. Псков, ЗАО «МОДА», ИП «Беляева Н.В.» г. Нерехта.

Результаты диссертационной работы используются в научно-исследовательском и учебном процессах КГУ (г. Кострома) и ИВГПУ (г.Иваново).

7.2. Разработка проекта предварительного национального стандарта определения характеристик изгиба

В настоящее время в нашей стране действует ГОСТ 8977-74 «Кожа искусственная и пленочные материалы. Методы определения гибкости, жесткости и упругости». Существующий стандартный метод был разработан более 40 лет назад и не соответствуют современному уровню развития техники в текстильной и легкой промышленности России.

Характер испытаний не позволяет оценить кинетику изгиба и восстановление материала после изгиба. Характеристики недостаточно информативны. Технические средства проведения испытаний устарели, не дают точности результатов, нужной для практики текстильным предприятиям. Кроме того, ГОСТ 8977-74 имеет ограниченную область применения.

Предлагаемый проект национального стандарта «Материалы для изделий легкой промышленности. Метод определения характеристик изгиба» разработан в соответствии с ГОСТ Р 1.2-2004 «СТАНДАРТЫ

НАЦИОНАЛЬНЫЕ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ. Правила разработки, утверждения, обновления и отмены» который устанавливает правила разработки и утверждения национальных стандартов Российской Федерации, проведения работ по их обновлению, а также правила осуществления отмены действующих стандартов. Согласно п. 5.1 этого ГОСТа национальный стандарт подлежит обновлению, если его содержание не удовлетворяет современным экономическим, социальным или иным потребностям страны, в том числе не соответствует уровню развития науки и техники.

Таким образом, совершенствование существующего стандарта, а именно, объективное определение характеристик изгиба материалов, является актуальной и важной задачей.

Предлагаемый проект предварительного национального стандарта ГОСТ Р направлен на расширение области применения (ткани, нетканые полотна, дублированные системы материалов, кожа натуральная и искусственная, системы материалов), повышение информативности испытаний и получение объективных характеристик изучаемых материалов, соответствует современным тенденциям развития техники и требованиям цифровизации конфекционирования материалов.

Внедрение результатов диссертационного исследования позволит увеличить выпуск конкурентоспособной российской продукции, что будет способствовать созданию устойчиво развивающего высокотехнологичного сектора легкой промышленности в российской экономике.

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНСТВО
ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ПНСТ (проект)

МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ИЗДЕЛИЙ ЛЕГКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Метод определения характеристик изгиба

2018

ПРЕДИСЛОВИЕ

1. РАЗРАБОТАН Федеральным государственным бюджетным образовательным учреждением высшего образования «Костромской государственный университет» (ФГБОУ ВО КГУ)».
2. ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК «Продукция текстильной и легкой промышленности».
3. УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от ___.___.___ г. №_____.
4. В ЗАМЕН ГОСТ 8977-74 в части 2, 3, 4, 5

© Стандартинформ, 2018

Настоящий стандарт не может быть воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии.

МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ИЗДЕЛИЙ ЛЕГКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ
Метод определения характеристик изгиба

Срок действия:
с…….
до……..

1. Область применения

1.1 Настоящий стандарт распространяется на (ткани, нетканые полотна, дублированные системы материалов, кожа натуральная и искусственная, системы материалов) и устанавливает основные положения метода определения характеристик изгиба материалов для изделий легкой промышленности.

1.2 Применение метода должно быть указано в нормативно-технической документации на соответствующий вид материала в зависимости от условий эксплуатации.

1.3 Задачей настоящего предварительного национального стандарта является приведение существующего метода и аппаратуры в соответствие с требованиями практики, современным уровнем развития науки и техники в области текстильных материалов путем совершенствования основных положений действующего стандарта.

2. Нормативные ссылки на стандарты:

ГОСТ 20566-75. Ткани и штучные изделия текстильные. Правила приемки и метод отбора проб.

ГОСТ 10681-75. Материалы текстильные. Климатические условия для кондиционирования и испытания проб и методы их определения.

ГОСТ Р ИСО 5725-1-2002. Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. Часть 1. Основные положения и определения.

ГОСТ Р ИСО 5725-6-2002. Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. Часть 6. Использование значений точности на практике.

3. Основные понятия

3.1 Закрепленная проба – проба из материала определенной формы и размеров, предназначенная для крепления на специальной съемной площадке. В результате крепления проба принимает форму кольца (рис. 1).

3.2 Условная жесткость *P,* сН – сила сопротивления закрепленной пробы в форме кольца деформирующему воздействию при прогибе пробы на 1/3 ее высоты.

3.3 Условная упругость *У* – отношение величины распрямления закрепленной пробы в форме кольца после снятия воздействия к заданной величине прогиба при определении условной жесткости:

$$У_{изг} = \frac{l_u - l_{Bu}}{l_u} 100,$$

где l_u – величина прогиба, равная 1/3 высоты пробы, мм;

l_{Bu} – величина прогиба пробы после распрямления, мм.

3.4 Работа изгиба $A_{изг}$, мкДж – энергия, затрачиваемая на изгиб пробы.

3.5 Работа восстановления $A_{Визг}$, мкДж – энергия, затрачиваемая на восстановление пробы в процессе отдыха, характеризующая способность материала восстанавливать исходную форму после снятия деформации.

3.6 Релаксация усилия $\Delta P_{изг}$, сН – изменение усилия во времени, которое характеризует способность материала сопротивляться изгибающей нагрузке:

$$(\Delta P_{изг} = P_1 - P_2),$$

где P_1 – усилие в момент измерения жесткости, сН;

P_2 – усилие к моменту освобождения материала от действия нагрузки, сН.

Чем меньше величина падения усилия, тем более активно материал сопротивляется деформированию.

3.7 Разность работ $\Delta A_{изг}$, мкДж, затраченных на изгиб и на восстановление пробы в процессе отдыха, определяемая по площади гистерезисной петли, характеризует упругие свойства материала. Чем меньше площадь петли гистерезиса, тем меньше энергетические потери и выше упругие свойства материала:

$$\Delta A_{изг} = A_{изг} - A_{Визг}.$$

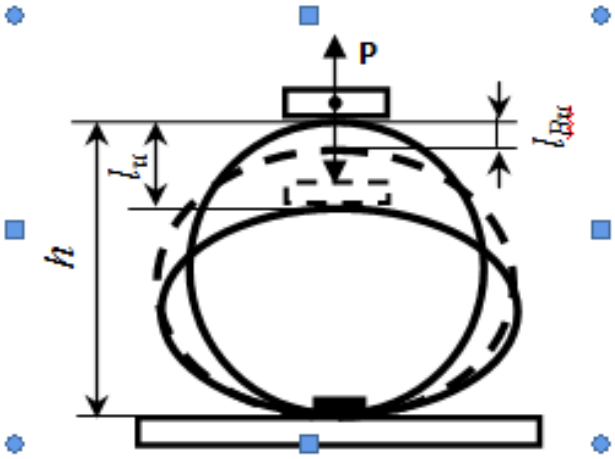


Рисунок 1 – Схема изгиба закрепленной пробы:
h – высота пробы, мм;
l_u – величина прогиба, равная 1/3 высоты пробы, мм;
l_{Bu} – величина прогиба пробы после распрямления, мм.

4. Сущность метода

Прямоугольную пробу, закрепленную в виде кольца (см. рис. 1), подвергают изгибу на 1/3 высоты (изучается процесс изгиба), выдерживают в нагруженном состоянии (изучается процесс релаксации), после чего нагрузка снимается и пробе дается отдых (изучается процесс восстановления).

5. Аппаратура и вспомогательные средства для проведения испытаний

5.1 Съемная площадка прямоугольной формы для закрепления проб материалов прямоугольной формы с прижимной пластиной (рис. 2). Ширина прижимной пластины 10 мм и пластина должна иметь на внутренней поверхности фаски на расстоянии 2 мм от краев с радиусом закругления 10 мм.

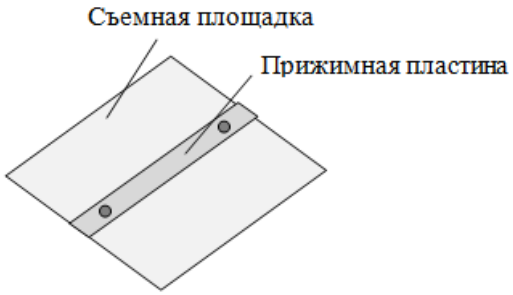


Рисунок 2 – Съемная площадка с прижимной пластиной

5.2 Шаблон Ш1 в виде прямоугольной пластины с размерами 70×20 мм (рис. 3).

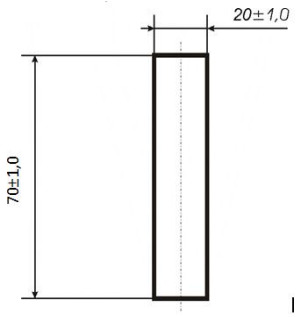


Рисунок 3 – Шаблон Ш1

5.3 Ножницы.

5.4 Шаблон Ш2 для контроля высоты закрепленной пробы высотой 22 мм.

5.5 Отвертка.

5.6 Пинцет.

5.7 Программно управляемое устройство определения характеристик изгиба (рис. 4).

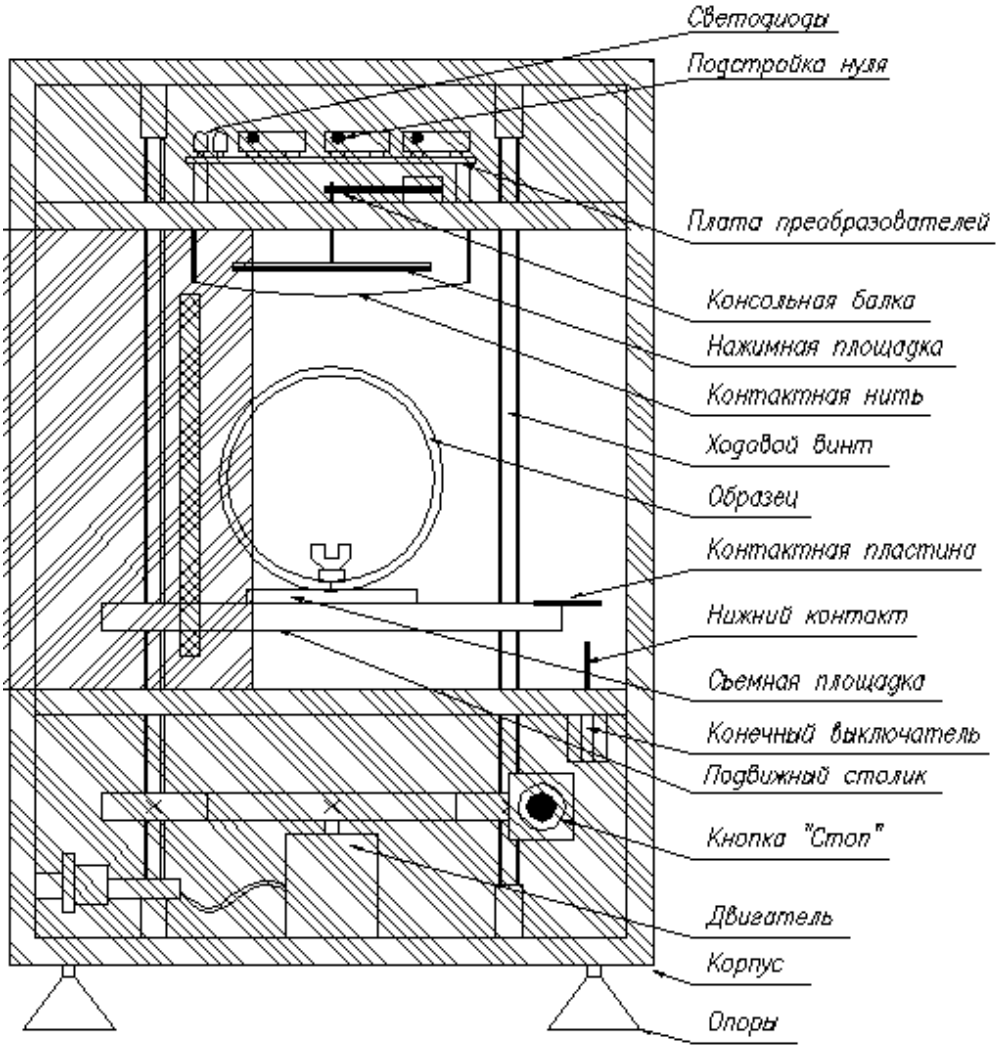


Рисунок 4 – Общий вид устройства определения характеристик изгиба

Устройство состоит из следующих основных узлов : корпуса, подъемного столика с электроприводом, датчика силы с усилителем, верхнего и нижнего контактных датчиков, электрооборудования. В устройстве нажимная площадка неподвижна, а деформирование пробы, закрепленной на съемной площадке, осуществляется путем поступательного движения столика.

Упругим элементом датчика силы является консольная балка. К балке жестко крепится нажимная площадка

5.8 Компьютер типа IBM PC с установленной операционной системой Windows XP и выше.

5.9 Компьютерная программа «Hardness».

6. Подготовка к проведению испытаний

6.1 Отбор проб производят в соответствии с ГОСТ 20566-75.

6.2 Пробы выкраивают в ортогональных направлениях (основа, уток) по шаблону Ш1. Изготовляют не менее двух проб в каждом выбранном направлении.

6.3 Для исследования анизотропии характеристик изгиба пробы выкраивают путем расположения шаблона Ш1 под выбранным углом к ортогональному направлению (рис. 5).

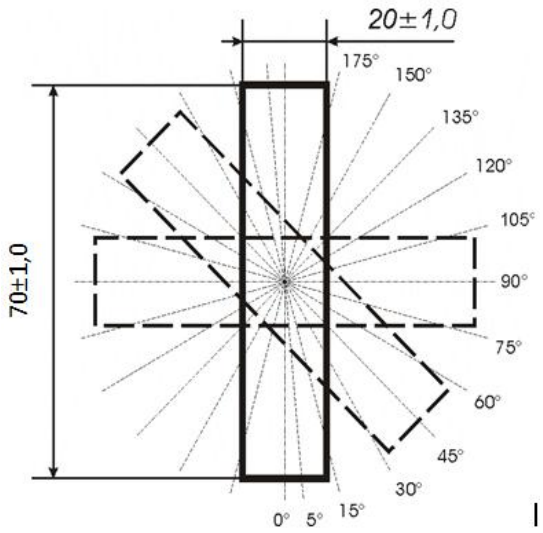


Рисунок 5 – Выкраивание проб под разным углом к направлению основы

6.4 Пробы выдерживают перед испытанием не менее 24 часов в климатических условиях по ГОСТ 10681-75. В этих же условиях проводят испытания.

6.5 Производят подготовку устройства и программного обеспечения в соответствии с инструкцией по эксплуатации.

7. Проведение испытания

7.1 Подготовленную пробу закрепляют на съемной площадке лицевой стороной наружу, зажимая концы лепестков пробы между прижимной пластиной площадки и основанием. Концы лепестков пробы размещают по разметочным линиям на прижимной пластине. Окончательную фиксацию производят винтами с помощью отвертки.

7.2 Высоту пробы контролируют шаблоном Ш2 по вертикали от съемной площадки до верхней точки на наружной поверхности закрепленной пробы.

7.3 Съемную площадку с пробой располагают на подъемном столике устройства измерения так, чтобы установочные штифты съемной площадки вошли в отверстия на подъемном столике.

7.4 В главном окне программы «Hardness» (рис. 6.) запускают процедуру измерения, заполняют анкету эксперимента, выбирают режимы измерения (табл. 1) и выполняют подстройку нуля в соответствии с инструкцией по эксплуатации устройства.

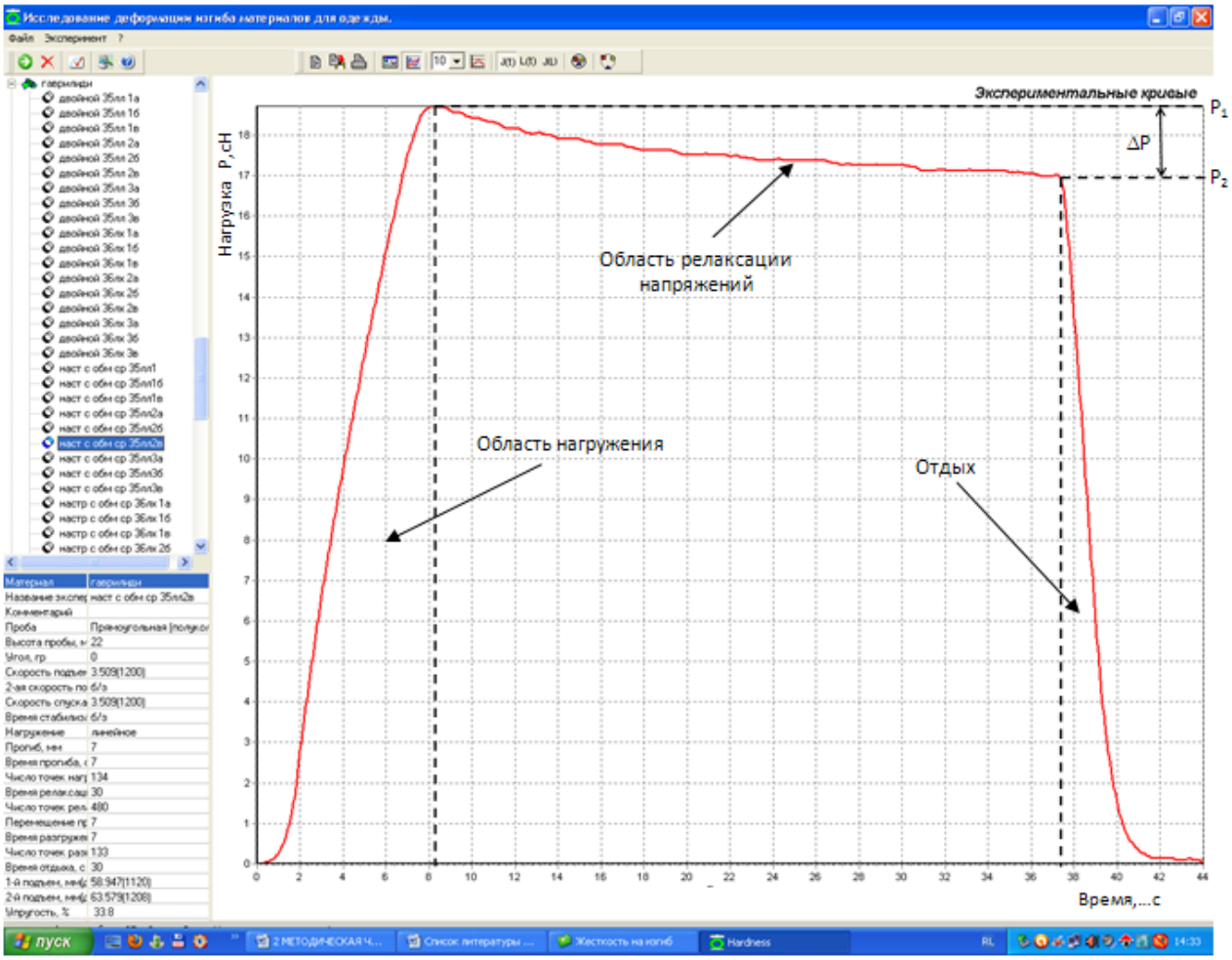


Рисунок 6 – Главное окно компьютерной программы «Hardness»

Таблица 1 – Выбор режимов и установка параметров управляющей программы

Нагружение		☒ Релаксация		☒ Разгрузка		☒ Отдых	
Прогиб, мм	7	Время, с	30	Прогиб, мм	7	Время, с	30
Время, с	7			Время, с	7		

7.5 В процессе испытания устройство производит прогиб закрепленной пробы на 1/3 высоты пробы (7 мм). Управляющая программа регистрирует через заданные интервалы времени значение силы сопротивления Р пробы, время τ с момента приложения изгибающей силы и значение прогиба ℓ пробы. При достижении максимального прогиба проба находится в деформированном состоянии 30 с – процесс релаксации пробы. После отдыха пробы в свободном состоянии в течение 30 с устройство производит измерение высоты пробы.

7.6 По завершении испытания съемную площадку снимают с подъемного столика, а пробу высвобождают из крепления.

8. Запись и обработка результатов

8.1 Значение условной жесткости определяется программно. Результат каждого измерения записывают с погрешностью не более 0,1 сН.

8.2 Значение условной упругости рассчитывается управляющей программой автоматически для каждого испытания. Результат округляют с погрешностью не более 0,1%.

8.3 С помощью управляющей программы формируют графическое представление зависимостей изменения нагрузки от деформации во времени (см. рис. 6). Графики и таблицы зависимостей выводят при необходимости на печать.

8.4 Работу изгиба $A_{изг}$ определяют с помощью управляющей программы численным методом интегрирования (метод Симпсона) по всем аргументам полученной таблицы зависимости $P(\ell)$ на интервале $\ell \in [0;\ \ell_u]$. Полученное значение работы округляют до 0,1 мкДж.

8.5 Работу восстановления $A_{Визг}$ определяют аналогично работе изгиба.

8.6 Релаксация усилия $\Delta P_{изг}$ определяется по формуле

$$(\Delta P_{изг} = P_1 - P_2),$$

где P_1 – усилие в момент измерения жесткости, сН;

P_2 – усилие к моменту освобождения материала от действия нагрузки, сН.

8.7 Разность работ $\Delta A_{изг}$ определяют по формуле

$$\Delta A_{изг} = A_{изг} - A_{Визг}.$$

8.8 За окончательный результат определения условных показателей жесткости и упругости материалов принимается среднее арифметическое результатов параллельных определений отдельно для каждого направления.

8.9 Среднее арифметическое значение жесткости вычисляют с погрешностью не более 0,01 сН и округляют до 0,1 сН.

8.10 Среднее арифметическое значение упругости до 50% вычисляют с погрешностью не более 0,1%; 50% и более – с погрешностью не более 1%.

8.11 Показатели сходимости и воспроизводимости результатов измерений определяются согласно ГОСТ Р ИСО 5725-6-2002.

8.12 По результатам испытаний формируют анкету (табл. 2). К ней прикладывают графики и таблицы значений зависимостей. Файлы с данными о проведении испытания и его результатах, которые формируются управляющей программой для каждого испытания, сохраняют для автоматической обработки.

Таблица 2 – Форма записи результатов испытаний

Материал						
Тип пробы						
Высота пробы, мм						
План эксперимента						
Нагружение		☐ Релаксация		☐ Разгрузка		☐ Отдых
Прогиб, мм		Время, с		Прогиб, мм		Время, с
Время, с				Время, с		
Результаты экспериментов						
Направление, град	*P*, сН	*У*, %	$A_{изг}$ мкДж	$A_{Визг}$, мкДж	$\Delta P_{изг}$ *сН*	$\Delta A_{изг}$ мкДж
0(основа)						
15						
30						
45						
60						
75						
90(уток)						

Ключевые слова: текстильные материалы, изгиб, метод измерения, автоматизированное устройство.

Ректор
ФГБОУ ВО КГУ _____ А.Р. Наумов

Выводы по главе

1. Показана практическая реализация метода прогнозирования свойств материалов с использованием системного подхода, осуществляемая с применением полярных диаграмм и графических зависимостей позволяет выбрать рациональное направление раскроя деталей изделия обеспечивающее высокие эксплуатационные свойства.
2. Для реализации цифровизации конфекционирования составлены шкалы технологических и эксплуатационных свойств материалов для одежды. Целесообразность практического использования созданного автоматизированного измерительного комплекса подтверждается низкой стоимостью автоматизированных устройств в сравнении с зарубежными приборами и актуальностью импортозамещения.
3. Разработан проект национального стандарта ГОСТ Р «Материалы для изделий легкой промышленности. Метод определения характеристик изгиба», целью которого является приведение действующего стандарта соответствию требованиям развития науки и техники.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработка и производство материалов с требуемыми технологическими и потребительскими свойствами возможны при наличии информации о поведении материала при его переработке и эксплуатации. Необходимо понимание всех особенностей используемых материалов и их изменений в технологическом процессе производства одежды и под влиянием факторов окружающей среды.

С целью приближения условий испытаний к условиям их переработки и эксплуатации в одежде разработан автоматизированный измерительный комплекс, позволяющий получить новые характеристики свойств материалов и реализовать возможность измерения свойств тканей при изгибе, сдвиге, растяжении. Проведенные исследования показали, что созданный автоматизированный комплекс и методы, реализуемые с его использованием, универсальны и могут быть рекомендованы в качестве основы для разработки новых ГОСТов.

Основные выводы по результатам исследований, выполненных в диссертационной работе:

1. На основе анализа стандартных и общепринятых методов и средств для определения свойств текстильных материалов в условиях изгиба, сдвига и растяжения разработаны классификации методов, отражающие средства и параметры испытаний, используемые характеристики.

2. Анализ существующих стандартных и общепринятых методов и приборов для оценки свойств полотен показал низкий уровень автоматизации измерений, большинство приборов морально устарели, не соответствуют современному уровню развития науки и техники и не позволяют реализовать цифровизацию конфекционирования материалов.

3. Разработаны методологические основы создания автоматизированного измерительного комплекса, объединяющего новые автоматизированные системы и устройства для определения свойств текстильных материалов, основанные на современной микроэлектронной базе.

4. Разработан и создан новый автоматизированный комплекс для определения основных свойств полотен, реализующий статический и динамический характер испытаний, отличающийся высокой информативностью, точностью, приближением к реальным условиям изготовления и эксплуатации швейных изделий и позволяющий цифровизировать конфекционирование материалов и решить задачу импортозамещения.

5. Реализовано моделирование свойств материалов в динамических условиях изгиба, позволяющее получать цифровую информацию о свойствах материалов после изгиба.

6. Разработан метод прогнозирования свойств тканей с помощью интеллектуальной системы, созданной на базе искусственных нейронных сетей с использованием новых характеристик свойств материалов, полученных на автоматизированном комплексе и позволяющий реализовать цифровизацию конфекционирования при отсутствии автоматизированных измерительных систем.

7. Показана возможность использования разработанной системы прогнозирования на основе функциональных взаимосвязей для проектирования тканей с заданными свойствами.

8. Экспериментальные исследования с использованием автоматизированного комплекса и характеристик свойств текстильных материалов для изделий легкой промышленности сформировать базу новых данных, необходимую для цифровизации конфекционирования.

9. Разработан проект предварительного национального стандарта ГОСТ Р «Материалы для изделий легкой промышленности. Метод определения характеристик изгиба», целью которого является приведение действующего стандарта соответствию требованиям развития науки и техники.

10. Технические решения и результаты работы апробированы на производстве и использованы заинтересованными организациями: ОАО «ЦНИИПИК» г. Москва, ООО «Серебряная нить» г. Псков, ЗАО «Новый мир» г.Переславль-Залесский, ИП «Метелева О.В.» г.Киров, ЗАО «МОДА» г. Кострома ООО «ПАЗЛ» г. Кострома., ИП «Беляева Н.В.» г. Нерехта, ООО «Вотекс», г.Вологда.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бузов Б.А. Материаловедение в производстве изделий легкой промышленности (швейное производство): учебник для студ. высш. учеб. заведений / Б. А. Бузов, Н. Д. Алыменкова; под ред. Б. А. Бузова. – 2-е изд., испр. – М.: «Академия», 2004. – 448 с.
2. Материаловедение в производстве изделий легкой промышленности: Учебник для студ. высш. учеб. заведений / А. П. Жихарев, Д. Г. Петропавловский, С. К. Кузин, В. Ю. Мишаков. – М.: Издательский центр «Академия», 2004. – 448 с.
3. Большая советская энциклопедия. – 3-е изд. – М.: Сов. энциклопедия, 1978.
4. Сопротивление материалов: учеб. для вузов / А. В. Александров, В. Д. Потапов, Б. П. Державин; под ред. А. В. Александрова. – 3-е изд. испр. – М.: Высш. шк., 2003. – 560 с.: ил.
5. Измеритель жесткости на изгиб текстильных, бумажных материалов. [Электронный ресурс] – Режим доступа : https://www.metrotex.ru/products/mt-360 (дата обращения: 15.05.2019).
6. Соловьев А. Н. Оценка жесткости текстильных материалов при изгибе / А. Н. Соловьев, Р. С. Рюха. – М.: ЦНИИТЭИлегпром, 1970.
7. KES-FB Kawabata. [Электронный ресурс] – Режим доступа : http://www.english.keskato.co.jp/products/ (дата обращения: 12.05.2019).
8. Кукин Г. Н. Текстильное материаловедение (волокна и нити). / Г. Н. Кукин, А. Н. Соловьев [и др.]. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Легпромбытиздат, 1989. – 352 с.
9. Гордеев В.А. Динамика механизмов отпуска и натяжения основы ткацких станков / В. А. Гордеев. – М.: Легкая индустрия, 1965. – 228 с.
10. Кузьмичев В. Е. Свойства текстильных материалов, влияющие на процессы изготовления швейных изделий / В. Е. Кузьмичев, О. Г. Ефимова. – Иваново: ИХТИ, 1992. – 56 с.

11. Лобья Л. И. Ползучесть и релаксация напряжения тканей / Л. И. Лобья, В. Е. Романов, А. М. Сталевич // Известия ВУЗов. Технология легкой промышленности. – 1990. – №5. – С. 33–35.
12. Мортон В.Е. Механические свойства текстильных волокон / В.Е. Мортон, Д.В.С. Херл – М.: Легкая индустрия, 1971. – 184 с.
13. ГОСТ 3813-72 (ИСО 5081-77, ИСО 5082-82). Материалы текстильные. Ткани и штучные изделия. Методы определения разрывных характеристик при растяжении (с Изменениями № 1, 2, 3). – Введ. 1973-01-01. Взамен ГОСТ 3813-47. – М.: Изд-во стандартов, 1990. – 52 с.
14. ГОСТ 8847-85. Полотна трикотажные. Методы определения разрывных характеристик и растяжимости при нагрузках меньше разрывных (с Изменением № 1). – Введ. 1985-28-11. Взамен ГОСТ 8847-75. – М.: Издательство стандартов, 1986. – 20 с.
15. ГОСТ 15902.3-79. Полотна нетканые. Методы определения прочности (с Изменениями № 1, 2). – Введ. 1980-07-01. – М.: Издательство стандартов, 1999. – 7 с.
16. ГОСТ 29104.4-91. Ткани технические. Метод определения разрывной нагрузки и удлинения при разрыве. – Введ. 1993-01-01. Взамен ГОСТ 3813-72. – М.: Издательство стандартов, 2004. – 6 с.
17. ГОСТ 6611.2-73 (ИСО 2062-72, ИСО 6939-88) Нити текстильные. Методы определения разрывной нагрузки и удлинения при разрыве (с Изменениями № 1, 2, 3, 4, 5). – Введ. 1976-01-01. Взамен ГОСТ 6611.3-69. – М.: Издательство стандартов, 1997. – 35 с.
18. ГОСТ 23364-2001. Нити синтетические текстурированные. Метод определения разрывной нагрузки и удлинения при разрыве. – Введ. 2003-03-01. Взамен ГОСТ 23364-78. – М.: Издательство стандартов, 2002. – 5 с.
19. ГОСТ 938.11-69. Кожа. Метод испытания на растяжение (с Изменениями № 1, 2). – Введ. 1970-01-01. Взамен ГОСТ 938-45. – М.: Издательство стандартов, 2003. – 9 с.

20. Кириллова Л.И. Исследование упругих свойств материалов пакетов одежды / Л. И. Кириллова. // Сборник научных трудов. – 1986. – С.17-19.
21. ГОСТ 10550-93. Материалы текстильные. Полотна. Методы определения жесткости при изгибе. – Введ. 1995-01-01. Взамен ГОСТ 10550-75. – М.: Изд-во стандартов, 1995. – 10 с.
22. ГОСТ 8977-74. Кожа искусственная и пленочные материалы. Методы определения гибкости, жесткости и упругости (с Изменениями № 1, 2, 3). – Введ. 1975-07-07. Взамен ГОСТ 8977-59. – М.: Издательство стандартов, 1998. – 8 с.
23. ГОСТ 12.4.090-86. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Средства индивидуальной защиты. Метод определения жесткости при изгибе. – Введ. 1987-07-01. Взамен ГОСТ 12.4.090-80.– М.: Издательство стандартов, 2003. – 4 с.
24. ГОСТ 9187-74. Обувной картон. Метод определения жесткости и изгибостойкости при статическом изгибе (с Изменением № 1). – Введ. 1976-01-01. Взамен ГОСТ 9187-59. – М.: Издательство стандартов, 1987. – 5 с.
25. Бузов Б. А. Практикум по материаловедению швейного производства: Учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / Б. А. Бузов, Н. Д. Алыменкова, Д. Г. Петропавловский. – М.: Академия, 2003. – 416 с.
26. Кесвелл Р. Текстильные волокна, пряжа и ткани / Р. Кесвелл. – М.: Ростехиздат, 1960. – 564 с.
27. ГОСТ 9582-75. Бумага и картон. Метод определения жесткости при статическом изгибе (с Изменениями № 1,2). – Введ. 1977-01-01. Взамен ГОСТ 9582-60. – М.: Издательство стандартов, 1988. – 4 с.
28. Замышляева В. В. Разработка классификации экспериментальных методов определения жесткости при изгибе материалов текстильной и легкой промышленности / В. В. Замышляева, Н. А. Смирнова, В. В. Лапшин // Изв. вузов. Технология легкой промышленности. – 2009. – №4. – С. 19–26.
29. Патент РФ № 2163017, МПК G01N 33/36. Способ определения жесткости текстильных материалов при изгибе / Н. А. Смирнова, А. В. Смирнов, Е. А.

Мальцева; заявитель и патентообладатель Костромской гос. технол. ун-т; опубл. 10.02.2001, Бюл. № 4.

30. Бузов Б.А., Иванова Е.А., Соколов Н.В. Формоустойчивость клеевых соединений. – Швейная промышленность, 1997, № 6, с. 27-29.
31. ГОСТ 6943.11-93 (ИСО 4604-78). Стекловолокно. Ткани. Метод определения жесткости при изгибе флексометром с постоянным углом. – Введ. 1996-07-01. Взамен ГОСТ 6943.11-79.– М.: Издательство стандартов, 2002. – 5 с.
32. Киселева А. Д. Установка для определения жесткости на изгиб технических тканей / А. Д. Киселева, В.А. Буфетов // Текстильная промышленность. – 1982. – № 10. – С. 62-63.
33. Патент РФ № 2300751. Способ определения деформационных показателей полимерных материалов / В. Н. Блокуров. 2007. БИ № 16.
34. Белокуров В. Н. Деформационные процессы в вязкоупругих материалах в квазистатическом и динамическом резонансных режимах: монография / В. Н. Белокуров. – М.: ИИЦ МГУДТ, 2006 – 246 с.
35. Замышляева В.В. Анализ методов определения показателей жесткости текстильных материалов при их растяжении / В. В. Замышляева, Н. А. Смирнова, В. В. Лапшин // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. – 2009. – № 4. – С. 10−12.
36. Налетов В.В. Зависимость между деформацией и усилием в текстильных материалах в условиях кратковременных нагружений / В.В. Налетов // Технология текстильной промышленности. – 1975. – № 4. – С. 20–24.
37. Chen M. X. A wrinkled membrane model for cloth draping with multigrid acceleration / M. X. Chen, Q. P. Sun, Z. Wu, M. F. Yuen // Trans. ASME. J. Manuf. Sci. and Eng. – 1999. – №4. – С. 695-700.
38. Fischer P. Simulating the drape behavior of fabrics / P. Fischer, S. Krzywinski, H. Rodel, A. Schenk, V. Ulbricht // Text. Res. J. – 1999. – №5.– С. 331-334.
39. Алешин Р.Р. Установка для динамических испытаний нитей / Р.Р. Алешин, Е.А. Разумовская, В.Г. Тиранов // Химические волокна, № 4, 2008. – С. 9-11.

40. Некрашевич А.Б. Разработка метода оценки упруго-релаксационных свойств текстильных нитей технического назначения в динамическом режиме: автореф. дис.. кандидата техн. наук / Некрашевич А.Б. – ЛИТЛП им. Кирова, Ленинград 1987.
41. Кобляков А.И., Кукин Г.Н. О методах определения составных частей деформации растяжения тканей. // Известия ВУЗов. Технология легкой пром-сти, 1967, №5. - С. 31-38.
42. Жихарев А. П. Теоретические основы и экспериментальные методы исследования для оценки качества материалов при силовых, температурных и влажностных воздействиях: монография / А. П. Жихарев. – М.: ИИЦ МГУДТ, 2003 – 327 с.
43. Ямаути С. Гриф тканей в зависимости от типов исходных материалов и их структуры. // Технические Новости. Научно-исследовательская лаборатория ткачества и вязания «Камацу» фирмы Тейдзин.
44. Танака М. Зависимость грифа тканей и трикотажа от их динамических свойств / Митикадзу Танака // Технические новости. – 2002.
45. Труевцев А.В. Особенности деформирования хлопчатобумажного трикотажа при малых нагрузках. / Труевцев А.В, Нестеров Н.Ю., Серебров Т.Ю, Котов Т.П // Известия ВУЗов. Технология текстильной пром-сти, 1994, №6. - С. 10-13.
46. Чюкас Р.В. Разработка инструментальных методов и средств исследований характеристик растяжения высокорастягиваемых тканей. Автореф. дисс... к.т.н. - Каунас, 1973. - 28 с.
47. Андреева А.П. Определение восстанавливаемости эластичных материалов по времени исчезновения упруго-эластических деформаций / Андреева А.П., Сухарев М.И. // Известия ВУЗов. Технология легкой пром-сти, 1976, №2. - С. 32-34.
48. Стефанок Е.М. Влияние деформирования на релаксационные свойства полуэластичного трикотажного полотна / Стефанок Е.М., Семак Б.Д.,

Ковальский А.Г. // Известия ВУЗов. Технология легкой пром-сти, 1976, №4. - С. 34-39.

49. Кукин Г.Н. Текстильное материаловедение (полотна и ткани) / Кукин Г.Н., Соловьев А.Н., Кобляков А.И. -М.: Легпромбытиздат, 1992. - 238 с.
50. Тейтельбаум Б.Я. Термомеханический анализ полимеров / Тейтельбаум Б.Я. – М.: Наука, 1979. – 236 с.
51. Лабораторный практикум по материаловедению изделий из кожи: Учеб. пособие для вузов / Бернштейн М.М., Жихарев А.П., Булатов Г.П. и др. - М.: Легпромбытиздат, 1993. – 384 с.
52. Александров А.П., Лазуркин Ю.С. // Журнал технической физики. – 1939, №9, С. 5.
53. Каргин В.А. Соголова Т.И. // Жизнь физической химии., 1949, №23, с.80, 530.
54. Пугачева И. Б. Построение классификации методов термомеханического анализа полимеров / И. Б. Пугачева, В. В. Лапшин, Н. А. Смирнова // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. – 2005. – № 3. – С. 19–20.
55. Смирнов А.П. Исследование упругопластических свойств материалов легкой промышленности методами акустики в диапазоне частот от 1 до 10^5 Гц. / М. МТИЛП, 1967, Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук, 23 с.
56. Смирнов А.П, Жихарев А.П. Исследование влияния аэродинамического сопротивления внешней среды на колебания систем с распределенной массой / Известия вузов. Технология легкой промышленности, 1968, № 3, 61-65 с.
57. Смирнов А.П., Васильев С.С. Решение основного уравнения изгибных колебаний балки с распределенными параметрами при учете диссипации энергии во внешнюю среду / –М., МТИЛП, Научные труды, 1970, вып. 36, с. 229–233.

58. Практикум по материаловедению в производстве изделий легкой промышленности: Учеб. пособие для вузов / Жихарев А.П., Петропавловский Д.Г. и др. - М.: Академия, 2004. – 448 с.
59. Перепелкин К.Е. Термомеханические методы оценки свойств технических нитей. Новые методы оценки качества текстильных материалов. // Тр. 8 Всесоюзной конференции по текстильному материаловедению. – Ленинград, 1974. – С. 236-240.
60. Брагинский Г.И., Сталевич А.М. и др. Механика полимеров. – 1967. – С. 940.
61. Перепелкин К.Е., Утевский Л.Е. Термомеханические свойства водорастворимых ПВС волокон в водной среде. // Текстильная промышленность, 1966, №6.
62. Шошина В.И., Никонович Г.В., Ташпулатов Ю.Т. Изометрический метод исследования полиметных материалов, Ташкент, 1989, с. 248.
63. Александров А.П., Лазуркин Ю.С. //Журнал технической физики. – 1939, №9, – с. 5.
64. Каргин В.А. Соголова Т.И. // Жизнь физической химии. – 1949, № 23, – с.80, 530 с.
65. Рудаков А.П., Семенов Н.А. Механика полимеров. – 1965. 155 с.
66. Перепелкин К.Е. Структура и свойства волокон. – М.: Химия, 1985.
67. Смирнова Н.А. Оценка технологичности материалов для одежды методом термомеханического анализа // Сборник научных трудов молодых ученых КГТУ. – 1997. – №1. – с. 97–98.
68. Смирнова Н.А. Использование термомеханического анализа для оценки тепловых и влажнотепловых обработок волокнистых материалов / Смирнова Н.А., Перепелкин К.Е., Койтова Ж.Ю., Юдина Л.П. // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. -1998. -№5, -с. 115-116.
69. Гордон Д. Конструкции, или почему не ломаются вещи / Джеймс Гордон Перевод к.ф.-м.н. В.Д. Эфроса под редакцией д.т.н., проф. С.Т. Милейко. – М.: Издательство "Мир", 1980.

70. Кукин Г. Н. Текстильное материаловедение /Г. Н.Кукин, А. Н.Соловьев // Часть 3. Учебник для вузов второе издание, переработанное и дополненное.–М.: Легкая индустрия, 1967.–303с.
71. Улучшенные механические испытательные системы серии 5900 Instron [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http: //www.instron.ru/wa/product/5900-Series-Mechanical-Testing-Systems.aspx
72. ADMET Predictor - Simulations Plus, Inc [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://www.simulations-plus.com/Products.aspx?pID=13
73. Systems Corporation MTS [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://www.linkedin.com/company/mts-systems
74. Разрывная машина Tinius Olsen [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.utmachines.ru/tinius-olsen-h50kt-h50ks.html
75. Zwick/Roell - ASMEC - advancedsurfacemechanics [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.asmec.de/zwickroell.html
76. Патент RU 2345746 C2 Российской Федерации. Поглощающее изделие, содержащее эластичный ламинат. Лаксо Э., Хильдеберг Й. 2008. Бюл. №4.
77. Bernard Andrew Blake.Factors Affecting Human Comfort Response to Garments. (Under the direction of Dr. Roger Barker and Dr. David Hinks). [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://www.sensorprod.com/news/white-papers/2009_fah/wp_fah-2009.pdf
78. Recent progress in the objective measurement of fabric hand. / Kawabata S, Niwa M. // Textile Science., 2001. Volume 1., с. 12-19.
79. SiroFAST fabric quality assurance system. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://www.csiro.au/Organisation-Structure/Divisions/CMSE/Fibre-Science/SiroFAST-fabric-quality-assurance-system.aspx
80. Кузьмичев В.Е. Инструментальное обоснование допустимой кривизны конструктивных линий внутреннего членения в одежде / В.Е. Кузьмичев, Д.С. Адольф, Л. Шашер, С. Раноу, А. Колет // Швейная промышленность. – 2014, -№1. –с. 40 – 44.

81. Ло Ю. Конструктивное обоснование получения объемно-пространственной формы одежды/ Ю. Ло, В.Е. Кузьмичев // Швейная промышленность. – 2010, –№4. –с. 40 – 4.
82. Жаппарова А.К. Влияние деформационных свойств материалов на эргономичность школьной формы / А.К. Жаппарова, В.А. Мастейкайте, Т.П. Герасимович, [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://vestnik.kazntu.kz/files/newspapers/57/1902/1902.pdf
83. Патент РФ № 2267784, МПК G01N 33/36. Способ определения свойств материалов текстильной и легкой промышленности при изгибе / Н. А. Смирнова, В. В. Лапшин, Д. А. Козловский [и др.]; заявитель и патентообладатель Костромской гос. технол. ун-т; опубл. 10.01.2006, Бюл. № 1. – 7 с.
84. Лапшин В. В. Автоматизированное устройство для определения жесткости и упругости материалов и пакетов материалов / В. В. Лапшин, Н. А. Смирнова, Д. А. Козловский // Вестник Костромского государственного технологического университета. – 2004. – № 9. – С. 32–34.
85. Лапшин В. В. Управляющая программа определения показателей жесткости и упругости текстильных материалов Hardness / В. В. Лапшин, Д. А. Козловский // Аннотированный каталог средств программного обеспечения, применяемого в КГТУ. – Кострома, 2004. – С. 7.
86. Лапшин В. В. О выборе датчиков для измерения основных показателей качества материалов для одежды / В. В. Лапшин, Д. А. Козловский // Сборник научных трудов молодых ученых КГТУ. – Кострома, 2004. – Вып. 5. – С. 74–77.
87. Лапшин В. В. Оценка погрешности устройства для измерения натяжения нити / В. В. Лапшин // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. – 2011. – № 3. – С. 17–20.
88. Лапшин В.В. Определение динамической погрешности автоматизированных устройств контроля качества текстильных материалов / В.В. Лапшин //

Вестник Костромского государственного технологического университета. – 2013. – № 1(30). – С. 29–31.

89. Лапшин В. В. Метрологические характеристики измерительного комплекса для исследования свойств текстильных полотен / В. В. Лапшин // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. – 2014. – № 5. – С. 5–8.
90. Замышляева В.В. Конфекционирование материалов для изделий костюмной группы с учетом свойств дублированных пакетов одежды / В.В. Замышляева, Н.А. Смирнова // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. – 2015. – № 5. – С. 17–21.
91. Замышляева В. В. Определение влияния швов на характеристики изгиба и сдвига костюмных тканей / В. В. Замышляева, Н. А. Смирнова // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. – 2016. – № 1(361). – С. 39–42.
92. Замышляева В. В. Об оценке качества швейных изделий по свойствам материалов / В. В. Замышляева, Н. А. Смирнова, М. А. Зырина // Инновационные технологии в текстильной и легкой промышленности : сб. тр. Междунар. науч.-техн. конф. посвященной Году науки (21–22 ноября 2017 г.) / Витебский гос. технол. ун-т. – Витебск, 2017. – С. 41–44.
93. Лапшин В. В. Экспериментальные методы определения показателей качества материалов для изделий текстильной и легкой промышленности : монография / В. В. Лапшин. – Кострома : Изд-во Костром. гос. технол. ун-та, 2010. – 96 с.
94. Патент РФ № 2422822, МПК G01N 33/36. Способ определения релаксационных свойств материалов при изгибе / В. В. Замышляева, Н. А. Смирнова, В. В. Лапшин, Д. А. Козловский, Е. Е. Хохлова; заявитель и патентообладатель Костромской гос. технол. ун-т; опубл. 27.06.2011, Бюл. № 18. – 6 с.
95. Лапшин В.В. Программа MathExp для математической экспресс-обработки и анализа результатов экспериментов / В. В. Лапшин, Н. А. Смирнова, Д. А.

Козловский // Аннотированный каталог средств программного обеспечения, разработанных в КГТУ. – Кострома : КГТУ, 2005. – С. 7.

96. Справочник по хлопкоткачеству / Э. А. Оников, П. Т. Букаев, А. П. Аленова [и др.]; под общ. ред. Э. А. Оникова. – М.: Легкая индустрия, 1979. – 487 с. : ил.
97. Белокуров В.Н. Деформационные свойства тканей из льна / В.Н. Белокуров, В.Г. Бочаров, В.В. Лапшин // Международ. науч.-техн. конф. «Современные наукоемкие инновационные технологии развития промышленности региона» (Лен-2006). – Кострома: КГТУ, 2006. – С. 78, 79.
98. Белокуров В.Н. Определение показателей деформации льняных тканей / В.Н. Белокуров, В.Г. Бочаров, В.В. Лапшин // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2007. – №4. – С. 9–10.
99. Патент РФ № 2217747, МПК G01N 33//66. Способ определения релаксационных характеристик текстильных материалов после изгиба / Н.А. Смирнова, В.В. Лапшин, Л.В. Воронова [и др.]; заявитель и патентообладатель Костромской гос. технол. ун-т; опубл. 27.11.2003, Бюл. № 33. – 7 с.
100. Патент РФ № 2410688, МПК G01N 33/36. Способ определения эксплуатационных свойств текстильных материалов после изгиба / В.В. Лапшин, В. В. Замышляева, Н. А. Смирнова, С. В. Бойко; заявитель и патентообладатель Костромской гос. технол. ун-т; опубл. 27.01.2011, Бюл. № 3. – 7 с.
101. Автоматизированное устройство для оценки динамических свойств текстильных материалов при изгибе / Л.В. Воронова, В.В. Лапшин, А.В. Смирнов, Д.С. Анфиногенов, Н.А. Смирнова // Сборник научных трудов молодых ученых КГТУ. – Кострома, 2002. – Вып. 3. – С. 84–86.
102. Смирнова Н.А. Оценка показателя живости ткани / Н.А. Смирнова, В.В. Лапшин, Л.В. Воронова // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2002. – №2. – С. 112.

103. Смирнова Н. А. Определение свойств текстильных материалов в динамических условиях эксплуатации / Н. А. Смирнова, В. В. Лапшин // Текстиль: бытовой, технический специальный. – 2003. – № 5. – С. 8–11.

104. Лапшин В. В. Оценка показателей качества текстильных материалов в статических и динамических условиях / В. В. Лапшин, Н. А. Смирнова // Вестник Костромского государственного технологического университета. – 2011. – № 26. – С. 30−31.

105. Лапшин В. В. Бесконтактные методы определения положения ткани / В. В. Лапшин, Н. А. Смирнова, В. А. Комаров // Современные наукоемкие технологии и современные материалы текстильной и легкой промышленности (Прогресс-2010) : материалы Междунар. науч.-техн. конф. – Иваново : ИГТА, 2010. – С. 20.

106. Лапшин В. В. Управляющая программа исследования свойств ткани и трикотажа Analysistextile / В. В. Лапшин, Д. С. Анфиногенов // Аннотированный каталог средств программного обеспечения, применяемого в КГТУ. – Кострома, 2004. – С. 7.

107. Стрелков С.П. Введение в теорию колебаний. –М.: Наука, 1964. – 440 с.

108. Вакс Е.Э. Измерение натяжения нитей. –М.: Легкая индустрия, 1966. – 230с.

109. Смирнова Н.А. Оценка показателя живости ткани / Н.А. Смирнова, Л. В. Воронова, В.В. Лапшин // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. – 2002. – № 3. – С. 112.

110. Оценка туше тканей инструментальным методом / Н. А. Смирнова, В. В. Замышляева, В. В. Лапшин, М. В. Сафронова // Известия вузов. Технология легкой промышленности. – 2012. – Т. 15, № 1. – С. 86–88.

111. РМГ 29–2013 ГСИ. Метрология. Основные термины и определения. Рекомендации по межгосударственной стандартизации.

112. Мальцева Е. А. Оценка технологичности льняных тканей для одежды / Е.А. Мальцева, Н. А. Смирнова // Текстильная промышленность. – 1999. – № 5–6. – С. 33–35.

113. Замышляева В. В. Исследование способности бортовых тканей к сохранению структуры / В. В. Замышляева, Н. А. Смирнова, Е. В. Жиганов // Технологии и качество. – 2018. – № 3. – С. 3–6.

114. Патент РФ № 2281499, МПК G01N 33/36. Способ определения формовочных свойств тканей / Н. А. Смирнова, В. В. Лапшин, Л. В. Морилова [и др.]; заявитель и патентообладатель Костромской гос. технол. ун-т; опубл. 10.08.2006, Бюл. № 22. – 5 с.

115. Патент РФ № 2549497, МПК G01N 33/36. Способ определения релаксационных свойств материалов при сдвиге / В. В. Лапшин, М. В. Томилова, Н. А. Смирнова, В. В. Замышляева, Н. Н. Добрынина; заявитель и патентообладатель Костромской гос. технол. ун-т; опубл. 27.04.2015, Бюл. № 12. – 7 с.

116. Автоматизированный метод и устройство для исследования показателей качества тканей при сдвиге нитей [Электронный ресурс] / Н. Н. Добрынина, Н. А. Смирнова, В. В. Замышляева, В. В. Лапшин // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 6: – Режим доступа : http://www.science-education.ru/120–16521 (дата обращения: 27.01.2019).

117. Совершенствование испытаний по определению способности тканей к формообразованию и формосохранению в одежде / В. В. Лапшин, Н. А. Смирнова, Т. А. Колмогорова, А. И. Шулятьев // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. – 2006. – № 4. – С. 113–117.

118. Патент РФ № 45189. Устройство для определения формовочных свойств тканей / Н. А. Смирнова, В. В. Лапшин, Л. В. Морилова [и др.]; заявитель и патентообладатель Костромской гос. технол. ун-т; опубл. 27.04.2005, Бюл. № 12. – 3 с.

119. Лапшин В. В. Управляющая программа исследования формовочных свойств ткани и трикотажа Formability / В. В. Лапшин, А. В. Орлов, Н. А. Смирнова // Аннотированный каталог средств программного обеспечения, разработанных в КГТУ. – Кострома, 2009. – С. 23.

120. Использование методики определения способности тканей к сдвигу нитей для оценки их технологичности / В. В. Замышляева, Н. А. Смирнова, Н. Н. Добрынина, Н. П. Полякова // Дизайн и технологии. – 2015. – № 48(90). – С. 58–63.

121. Смирнова Н. А. Влияние строения плетеных полотен на релаксационные характеристики при сдвиге / Н. А. Смирнова, М. В. Томилова // Дизайн и технологии. – 2015. – № 47. – С. 63–69.

122. Смирнова Н. А. Оценка формуемости льняных тканей по характеристикам сдвига нитей / Н. А. Смирнова, Н. Н. Добрынина // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. – 2016. – № 2. – С. 44–48.

123. Экспериментальное обоснование выбора термоклеевых прокладочных материалов для костюмных тканей / Н. П. Полякова, В. В. Замышляева, Н. А. Смирнова, В. В. Хамматова // Вестник технологического университета. − 2016. – Т. 19, № 20. – С. 96–98.

124. Оценка жесткости деталей одежды / Н. П. Полякова, Н. А. Смирнова, В. В. Замышляева, И. А. Хромеева // Известия вузов. Технология легкой промышленности. – 2016. – Т. 34, № 4. – С. 51–54.

125. Патент РФ № 72327, МПК G01N 3/36. Устройство для определения жесткости текстильных материалов при растяжении / В. В. Лапшин, Н. А. Смирнова, В. В. Замышляева; заявитель и патентообладатель Костромской гос. технол. ун-т; опубл. 10.04.2008, Бюл. № 10. – 3 с.

126. Автоматизированная система для термомеханических исследований текстильных материалов / В. В. Лапшин, Н. А. Смирнова, Е. А. Борисова, В. В. Семенов // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. – 1999. – № 6. – С. 135–137.

127. Патент РФ № 48070, МПК G01N 33/36. Устройство для термических исследований материалов и систем материалов / В. В. Лапшин, Н. А. Смирнова, И. Б. Пугачева; заявитель и патентообладатель Костромской гос. технол. ун-т; опубл. 10.09.2005, Бюл. № 25. – 4 с.

128. Лапшин В. В. Использование индуктивного преобразователя в автоматизированной системе измерения деформации растяжения текстильных материалов и пакетов одежды / В. В. Лапшин, Н. А. Смирнова, А. М. Жданов // Актуальные проблемы переработки льна в современных условиях (Лен-98) : материалы Междунар. науч.-техн. конф. – Кострома : КГТУ, 1998. – С. 107–108.

129. Лапшин В. В. Управляющая программа Heat для термомеханических исследований текстильных материалов / В. В. Лапшин, А. М. Жданов, К. В. Семенов // Аннотированный каталог средств программного обеспечения, применяемого в КГТУ. – Кострома, 1999. – С. 8.

130. Разработка метода оценки термодеформационных свойств льняных тканей / И. Б. Пугачева, Н. А. Смирнова, Е. Н. Борисова, В. В. Лапшин // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. – 2005. – № 1. – С. 25–26.

131. Денежкина О. А. Исследование термомеханических свойств шерстяных тканей с вложением нитей полиуретана / О. А. Денежкина, Т. М. Иванцова, Н. А. Смирнова // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. – 2005. – № 5. – С. 10–12.

132. Патент РФ № 68133, МПК G01N 33/36. Устройство для определения трения текстильных материалов / В. В. Лапшин, Н. А. Смирнова, Т. А. Колмогорова; заявитель и патентообладатель Костромской гос. технол. ун-т; опубл. 10.11.2007, Бюл. № 31. – 1 с.

133. Лапшин В.В. Новое автоматизированное устройство для исследования трения текстильных материалов / В.В. Лапшин, А.А. Лобов, Н.А. Смирнова, А.В. Смирнов // Международ. науч.-техн. конф. «Актуальный проблемы переработки льна в современных условиях» (Лен-2002). – Кострома: КГТУ, 2002. – С. 95, 96.

134. Замышляева В. В. Влияние направления раскроя на осыпаемость тканей для спецодежды / В. В. Замышляева, Н. А. Смирнова, И. А. Хромеева // Известия вузов. Технология легкой промышленности. – 2016. – Т. 33, № 3. – С. 40–43.

135. Замышляева В. В. Разработка унифицированной методики определения осыпаемости тканей / В. В. Замышляева, В. В. Лапшин, Н. А. Смирнова // Вестник Костромского государственного технологического университета. – 2014. – № 1(32). – С. 34–36.

136. Лапшин В. В. Управляющая программа исследования осыпаемости тканей Durability / В. В. Лапшин, В. В. Замышляева, Н. А. Смирнова // Аннотированный каталог средств программного обеспечения, разработанных в КГТУ за период 2011–2013 гг. – Кострома : КГТУ, 2014. – С. 7.

137. Патент РФ № 2268462, МПК G01N 33/36. Способ оценки анизотропии формообразующих свойств текстильных материалов / Н. А. Смирнова, Т. М. Иванцова, Л. В. Юферова, О. А. Денежкина; заявитель и патентообладатель Костромской гос. технол. ун-т; опубл. 20.01.2006, Бюл № 2. – 8 с.

138. Патент РФ № 2293321, МПК G01N 33/36. Способ оценки формообразующей способности текстильных материалов / Т. М. Иванцова, Н. А. Смирнова, Л. В. Юферова, О. А. Денежкина; заявитель и патентообладатель Костромской гос. технол. ун-т; опубл. 10.02.2007, Бюл. № 4.

139. Патент РФ № 2171987, МПК G01N 33/36. Способ испытания текстильного материала на формовочную способность / Н. А. Смирнова, О. И. Денисова [и др.]; заявитель и патентообладатель Костромской гос. технол. ун-т; опубл. 10.08.2001. – 9 с.

140. Лапшин В. В. Управляющая программа исследования формуемости материалов в пространстве Form / В. В. Лапшин, М. Е. Козлов, Н. А. Смирнова // Аннотированный каталог средств программного обеспечения, разработанных в КГТУ. – Кострома, 2009. – С. 24.

141. Свидетельство РФ №21242. Устройство для определения жесткости складок текстильных полотен / В. В. Лапшин, А. В. Смирнов, Л. В. Сухарева, Н. А. Смирнова; заявитель и патентообладатель Костромской гос. технол. ун-т; опубл. 27.12.2001, Бюл. № 36. – 1 с.

142. Новицкий П. В. Оценка погрешностей результатов измерений / П. В. Новицкий, И. А. Зограф. – Л.: Энергоатомиздат, 1985. – 248 с. : ил.

143. Клокова Н.П. Тензорезисторы: Теория, методики расчета, разработки / Н.П. Клокова. –М.: Машиностроение, 1990.

144. Лапшин В. В. Прогнозирование свойств материалов в динамических условиях эксплуатации одежды / В. В. Лапшин, Н. А. Смирнова // Роль предметов личного потребления в формировании среды жизнедеятельности человека : материалы Междунар. науч.-техн. конф. – Москва : МГУДТ, 2002.

145. Иориш Ю.И. Виброметрия / Ю.И. Иориш. –М.: Машиностроение, 1963. – 773 с.

146. Жихарев А. П. Свойства и ассортимент швейных ниток : монография / А. П. Жихарев, Н. А. Смирнова – Москва : ИИЦ МГУДТ, 2007. – 143 с.

147. Бузов Б. А. Швейные нитки и клеевые материалы для одежды : учеб. пособие / Б. А. Бузов, Н. А. Смирнова. – Москва : ФОРУМ ; ИНФРА-М, 2013. – 192 с.

148. Бузов Б. А. Разработка классификации швейных ниток / Б.А. Бузов, Н. А. Смирнова, А. П. Жихарев // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. – 2009. – № 6. – С. 15–17.

149. Разработка метода оценки термодеформационных свойств льняных тканей / И.Б. Пугачева, Н.А. Смирнова, Е.Н. Борисова, В.В. Лапшин // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2005. – № 1. – С. 25, 26.

150. Добрынина Н. Н. Прогнозирование характеристик сдвига льнохлопковых тканей по переплетению / Н. Н. Добрынина, Н. А. Смирнова, В. В. Лапшин // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. – 2014. – № 3. – С. 32–34.

151. Лапшин В. В. Прогнозирование способности льняных тканей к изменению угла между нитями основы и утка по характеристикам их строения / В. В. Лапшин, Н. А. Смирнова, К. В. Мартышенко // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. – 2011. – № 5. – С. 11–13.

152. Шампайн Л.Ф. Решение обыкновенных дифференциальных уравнений с использованием MATLAB: Учебное пособие. – 1-е изд. м СПб.: Лань, 2009.

153. Осовский С. Нейронные сети для обработки информации / пер. с польского И.Д. Рудинского. – М.: Финансы и статистика, 2004. – 344 с.: ил.

154. Короткий С.Н. Нейронные сети: основные положения [Электронный ресурс] / С.Н. Короткий. – Режим доступа: http: //www.shestopaloff.ca/kyriako/Russian/Artificial_Intelligence/Some_publications /Korotky_Neuron_network_Lectures.pdf (дата обращения: 03.08.2019).

155. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2018619528. NeuroPrognosis / В. В. Лапшин, Д. А. Козловский, В. Н. Ершов, Н. А. Смирнова, В. В. Замышляева. – Зарег. в реестре программ для ЭВМ Федеральной службы по интеллектуальной собственности (ФСИС) 07.08.2018.

156. Прогнозирование свойств текстильных полотен / Н. А. Смирнова, Д. А. Козловский, Т. А. Колмогорова, В. В. Лапшин // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. – 2007. – № 3. – С. 21–22.

157. Использование нейронной сети для прогнозирования формоустойчивости дублированных пакетов одежды / В. В. Замышляева, В. В. Лапшин, Н. А. Смирнова, В. Н. Ершов, Н. В. Переборова // Известия вузов. Технология легкой промышленности. – 2018. – № 2. – С. 22−26.

158. Замышляева В. В. Прогнозирование упругих свойств дублированных систем материалов / В. В. Замышляева, Н. А. Смирнова, В. В. Лапшин // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. – 2014. – № 2. – С. 120−123.

159. Усманов А.И. Системный подход и общая теория систем. – М.: Мысль, 1978.

160. Бузов Б.А. Теоретические основы метода подготовки и выбора материалов для швейных изделий. – М.: МТИЛП, 1983.

161. Романов В.Е. Системный подход к проектированию специальной одежды. – М.: Легкая индустрия, 1978.

162. ГОСТ Р ИСО 9000-2008. Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь – Введ. 2009-04-10. Взамен ГОСТ Р ИСО 9000-2001; – М.: Стандартинформ, 2009. – 66 с.

163. Бузов Б.А. Материалы для одежды. : учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / Б.А. Бузов, Г.П. Румянцева. – М.: Издательский центр «Академия», 2010. – 160 с.

164. Системный подход. [Электронный ресурс] – Режим доступа : https://ru.wikipedia.org/wiki/системный подход (дата обращения: 14.07.2019).

165. Смирнова Н.А. Система прогнозирования и управления упругими свойствами льняных тканей / Н. А. Смирнова, В. В. Лапшин, Д. А. Козловский // Вестник Костромского государственного университета им. Н. А. Некрасова. Системный анализ. Теория и практика. – 2006. – № 2. – С. 87–89.

166. Примаченко Б.М.. Влияние параметров строения на жесткость хлопчатобумажной ткани при растяжении / Примаченко Б.М., Прохорова И.А. // Изв. вузов. Технология текстильной пром-сти. – 1987, № 2. – С.106–108.

167. ГОСТ 3814-81. Полотна текстильные. Метод определения осыпаемости (с Изменением № 1). – Введ. 1983-01-07. – М.: Изд-во стандартов, 1988. – 4 с.

168. Лапшин В.В. Автоматизация исследований термомеханических свойств текстильных материалов / В.В. Лапшин, А.М. Жданов, К.В. Семенов // Международ. науч.-техн. конф. «Теория и практика разработки оптимальных технологических процессов и конструкций в текстильном производстве» (Прогресс-97). – Иваново: ИГТА, 1997. – С. 203.

169. Крагельский И.В. Трение волокнистых веществ / И.В. Крагельский – М.: ГИЗЛЕГПРОМ, 1941. – 128 с.

170. ГОСТ 4.801-80. Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ). Классы точности средств измерений. Общие требования. – Введ. 1981-07-01. Взамен ГОСТ 13600-68. – М.: Изд-во стандартов, 2010. – 4 с.

171. ГОСТ 8.009-84. Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ). Нормируемые метрологические характеристики средств измерений. – Введ. 1986-01-01. Взамен ГОСТ8.009-72. – М.: Изд-во стандартов, 2006. – 4 с.

172. Исследование отечественного прибора для определения свойств текстильных полотен при деформации сдвига / Н. А. Смирнова, В. Е. Кузьмичев, В. В. Замышляева, В. В. Лапшин // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. – 2017. – № 3(369). – С. 93–97.

173. К вопросу определения характеристик изгиба при оценке качества материалов для одежды / В. В. Замышляева, Н. А. Смирнова, В. В. Лапшин, И. А. Хромеева // Известия вузов. Технология легкой промышленности. – 2017. – Т. 37, № 3. – С. 50–54.

174. Смирнова Н. А. Новые критерии оценки технологических и эксплуатационных свойств материалов для одежды / Н. А. Смирнова, В. В. Замышляева, В. В. Лапшин // Механика и моделирование процессов технологии. – 2012. – № 2. – С. 118–125.

175. Лапшин В.В. Автоматизированный измерительный комплекс для определения технологических и эксплуатационных свойств материалов и систем материалов / В. В. Лапшин, В. В. Замышляева, Н. А. Смирнова // Материалы докл. 48-й Междунар. науч.-техн. конф. преподавателей и студентов, посвященной 50-летию университета (29 апреля 2015 года). – Витебск : Витебский государственный технологический университет, 2015. – Т. 2. – С. 290–292.

176. Смирнова Н. А. Разработка методов и автоматизированных измерительных систем исследования свойств текстильных полотен / Н. А. Смирнова, В. В. Замышляева, В. В. Лапшин // Физика волокнистых материалов: структура, свойства, наукоемкие технологии и материалы (SMARTEX-2014) : сб. материалов XVII Междунар. науч.-практ. семинара. – Иваново : ИВГПУ, 2014. – С. 121−124.

177. Лапшин В.В. Методы автоматизации оценки качества текстильных материалов / Сборник трудов: Взаимодействие высшей школы с предприятиями легкой промышленности: наука и практика материалы Междунар. науч.-практ. конф. посвященной 20-летию кафедры технологии и материаловедения швейного производства. – Кострома : КГТУ, 2013. – С. 56–59.

178. Томилова М. В. Оценка свойств плетеных полотен / М. В. Томилова, Н. А. Смирнова, В. В. Лапшин // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. – 2014. – № 1. – С. 27−29.

179. Томилова М. В. Оценка способности материалов к изготовлению плетеных изделий / М. В. Томилова, Н. А. Смирнова, В. В. Лапшин // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. – 2013. – № 3. – С. 17−20.

180. Комплексная оценка формоустойчивости материалов / В. В. Замышляева, В. В. Лапшин, Н. А. Смирнова, Д. В. Лабок // Вестник Костромского государственного технологического университета. – 2013. – № 2(31). – С. 39–41.

181. Моделирование процесса восстановления ткани после изгиба / С. В. Бойко, Н. А. Смирнова, В. В. Замышляева, В. В. Лапшин // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. – 2010. – № 2. – С. 25–28.

182. Чагина Л. Л. Метод оценки формоустойчивости материалов и пакетов одежды / Л. Л. Чагина, Н. А. Смирнова, В. В. Лапшин // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. – 2008. – № 4С. – С. 10–12.

183. Смирнова Н.А. Усовершенствованный метод определения жесткости материалов при изгибе / Н.А. Смирнова, Д.А. Козловский, В.В. Лапшин // Вестник Костромского государственного технологического университета. – 2005. – № 11. – С. 39–41.

184. Исследование динамических свойств тканей методом вынужденных резонансных изгибных колебаний / В. Н. Белокуров, В. Г. Бочаров, Н. А. Смирнова, В. В. Замышляева, В. В. Лапшин // Межвузовская науч.-практич.

конф. «Инновационные и наукоемкие технологии в легкой промышленности». – Москва: МГУДТ, 2008. – С. 76–78.

185. Смирнова Н. А. Оценка и прогнозирование свойств текстильных материалов в динамических условиях / Н. А. Смирнова, В. В. Лапшин // Международ. конф. и выставка «Волокнистые материалы – XXI век». – СПб.: СПГУТД, 2005.

186. Использование информационных технологий для прогнозирования деформационных свойств эластичных тканей при пространственном растяжении / Н.А. Смирнова, В.В. Замышляева, В.В. Лапшин, В.С. Белгородский, Е.Г. Андреева, А.В. Разбродин // Дизайн и технологии, 2018. − № 68 (110). − С. 74−80.

187. Лапшин В. В. Использование современных информационных технологий и автоматизированных методов оценки качества текстильных материалов при изучении материаловедения / В. В. Лапшин, Н. А. Смирнова // Науч.-методич. семинар по материаловедению «Совершенствование профессиональной подготовки специалистов в области материаловедения, экспертизы и управления качеством изделий, услуг и работ». – Черкизово: МГУСТ, 2008. – С. 141–145.

188. Инновационные методы определения показателей качества текстильных материалов – основа создания конкурентоспособных отечественных изделий легкой промышленности / Н. А. Смирнова, В. В. Лапшин, В. Н. Ершов, В. В. Замышляева, Л. В. Воронова, Л. Л. Чагина, О. В. Иванова // Научно-производственное партнерство: взаимодействие науки и текстильных предприятий и новые сферы применения технического текстиля : сб. докл. Третьего Междунар. науч.-практ. симпозиума в рамках «Российской недели текстильной и легкой промышленности» (г. Москва, 21 марта 2018 г.). – Москва : БОС, 2018. − С. 48−59.

189. Лапшин В.В. Автоматизированный измерительный комплекс как реализация концепции цифровизации в легкой промышленности :

монография / В. В. Лапшин, Н. А. Смирнова. – Кострома : Издательство Костромского государственного университета, 2019. – 107 с.

190. Смирнова Н. А. Определение деформационных свойств при сдвиге / Н. А. Смирнова, В. В. Лапшин // Международ. науч.-практ. конф. «Актуальные проблемы создания и использования новых материалов и оценки их качества» (Материаловедение-2010). – Москва: РГУТиС, 2010. – С. 122, 123.

191. Лапшин В. В. Методы измерений при оценке качества текстильных материалов / В. В. Лапшин, Н. А. Смирнова // Международ. науч.-практ. конф. «Актуальные проблемы создания и использования новых материалов и оценки их качества» (Материаловедение-2010). – Москва: РГУТиС, 2010. – С. 93, 94.

192. Лапшин В.В. Усовершенствованный метод оценки формовочной способности материалов для одежды / В. В. Лапшин, О. В. Кашин // Всероссийская научная конференция молодых ученых «Инновации молодежной науки». Санкт-Петербург, СПГУТД, 2011.

193. Замышляева В.В. Исследование кинетики деформационных свойств льняных тканей и пакетов одежды / В.В. Замышляева // Вестник Костромского государственного технологического университета. – 2010. – №1. – С. 47–50.

194. Томилова М.В. Оценка стабильности структуры плетеных полотен / М.В. Томилова, Н.А. Смирнова // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. – 2016. – № 4. – С. 24–28.

195. Добрынина Н.Н. Исследование релаксаций усилий при сдвиге нитей в льняных тканях / Н.Н. Добрынина, Н.А. Смирнова // Вестник Костромского государственного технологического университета. – 2015. – №2. – С. 27–29.

196. Замышляева В.В. Исследование деформационных свойств материалов и систем материалов при растяжении / В.В. Замышляева, Н.А. Смирнова // Вестник Костромского государственного технологического университета. – 2015. – №1. – С. 36–39.

197. Экспериментальное обоснование рационального выбора направления раскроя тканей для бортовой прокладки / В.В. Замышляева, Н.А. Смирнова, В.В. Лапшин, Т.Л. Акиндинова // сборник: Научные исследования и разработки в области дизайна и технологий Материалы Всероссийской научно-практической конференции. Кострома, 2019. С. 126-129.

198. ГОСТ 20566-75. Ткани и штучные изделия текстильные. Правила приемки и метод отбора проб. – Введ. 1976-07-01. Взамен ГОСТ 1090-41. – М.: Изд-во стандартов, 2003. – 4 с.

199. ГОСТ 10681-75 Материалы текстильные. Климатические условия для кондиционирования и испытания проб и методы их определения. – Введ. 1978-01-01. Взамен ГОСТ 10681-63. – М.: Изд-во стандартов, 1997. – 12 с.

200. Инструкция по наклейке тензорезисторов / ООО УК «СИБТЕНЗОПРИБОР» – Режим доступа : https:// www.sibtenzo.com (дата обращения: 19.02.2019).

201. ГОСТ 15467-79 Управление качеством продукции. Основные понятия. Термины и определения (с Изменением № 1). – Введ. 1979-07-01. Взамен ГОСТ 15467-70, ГОСТ 16431-70, ГОСТ 17341-70, ГОСТ 17102-71 – М.: Изд-во стандартинформ, 2009. – 18 с.

202. Методология. [Электронный ресурс] – Режим доступа : https://ru.wikipedia.org/wiki/методология (дата обращения: 23.05.2019).

203. ГОСТ Р ИСО 5725-1-2002 Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. Часть 1. Основные положения и определения. – Введ. 2002-11-01. – М.: Изд-во стандартинформ, 2009. – 22 с.

204. ГОСТ Р ИСО 5725-6-2002 Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. Часть 6. Использование значений точности на практике. – Введ. 2002-11-01. – М.: Изд-во стандартинформ, 2009. – 24 с.

Приложение 1

Статическая характеристика датчика положения ткани

Для проверки линейности выходной характеристики измерительной системы проводился ряд экспериментов, состоящий из пяти серий опытов, в каждой из которых производилось изменение входной координаты *l* системы в диапазоне от 0 до 11 мм и одновременная фиксация соответствующей величины выходного информационного сигнала $U_{ан}$. $M = 5$ - число серий опытов.

Таблица п.1.1 – Результаты испытаний

Входной сигнал *l*, мм	Выходной сигнал A , ед. (опыт 1)	Выходной сигнал A , ед. (опыт 2)	Выходной сигнал A , ед. (опыт 3)	Выходной сигнал A , ед. (опыт 4)	Выходной сигнал A , ед. (опыт 5)
0	999	1000	1001	998	1000
1	953	958	952	959	955
2	850	848	851	849	854
3	787	784	784	788	791
4	697	697	702	702	699
5	609	608	614	613	609
6	488	494	488	490	488
7	402	406	407	402	402
8	265	265	268	267	266
9	187	187	186	186	184
10	122	122	120	121	123
11	105	104	105	104	105

Для определения математической модели используем математический пакет MathCAD. Выполним усреднение экспериментальных данных:

$$A_i = \frac{1}{M} \cdot \sum_{j=1}^{M} D_{i,j}$$

На рис. п.1.1 показана экспериментальная статическая характеристика системы измерения перемещения A = f(*l*). Здесь A - цифровой код на выходе блока АЦП, *l* - входной сигнал измерительной системы (длина незасвеченной части первого фотодатчика).

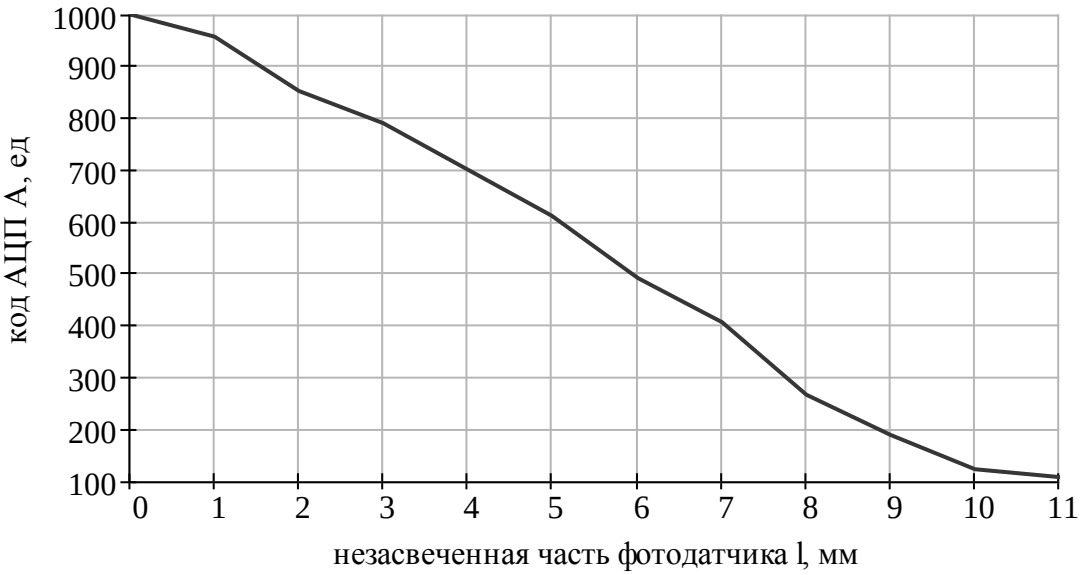


Рисунок п.1.1 – График функции $A = f(l)$

Очевидно, что график функции A = f(*l*) нелинейный, но из всего возможного диапазона изменения координаты *l* (0 – 11 мм), можно выбрать рабочий участок, на котором данная характеристика линейна. В качестве рабочего участка измерительной системы выбираем диапазон изменения *l* от 0 до 10 мм.

Для получения математической модели измерительной системы вида *l* = f(A) выполним интерполяцию экспериментальных данных на рабочем участке линейным уравнением первого порядка вида *l* = K·A+B по критерию наименьших квадратов.

K = 1, B = 1 – начальные условия.

Given

$$\sum_i l_i = B \cdot \sum_i 1 + K \cdot \sum A_i$$

$$\sum_i l_i \cdot A_i = B \cdot \sum_i A_i + K \cdot \sum (A_i)^2$$

$$\begin{pmatrix} B \\ K \end{pmatrix} := \mathrm{Find}(B, K)$$

l = K·A+B – полученная математическая модель статической характеристики измерительной системы.

Постоянные коэффициенты в уравнении модели:

K = -0.0107 мм./ед.

B = 11.2073 мм.

На рис.п.1.2 показан график функции *l* = f(A) (сплошная линия). Здесь же точками показаны усредненные экспериментальные данные, иллюстрирующие реальную статическую характеристику измерительной системы.

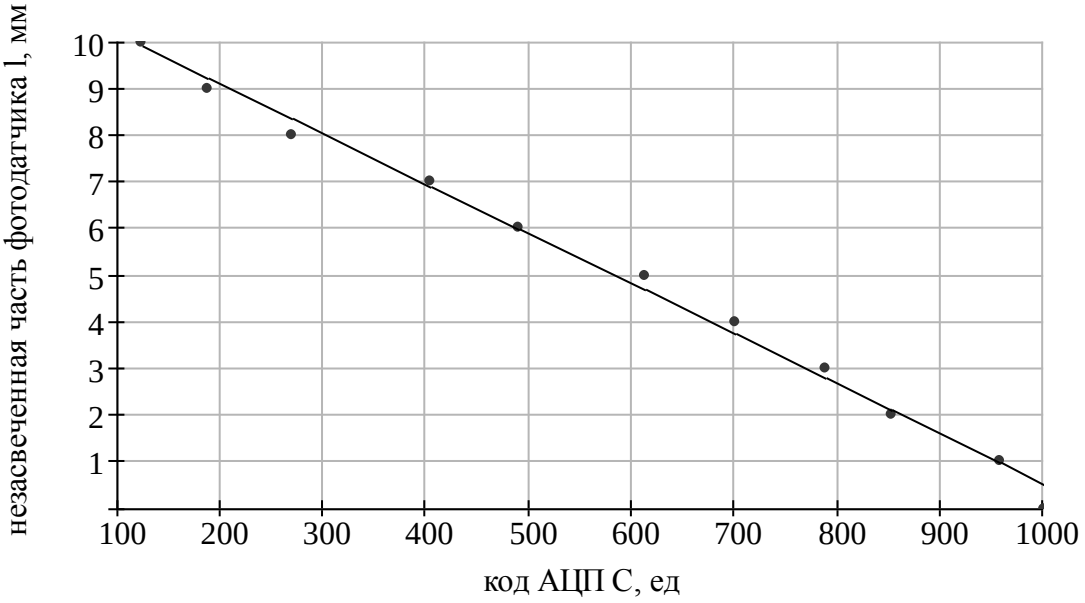


Рисунок п.1.2 – График функции *l* = f(A)

$$\Delta_i = \left| l_{Э_i} - l_{T_i} \right| = \left| l_i - l(A_i) \right|$$

$\max(\Delta) = 0.354$ мм – максимальная абсолютная погрешность значения выходной координаты, получаемой с использованием математической модели

l = f(A)

$$\gamma_i = \frac{\Delta_i}{\max(l)} \cdot 100\%$$

$\max(\gamma) = 3.215$ % – максимальная приведенная погрешность значения выходной координаты, получаемой с использованием математической модели

l` = 8 мм – величина входного сигнала, при котором абсолютная погрешность значения выходной координаты, получаемой с использованием математической модели, максимальна.

Максимальное значение приведенной погрешности, получаемых результатов с использованием математической модели, невысоко. Следовательно, найденная математическая модель вполне адекватно описывает реальную статическую характеристику измерительной системы.

Выполним проверку экспериментальных данных в точке $l`$ = 8 мм, на наличие грубого промаха.

$A`_1 = 265$ ед., $A`_2 = 265$ ед., $A`_3 = 268$ ед., $A`_4 = 267$ ед., $A`_5 = 266$ ед.

Определим дисперсию выборки.

$$(S_i)^2 = \frac{1}{M-1} \cdot \sum_{j=1}^{M} \left(A_i - \overline{A}\right)^2$$

Для оценки того, являются экспериментальные данные грубым промахом или нет, воспользуемся критерием Смирнова - Граббса:

$$V_{max} = \frac{A`_1 - \overline{A`}}{S`}$$

$$V_{mшш} = \frac{\overline{A`} - A`_2}{S`}$$

Поскольку число выполненных серий опытов мало (M = 5), в найденные расчетные значения критерия Смирнова - Граббса вводим поправку:

$$V_{max} = V_{max} \cdot \sqrt{\frac{M}{M-1}}$$

$$V_{min} = V_{min} \cdot \sqrt{\frac{M}{M-1}}$$

$$V_{max} = 1.543$$

$$V_{min} = 0.171$$

Согласно данным [24], при уровне значимости $q = 1 - \alpha = 0.95$ для числа измерений M = 5, V_T = 1.6. Поскольку вычисленные по опытным данным значения V_{max} и V_{min} оказываются меньше V_T, можно принять гипотезу о том, что результат наблюдения $l`$ = 8 мм не содержит грубой погрешности.

Погрешность значения выходной координаты, получаемой с

использованием математической модели l = f(A) , заключается еще в том, что мы произвели замену реальной нелинейной характеристики *l* = f(A) , на линейную. Причина данного явления заключается в наличии нелинейной рабочей характеристики $I_{ф.т} = f_{ф}(Ф_{п})$ у приемника излучения, работающего в фотогальваническом режиме.

Приложение 2

Статическая характеристика датчика определения силы сдвига

Для определения статической характеристики датчика силы был проведен эксперимент, состоящий из 5 повторностей. В данном случае статической характеристикой является зависимость кода на выходе АЦП от величины усилия, приложенного к тензочувствительному элементу датчика.

В качестве эталонных мер усилий был использован набор высокоточных образцовых масс. Все расчеты были произведены с использованием пакета программ Mathcad 13.

Количество точек: $i := 0..8$

Количество повторностей: $j := 0..4$

Полученные данные (код АЦП), ед.:

$A_{i,0} :=$ $A_{i,1} :=$ $A_{i,2} :=$ $A_{i,3} :=$ $A_{i,4} :=$

$A_{i,0}$	$A_{i,1}$	$A_{i,2}$	$A_{i,3}$	$A_{i,4}$
216	196	212	204	208
348	352	336	346	340
428	440	436	448	444
492	496	488	484	500
508	512	504	520	516
540	536	544	548	552
608	604	600	612	596
684	692	688	680	676
792	800	804	808	812

Усреднение:

$$As_i := \frac{\sum_j A_{i,j}}{5}$$

$As_i =$

As_i
207.2
344.4
439.2
492
512
544
604
684
803.2

Масса грузов, г:

$m_i :=$

m_i
−200
−100
−50
−20
0
20
50
100
200

Получаем коэффициенты уравнения аппроксимированной прямой:

$b := intercept(m, As)$ $b = 514.444$ $k := slope(m, As)$ $k = 1.5353$

Полученное уравнение: $L(F) := k \cdot F + b$

Вычислим абсолютную погрешность: $\Delta := As - L(m)$

Относительная ошибка: $\gamma := \frac{\max(\Delta)}{\max(L(m)) - \min(L(m))}$ $\gamma = 2{,}29\ \%$

Строим статическую характеристику, исходную и аппроксимированную (рис. п.2.1):

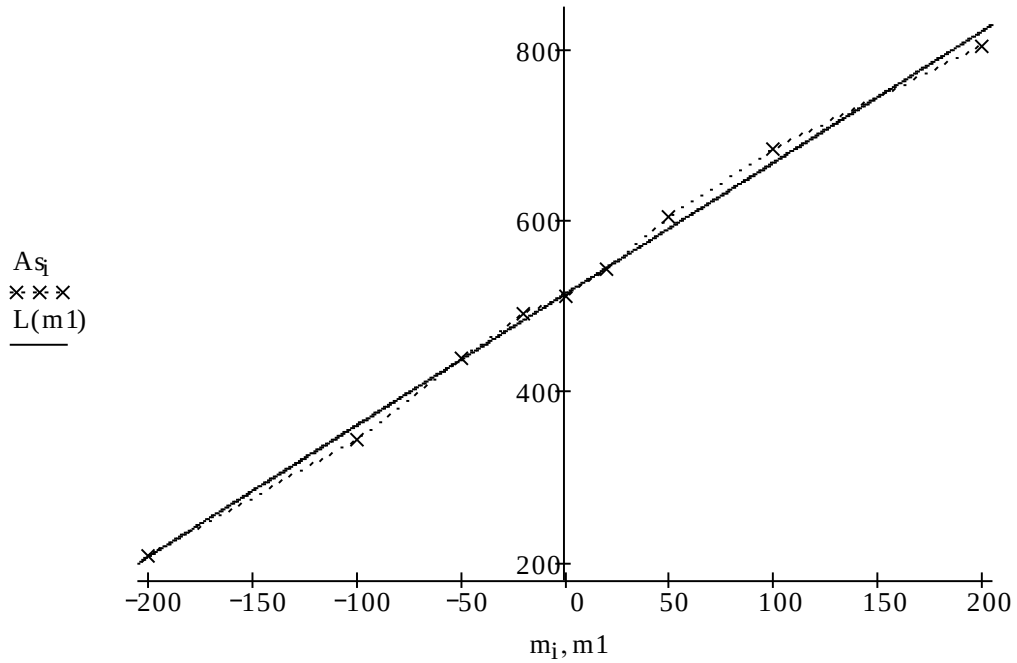


Рисунок п.2.1 – Статическая характеристика датчика силы

Произведенные расчеты показали, что с погрешностью $\gamma = 2.29\%$ можно считать статическую характеристику канала измерения усилия линейной в диапазоне усилий –200…+200 сН.

Для того, чтобы по коду на выходе АЦП определить величину приложенного к тензопреобразователю усилия, необходимо определить аналитическую зависимость величины усилия, приложенного к тензочувствительному элементу датчика от кода АЦП. Выше было доказано, что эту зависимость можно считать линейной, т.е.:

$$Ft = k' \cdot A + b' \qquad \text{(п. 2.1)}$$

где Ft – приложенное усилие (Н);

A – соответствующий этому усилию код АЦП (ед.);

k’, b’ – постоянные коэффициенты, которые необходимо определить.

Характеристика (п. 2.1) является функцией, обратной статической характеристике, поэтому коэффициенты k’ и b’ можно определить следующим образом:

$$k' = \frac{1}{k} = 6.389 \times 10^{-3} \qquad b' = k' \cdot b = 3.287$$

Определение погрешности канала перемещения

Расстояние, на которое переместился верхний зажим, определяется по количеству импульсов, поданных на шаговый двигатель. При этом линейная зависимость перемещения от числа импульсов обеспечивается механической конструкцией устройства перемещения зажима. Поэтому определение статической характеристики датчика перемещения сводится к определению коэффициента, переводящего число поступивших импульсов в расстояние. Этот коэффициент можно определить по формуле:

$$\mathrm{k} = \frac{\mathrm{h}}{\mathrm{n}} \text{ (мм/импульс)} \qquad \text{(п. 2.2)}$$

где h – расстояние, на которое переместился зажим (мм);

n – число импульсов, соответствующее этому перемещению.

Для получения максимальной точности вычисления коэффициента возьмем максимальное расстояние, на которое может переместиться верхний зажим. Этот диапазон составляет 78 мм. Экспериментально было установлено, что перемещению зажима из одного крайнего положения в другое соответствует 2000 импульсов. Тогда по формуле (п. 2.2) можно определить, какому перемещению k соответствует 1 импульс:

$$k = \frac{78}{2000} = 0.039 \text{ (мм/импульс)}$$

Максимальная абсолютная погрешность определения перемещения $\Delta_{max_И}$, связанная с дискретностью движения вала двигателя, численно равна h:

$$\Delta_{max_И} = \mathrm{k} = 0.039 \text{ (мм)}$$

Кроме этой погрешности, присутствует также погрешность $\Delta_{max_Л}$, обусловленная наличием люфта в конструкции устройства перемещения зажима. Экспериментально установлено, что величина люфта составляет 0.5 мм, т.е.:

$$\Delta_{max_Л} = 0.5 \text{ (мм)}$$

Полная максимальная абсолютная погрешность определения перемещения зажима составит:

$$\Delta_{max} = \Delta_{max_И} + \Delta_{max_Л} = 0.039 + 0.5 = 0.539 \text{ (мм)}.$$

Приведенная погрешность определения перемещения $\gamma_п$ составляет:

$$\gamma_n = \frac{\Delta_{max}}{D} \times 100\% = \frac{0.539}{78} \times 100\% = 0.69\% \qquad \text{(п. 2.3)}$$

где D – полный диапазон перемещения верхнего зажима (мм).

Приложение 3

Исследование статических характеристик автоматизированных устройств к стандартному оборудованию

Статические характеристики датчиков усилия автоматизированного устройства к разрывной машине РМ-3 для определения коэффициента тангенциального сопротивления

Экспериментальные данные, полученные в ходе исследования статических характеристик датчиков усилия, приведены в таблице п. 3.1.

Таблица п.3.1 – Данные экспериментов по получению статических характеристик датчиков усилия

Нагрузка, кг	Код на выходе АЦП, ед.							
	Датчик В*				Датчик А**			
	опыт 1	опыт 2	опыт 3	опыт 4	опыт 1	опыт 2	опыт 3	опыт 4
0	7	7	7	7	7	7	7	7
0,2	28	31	30	29	24	25	23	24
0,4	43	45	42	44	44	45	43	45
1	109	107	102	101	105	108	104	107
1,2	120	122	121	123	122	120	121	120
1,4	138	139	137	136	141	140	139	140
2	193	189	190	192	196	195	194	193
2,2	220	219	221	220	221	220	223	222
2,4	235	236	233	234	234	233	234	232

* Нижний датчик усилия (в подвижном зажиме Эдерлея)
** Верхний датчик усилия (неподвижный)

Для проведения математических расчетов использовался пакет программ MathCAD Professional.

Проведем усреднение статических характеристик по данным эксперимента. Аппроксимируем усредненные статические характеристики

обоих датчиков линейной функцией вида:

$$A_j = k \cdot P_j + b \qquad \text{(п.3.1)}$$

где P_j – приложенное усилие (кгс);

A_j – код на выходе АЦП, соответствующий усилию F_j , (ед.);

k, b – постоянные коэффициенты.

Для нахождения коэффициентов полинома воспользуемся методом наименьших квадратов:

Для датчика В:

$N := 8 \quad a0 := 1 \quad a1 := 1$

Given

$$a0 \cdot (N + 1) + a1 \cdot \sum_{j=0}^{N} P_j = \sum_{j=0}^{N} D_j \qquad a0 \cdot \sum_{j=0}^{N} P_j + a1 \cdot \sum_{j=0}^{N} (P_j)^2 = \sum_{j=0}^{N} D_j \cdot P_j$$

$$rez := \text{Find}(a0, a1) \quad rez = \begin{pmatrix} 7.941 \\ 94.239 \end{pmatrix} \quad AB(a) := rez_0 + rez_1 \cdot a \qquad KgB(a) := \frac{a - rez_0}{rez_1}$$

Зависимость п.3.1 примет вид:

$$A=94.239P+7.941 \qquad \text{(п.3.2)}$$

Усредненная и линеаризованная статические характеристики приведены на рис. п. 3.1.

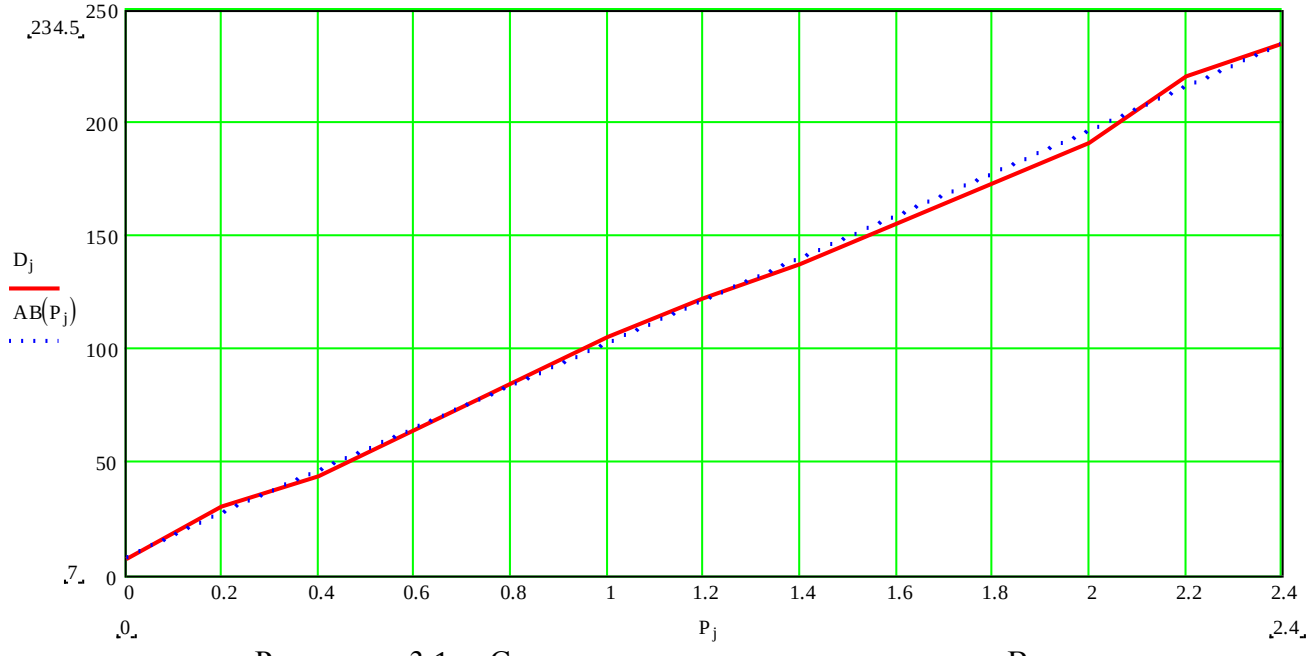


Рисунок п. 3.1 – Статическая характеристика датчика В

Для датчика А:

$N := 8 \qquad a0 := 1 \qquad a1 := 1$

Given

$$a0\cdot(N+1) + a1\cdot\sum_{j=0}^{N} P_j = \sum_{j=0}^{N} R_j \qquad a0\cdot\sum_{j=0}^{N} P_j + a1\cdot\sum_{j=0}^{N} (P_j)^2 = \sum_{j=0}^{N} R_j\cdot P_j$$

$$rez := Find(a0, a1) \quad rez = \begin{pmatrix} 6.635 \\ 95.513 \end{pmatrix} \quad AA(a) := rez_0 + rez_1\cdot a \quad KgA(a) := \frac{a - rez_0}{rez_1}$$

Зависимость п.3.1 примет вид:

$$A=95.513P+6.635 \qquad \text{(п. 3.3)}$$

Усредненная и линеаризованная статические характеристики приведены на рис. п. 3.2.

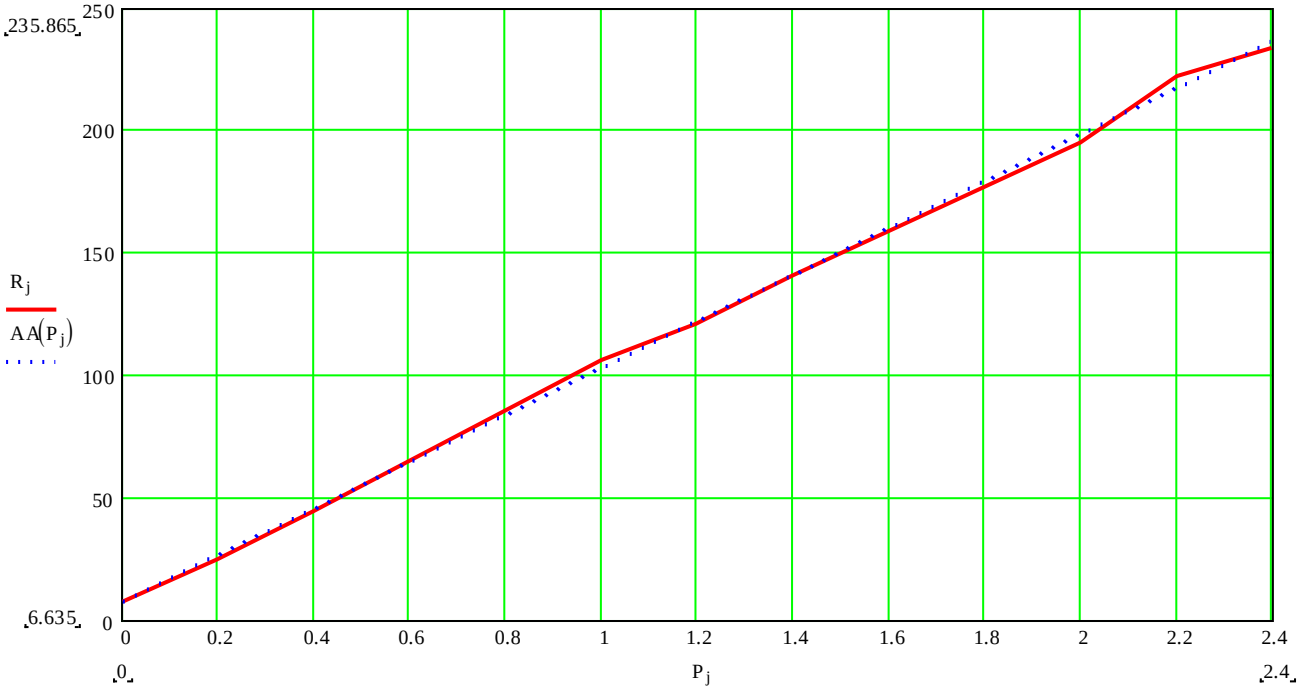


Рисунок п. 3.2 – Статическая характеристика датчика А

Определим максимальную абсолютную Δmax и соответствующую ей приведенную γ погрешности линейности, связанные с заменой реальной статической характеристики на линеаризованную для каждого датчика.

Для датчика A:

$$\Delta_j := \left|R_j - AA\left(P_j\right)\right| \qquad \Delta max := max\left(\Delta\right)$$

$$\Delta max = 4.737 \quad \text{ед}$$

$$Aa_j := R_j \qquad \gamma := \frac{\Delta max}{max(Aa) - min(Aa)} \cdot 100$$

$$\gamma = 2.094 \quad \%$$

Для датчика B:

$$\Delta_j := \left|D_j - AB\left(P_j\right)\right| \qquad \Delta max := max\left(\Delta\right)$$

$$\Delta max = 5.419 \quad \text{ед}$$

$$Aa_j := D_j \qquad \gamma := \frac{\Delta max}{max(Aa) - min(Aa)} \cdot 100$$

$$\gamma = 2.382 \quad \%$$

Статические характеристики датчика усилия и фотодатчика автоматизированного устройства к разрывной машине ИР 5074

Для исследования статической характеристики датчика усилия с помощью разрывной машины ИР 5074 произведено последовательное увеличение нагрузки на испытуемый образец от 0 до 0,4 кН с шагом 0,01 кН и одновременная фиксация сигнала на выходе АЦП через управляющую программу.

Для исследования статической характеристики были взяты усредненные результаты трех опытов, приведенные в таблице п. 3.2.

Таблица п.3.2 – Данные по определению статической характеристики датчика усилия

Нагрузка, кН	0	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,1	0,11	0,12
Выход АЦП (усредненный), ед.	25	27	34	35	38	46	48	55	55	56	59	61	65

продолжение табл. п. 3.2

0,13	0,14	0,15	0,16	0,17	0,18	0,19	0,2	0,21	0,22	0,23	0,24	0,25
71	73	75	89	92	97	99	101	105	113	114	117	119

продолжение табл. п.5.2

0,26	0,27	0,28	0,29	0,3	0,31	0,32	0,33	0,34	0,35	0,36	0,37	0,38
127	133	134	136	139	144	147	151	159	166	167	175	180

окончание табл. п.3.2

0,39	0,4	0,41	0,42	0,43
181	183	185	187	193

Работа происходит непосредственно с файлами данных с расширением .dat, которые можно сохранить в результате работы управляющей программы

Двоичный код на выходе АЦП переведен в десятичную безразмерную величину.

При проведении математических расчетов был использован математический пакет MathCAD Professional.

Аппроксимируем усредненные статические характеристики линейной функцией вида:

$$A1 = k \cdot F + b \qquad \text{(п.3.4)}$$

где F_j - приложенное усилие, кН;

$A1_j$ - сигнал на выходе АЦП, соответствующий усилию F_j;

k, b - постоянные коэффициенты.

Для нахождения коэффициентов полинома воспользуемся методом наименьших квадратов:

$a0 := 1 \qquad a1 := 1$ – начальные условия

$$a0\cdot(N+1) + a1\cdot\sum_{j=0}^{N} k_j = \sum_{j=0}^{N} U_j$$

$$a0\cdot\sum_{j=0}^{N} k_j + a1\cdot\sum_{j=0}^{N} (k_j)^2 = \sum_{j=0}^{N} (U_j\cdot k_j)$$

$$alin := Find(a0, a1) \qquad alin = \begin{pmatrix} 19.739 \\ 4.742 \end{pmatrix}$$

$$Tl(k) := alin_0 + alin_1\cdot k$$

$$Tl(k) := 19.739 + 4.742k$$

С учетом этого зависимость (п.5.4) примет вид:

$$A1 = 4{,}742\cdot F + 19{,}739 \qquad \text{(п.3.5)}$$

На рис. п. 3.3 показан график функции *A1= f(F)* (сплошная линия). Здесь же показаны усредненные экспериментальные данные, иллюстрирующие реальную усредненную статическую характеристику датчика.

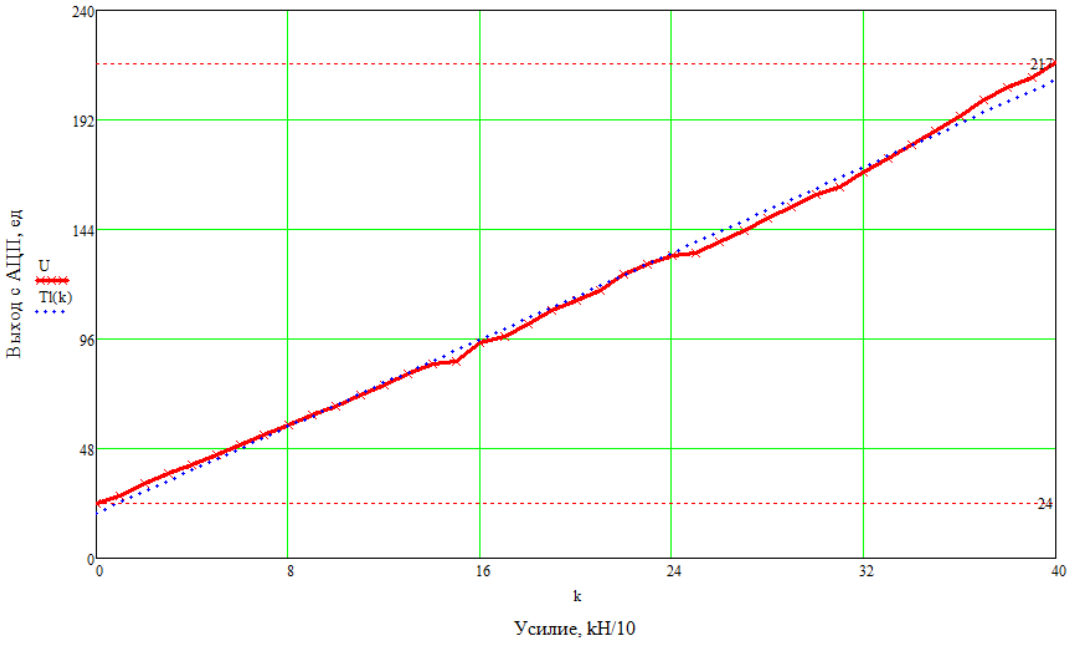


Рисунок п. 3.3 – Статическая характеристика датчика усилия

Значению 24 на выходе АЦП (см. рис. п.3.3) соответствует 1 В на выходе усилителя датчика, а значению 193– около 8,6 В.

Определим максимальную абсолютную Δmax и соответствующую ей приведенную γ погрешности линейности датчика усилия, связанные с заменой реальной статической характеристики на линеаризованную:

$$\Delta \max = \max\left|A1(F) - ACP\right| \qquad \text{(п.3.6)}$$

$\Delta \max = 3{,}12$ (ед.) – максимальная абсолютная погрешность значения выходной координаты, получаемой с использованием математической модели *A1 = f(F).*

$$\gamma = \frac{\Delta \max}{ACP_{MAX} - ACP_{MIN}} \cdot 100\% \qquad \text{(п.3.7)}$$

$\gamma = 2{,}1$ (%) – максимальная приведенная погрешность значения выходной координаты, получаемой с использованием математической модели *A1= f(F).*

$F = 0{,}38$ (кН) – величина входного сигнала, при котором абсолютная погрешность значения выходной координаты, получаемой с использованием математической модели, максимальна.

Максимальное значение приведенной погрешности, получаемых результатов с использованием математической модели, невысоко. Следовательно, найденная математическая модель вполне адекватно описывает реальную статическую характеристику измерительной системы.

Выполним проверку экспериментальных данных в точке $F = 0{,}38$ кН, на наличие грубого промаха. Соответствующие значения АЦП:

$ACP_1^* = 178$ ед.; $ACP_2^* = 176$ ед.; $ACP_3^* = 185$ ед.

Определим дисперсию выборки:

$$D = (S)^2 = \frac{1}{m-1} \cdot \sum_{j=1}^{m} \left(ACP_i - \overline{ACP}\right)^2 \qquad \text{(п.3.8)}$$

Получим: $D = 22{,}5\,(\text{ед}^2)$, отсюда можно найти СКО: $S = \sqrt{D} = 4{,}74\,(\text{ед.})$.

Для оценки того, являются экспериментальные данные грубым промахом или нет, воспользуемся критерием Смирнова – Граббса.

Расчетное значение для подозрительных максимальных значений:

$$V_{R\max} = \frac{ACP_{i\max} - \overline{ACP}}{S} \cdot \sqrt{\frac{m}{m-1}} \qquad \text{(п.3.9)}$$

$V_{R\max} = 1{,}29$

Расчетное значение для подозрительных минимальных значений:

$$V_{R\min} = \frac{\overline{ACP} - ACP_{i\min}}{S} \cdot \sqrt{\frac{m}{m-1}} \qquad \text{(п.3.10)}$$

$V_{R\min} = 1{,}03$

При уровне значимости $q = 1 - \alpha = 0.95$ для числа измерений M = 3, V_T = 1.41. Поскольку вычисленные по опытным данным значения $V_{R\max}$ и $V_{R\min}$ оказываются меньше V_T, можно принять гипотезу о том, что результат наблюдения при $F = 0{,}38$ кН не содержит грубой погрешности.

Погрешность значения выходной координаты, получаемой с использованием математической модели *A1= f(F)*, заключается в том, что мы произвели замену реальной нелинейной характеристики *ACP = f(F)*, на линейную.

Исследования статической характеристики фотодатчика.

В результате эксперимента производилось последовательное продавливание испытуемого материала от 0 до 25 мм с шагом 1 мм, в результате которого происходило затемнение фотоэлемента в зависимости от положения материала, и одновременная фиксация сигнала на выходе АЦП через управляющую программу.

Для исследования статической характеристики были взяты усредненные результаты трех опытов, приведенные в табл. п. 3.3.

Таблица п. 3.3 – Данные по определению статической характеристики фотодатчика

Удлинение, мм	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Выход АЦП (усредненный), ед.	183	177	172	165	161	156	148	142	138	133	121	117	112

окончание табл. п. 3.3

13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
108	102	89	72	63	56	43	32	30	28	28	28	27

Двоичный код на выходе АЦП переведен в десятичную безразмерную величину. Усредненная статическая характеристика имеет вид показанный на рис. п. 3.4.

Здесь значению АЦП = 183 соответствует 6,6 В на выходе усилителя фотодатчика, а значению 102 – 3,6 В.

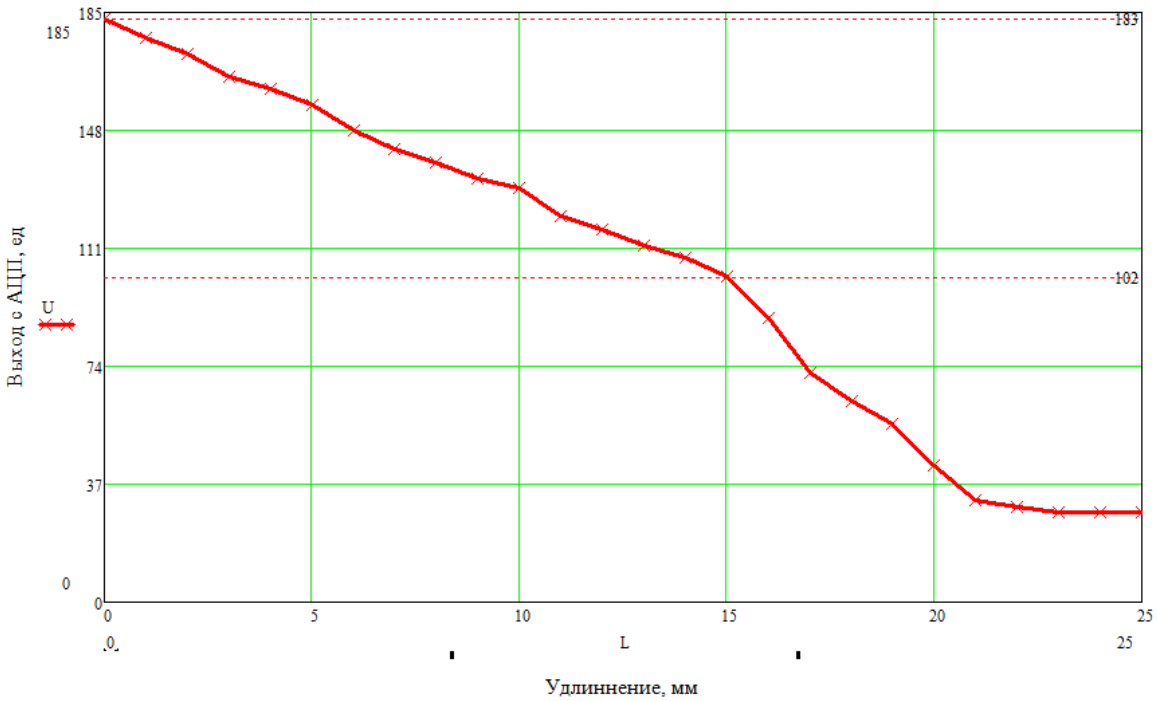


Рисунок п. 3.4 – Статическая характеристика фотодатчика

По рисунку п. 3.4 статическая характеристика фотодатчика является линейной лишь на участке от 0 до 15 мм. Это связано с тем, что текстолитовая пластика заполнена последовательно включенными фотодиодами только на 15 мм. В конструкции нет никаких препятствий для дополнения фотодатчика

дополнительными фотодиодами для большего диапазона определения удлинения. На рис. п. 3.5 показан рабочий участок статической характеристики фотодатчика.

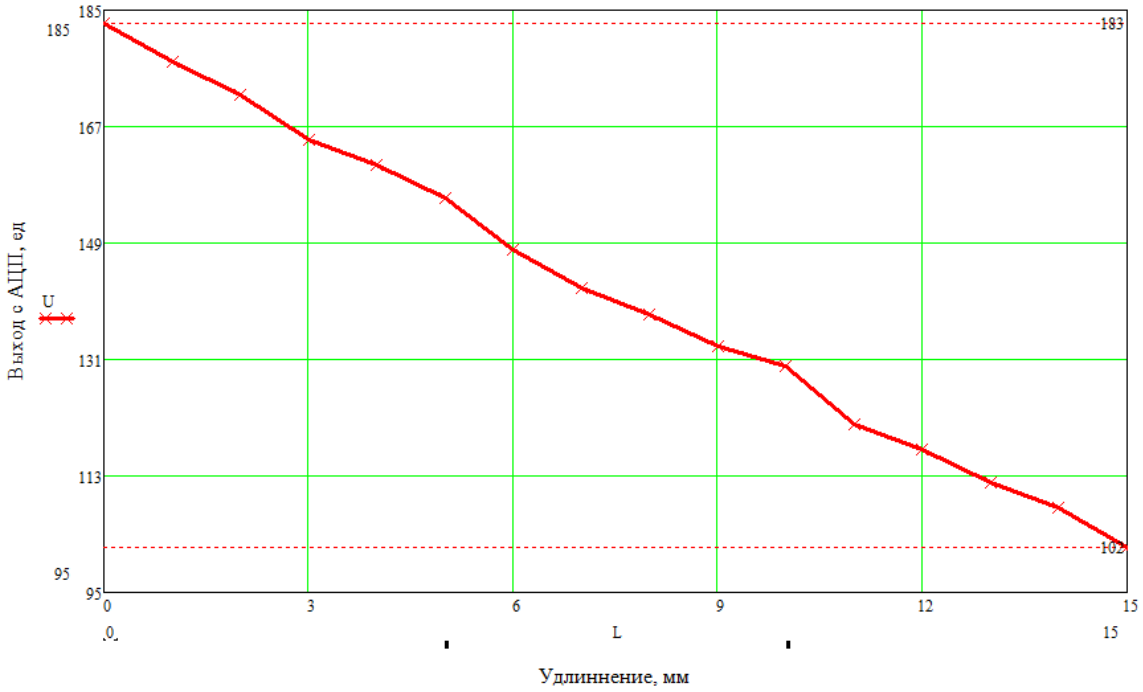


Рисунок п. 3.5 – Рабочий участок статической характеристики фотодатчика

Аппроксимируем усредненные статические характеристики на отрезке от 0 до 15 мм линейной функцией вида:

$$A2_j = k \cdot L_j + b \qquad \text{(п.3.11)}$$

где L_j - удлинение испытуемого образца, мм;

$A2_j$ - сигнал на выходе АЦП, соответствующий удлинению L_j;

k, b - постоянные коэффициенты.

Для нахождения коэффициентов k, b воспользуемся методом наименьших квадратов:

$$a0 \cdot (N+1) + a1 \cdot \sum_{j=0}^{N} L_j = \sum_{j=0}^{N} U_j$$

$$a0 \cdot \sum_{j=0}^{N} L_j + a1 \cdot \sum_{j=0}^{N} (L_j)^2 = \sum_{j=0}^{N} (U_j \cdot L_j)$$

$alin := Find(a0, a1)$ $\quad alin = \begin{pmatrix} 181.963 \\ -5.387 \end{pmatrix}$ $\quad Tl(l) := alin_0 + alin_1 \cdot l$ $\quad Tl(l) := 181.963 + -5.387 l$

Зависимость (п.3.11) примет вид:

$$A2 = -5{,}387 \cdot L + 181{,}963 \qquad \text{(п.3.12)}$$

На рис. п.3.6 показан график функции *A2 = f(L)* (сплошная линия).

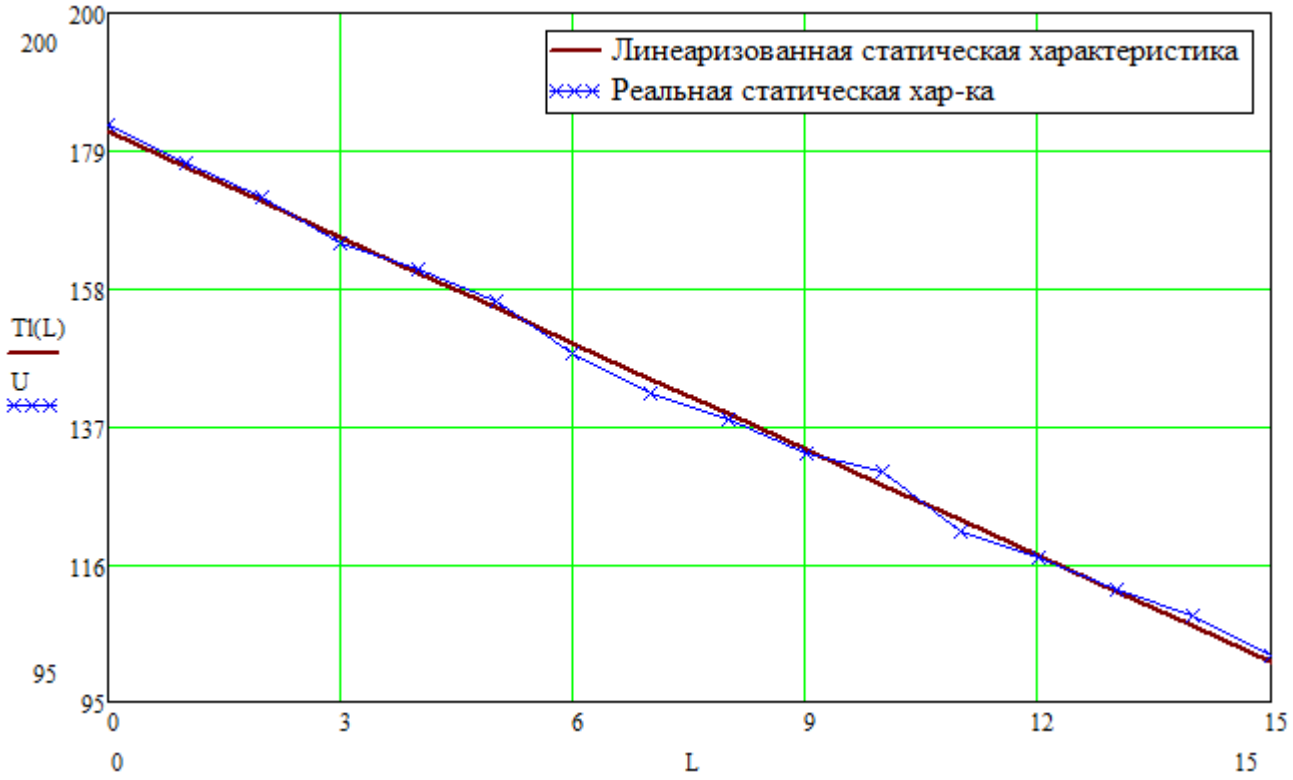


Рисунок п. 3.6 – Статическая характеристика фотодатчика на отрезке от 0 до 15 мм

Определим максимальную абсолютную Δmax и соответствующую ей приведенную γ погрешности, связанные с заменой реальной статической характеристики на линеаризованную:

$\Delta \max = 2{,}58$ (ед.) – максимальная абсолютная погрешность значения выходной координаты, получаемой с использованием математической модели *A2 = f(L)*.

$\gamma = 2{,}82$ (%) – максимальная приведенная погрешность значения выходной координаты, получаемой с использованием математической модели *A2 = f(L)*.

$L = 7$ (мм) – величина входного сигнала, при котором абсолютная погрешность значения выходной координаты, получаемой с использованием

математической модели, максимальна.

Выполним проверку экспериментальных данных в точке $L = 7$ мм на наличие грубого промаха. Соответствующие значения АЦП:

$ACP_1^* = 142$ ед.; $ACP_2^* = 146$ ед.; $ACP_3^* = 140$ ед.

Определим дисперсию выборки по формуле (4.5): $D = 9{,}34\,(\text{ед}^2)$, отсюда можно найти СКО: $S = \sqrt{D} = 3{,}05\,(\text{ед.})$.

Для оценки того, являются экспериментальные данные грубым промахом или нет, воспользуемся критерием Смирнова – Граббса.

Расчетное значение для подозрительных максимальных значений:

$V_{R\max} = 1{,}33$

Расчетное значение для подозрительных минимальных значений:

$V_{R\min} = 1{,}07$

При уровне значимости $q = 1 - \alpha = 0.95$ для числа измерений M = 3, V_T = 1,41. Поскольку вычисленные по опытным данным значения $V_{R\max}$ и $V_{R\min}$ оказываются меньше V_T, можно принять гипотезу о том, что результат наблюдения при *L* = 7 мм не содержит грубой погрешности.

Работа фотодатчика на участке от 15 мм возможна только после добавления чувствительных элементов − фотодиодов, поэтому рассматривать его не будем.

Небольшая нелинейность характеристики обуславливается работой фотодиода в фотогальваническом режиме.

Как и в предыдущем случае, погрешность значения выходной координаты, получаемой с использованием математической модели *A2 = f(L),* заключается в том, что мы произвели замену реальной нелинейной характеристики *ACP = f(L)*, на линейную.

Статические характеристики датчиков могут быть использованы для получения с помощью управляющей программы деформационных характеристик в *мм* и *Н*.

Приложение 4

Костромской государственный университет

Кафедра дизайна, технологии, материаловедения и экспертизы потребительских товаров

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ИЗГИБА МАТЕРИАЛОВ В КВАЗИСТАТИЧЕСКОМ РЕЖИМЕ

ИНСТРУКЦИЯ ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ

Инструкция по эксплуатации предназначена для ознакомления обслуживающего персонала с монтажом, эксплуатацией и правилами ухода за автоматизированной системой, основным элементом которой является устройство определения характеристик изгиба, установкой и приемами работы с программным обеспечением.

Нормальная эксплуатация устройства и срок службы зависят от соблюдения правил, изложенных в инструкции по эксплуатации.

ВНИМАНИЕ. Устройство работает только совместно с ЭВМ типа IBM PC с установленной на ней операционной системой семейства Windows и компьютерной программой «Hardness».

1. НАЗНАЧЕНИЕ

Устройство предназначено для определения условных показателей жесткости и упругости; зависимости жесткости материала от времени, зависимости жесткости материала от величины прогиба пробы в процессах: деформации пробы, релаксации и снятия деформирующей силы; работы, затрачиваемой на изгиб, работы восстановления, разности работ, релаксации усилия.

Закрепленная проба – проба из образца материала определенной формы и размеров, предназначенная для крепления на специальной съемной площадке. В результате крепления проба принимает предопределенную выпуклую форму.

Условная жесткость Р – сила сопротивления закрепленной пробы деформирующему воздействию при прогибе пробы на 1/3 ее высоты. Измеряется жесткость в сН (или гс). Величина условной жесткости соответствует жесткости по ГОСТ 8977-74.

Условная упругость У – отношение величины распрямления закрепленной пробы после снятия воздействия к заданной величине прогиба при определении условной жесткости:

$$У = \frac{S_0 - S_1}{S_0} \cdot 100,$$

где S_0 – величина прогиба, равная 1/3 высоты закрепленной пробы, мм;

S_1 – величина прогиба закрепленной пробы после распрямления, мм.

Величина условной упругости соответствует упругости по ГОСТ 8977-74.

Зависимость P(t) – зависимость жесткости материала, численно равной величине силы сопротивления закрепленной пробы деформирующему воздействию в моменты времени t, от времени.

Зависимость P(ℓ) – зависимость жесткости материала, численно равной величине силы сопротивления пробы деформирующему воздействию при прогибе ℓ, от величины прогиба пробы.

Работы изгиба и восстановления $A_{изг}$, $A_{Визг}$, разности работ $\Delta A_{изг}$, релаксации усилия ΔP.

При испытании устройство обеспечивает равномерное сжатие пробы на величину $\ell_у$ за время $t_н$, создает условия для релаксации пробы в течение времени $t_р$, равномерное снятие сжимающего усилия за время $t_р$ на интервале перемещения [0; $\ell_р$], отдых пробы в свободном состоянии в течение времени to, определение высоты пробы после отдыха. Значения $\ell_у$, $t_н$, $t_р$, $t_р$, $\ell_р$ определяются исследователем из допустимого диапазона.

! Настоящая инструкция не регламентирует размеры и конструкцию съемной площадки. Она определяется выбором методики испытания материала. Габариты съемной площадки и установочные штифты должны соответствовать габаритным размерам испытательной камеры и подъемного столика.

2.ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Характеристики привода подъемного столика:

а) максимальная скорость перемещения столика, мм/с	5
б) минимальное перемещение столика, мм	0,053
в) диапазон перемещения столика, мм	от 0 до 80
2.2. Шкала измерения перемещения:	
а) предел измерения, мм	от 0 до 50
б) цена деления, мм	0,053
в) погрешность измерения, %	0,8
2.3. Характеристики датчика силы (шкала измерения силы):	
а) предел измерения, сН	от 0 до 33
б) цена деления, сН	0,131
в) погрешность измерения, %	0,8
2.4. Шкала времени	
а) предел измерения, с	от 0 до 60
б) цена деления, с	0,1
в) погрешность измерения, %	0,8
2.5. Класс точности устройства	2,5
2.6. Размер нажимной площадки (длина×ширина), мм	20×20
2.7. Габаритный размер испытательной камеры, мм	100×150×100
2.8. Расстояние между отверстиями в подъемном столике для установки съемной площадки, мм	20±0,2
2.9. Потребляемая мощность, кВт, не более	0,25
2.10. Габаритные размеры, мм, не более	200×150×300
2.11. Масса, кг, не более	0,7

3. КОНСТРУКЦИЯ И ПРИНЦИП РАБОТЫ

Конструкция и принцип работы устройства.

Устройство имеет самостоятельное конструктивное оформление.

Состоит из следующих основных узлов: корпуса, подъемного столика с электроприводом, датчика силы с усилителем, верхнего и нижнего контактных датчиков, электрооборудования.

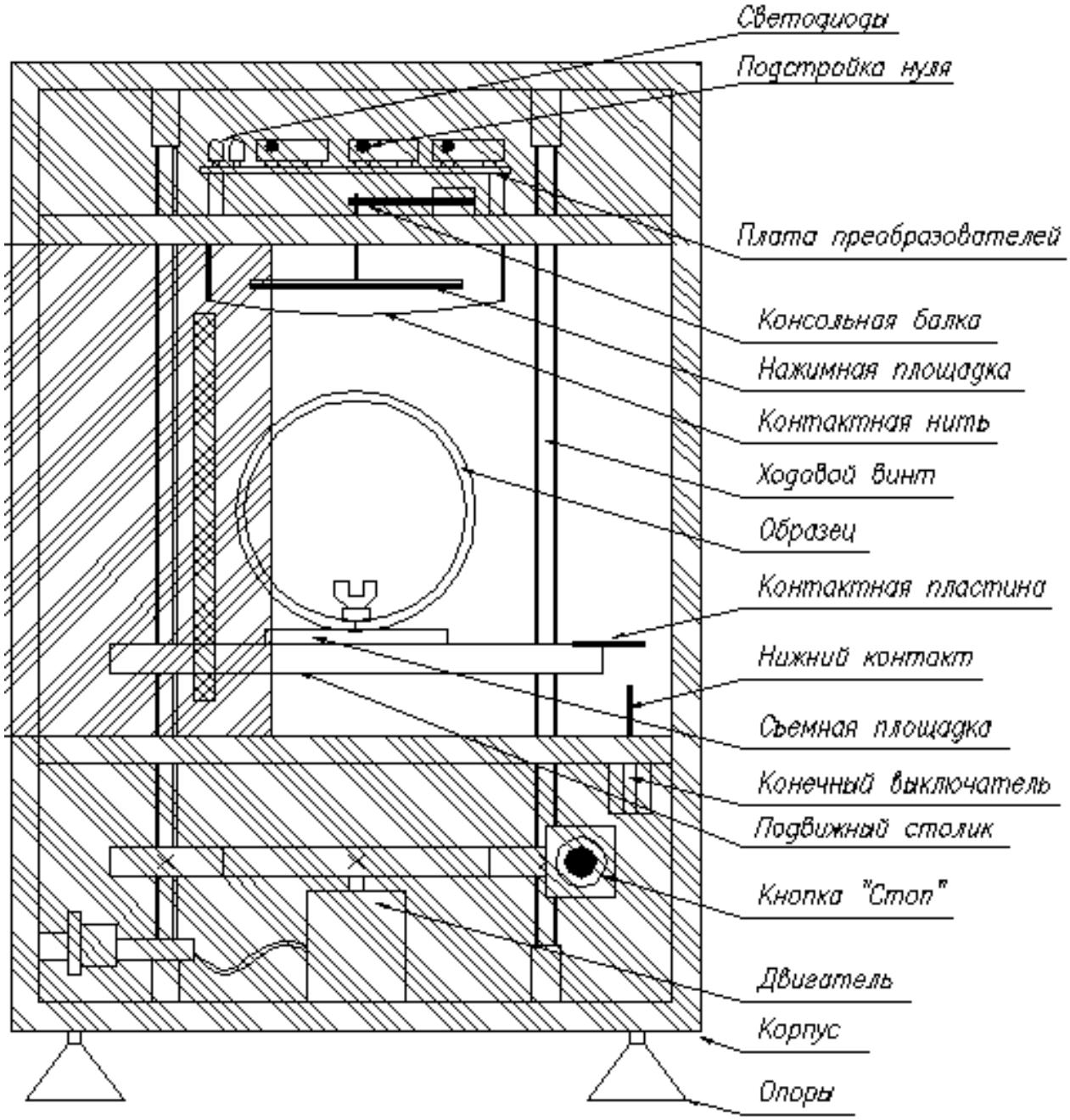


Рисунок – п.4.1. Устройство для определения характеристик изгиба

Корпус имеет регулировочные ножки и ручку для транспортировки. На передней панели размещены кнопки управления («СТОП» и «Касание»), сигнализация (светодиоды) и окно испытательной камеры. Кнопка «касание» дублирует работу верхнего контактного датчика в случае ворсистого материала. На правой панели – ручка подстройки «нуля» датчика силы, на левой панели – 36 контактный разъем для подключения к LPT порту ЭВМ и гнездо питания. На задней панели устройства расположен тумблер включения/выключения питания.

Подъемный столик предназначен для подъема и спуска закрепленной пробы; представляет собой горизонтальную поверхность с двумя отверстиями в центре для фиксации съемной площадки, благодаря электроприводу перемещается равномерно в вертикальном направлении вверх и вниз по четырем направляющим – верхним и нижним, обеспечивающим неподвижность столика по горизонтали. Электропривод подъемного столика состоит из шагового двигателя ПБМГ-200-265 и зубчато-реечной передачи, преобразующей вращательное движение вала двигателя в поступательное движение столика. Обмотки двигателя подключены к плате ключей. Скорость вращение ротора двигателя определяется частотой токовых импульсов на обмотках, а направление – углом сдвига импульсов. Синхронизация импульсов осуществляется с платы блока сопряжения.

Датчик силы предназначен для измерения силы противодействия пробы деформирующей нагрузке; состоит из нажимной пластины, которая жестко крепится к консольной балке с тензорезисторами. В результате действия силы на нажимную площадку консольная балка изгибается, вследствие чего изменяется сопротивление тензорезисторов и ток на выходе. На плате усилителя аналогового сигнала выходной ток тензорезисторов усиливается и фильтруется от помех. Информационный сигнал поступает на плату блока сопряжения.

Верхний контактный датчик предназначен для определения момента соприкосновения пробы с нажимной площадкой датчика силы. Контактную группу образуют упругая проволока и металлизированная поверхность нажимной площадки. Контактная проволока облегает контур закрепленной пробы и прижимается ей к нажимной площадке при подъеме. Замыкание цепи датчика регистрируется на плате блока сопряжения.

Нижний контактный датчик предназначен для определения нижнего (нулевого) положения подъемного столика. Контакт образуется в месте соприкосновения гибкой пластины, закрепленной на столике, и стержня, закрепленного в нижней части корпуса устройства. Замыкание цепи датчика также регистрируется на плате блока сопряжения.

Плата блока сопряжения предназначена для создания интерфейса устройства с ЭВМ: синхронизирует работу привода во времени по командам с ЭВМ, получает и оцифровывает сигналы от контактных датчиков, кнопок управления и датчика силы, передает преобразованные сигналы в ЭВМ, управляет сигнализацией. Подключение устройства к ЭВМ осуществляется через стандартный LPT порт (порт принтера).

Структура и принцип работы программного обеспечения (компьютерной программы «Hardness»).

Компьютерная программа «Hardness» предназначена для работы в операционных системах Windows. Имеет оконный интерфейс, соответствующий рекомендациям корпорации Microsoft. Для работы с периферийным устройством используется режим прямого доступа.

Программа распространяется в виде exe-файла, не требует специальной установки. Ключи в реестре прописываются автоматически при первом запуске программы.

Главное окно программы разбито на три области: дерево экспериментов, таблица свойств и параметров эксперимента и график (рис. п.4.2).

Запуск нового эксперимента производится кнопкой на панели инструментов. Удаление эксперимента из дерева экспериментов – кнопкой . Построить график выделенного эксперимента можно нажатием кнопки или нажав Enter, если дерево экспериментов находится в фокусе. Назначение остальных кнопок на панели инструментов можно узнать из всплывающих подсказок.

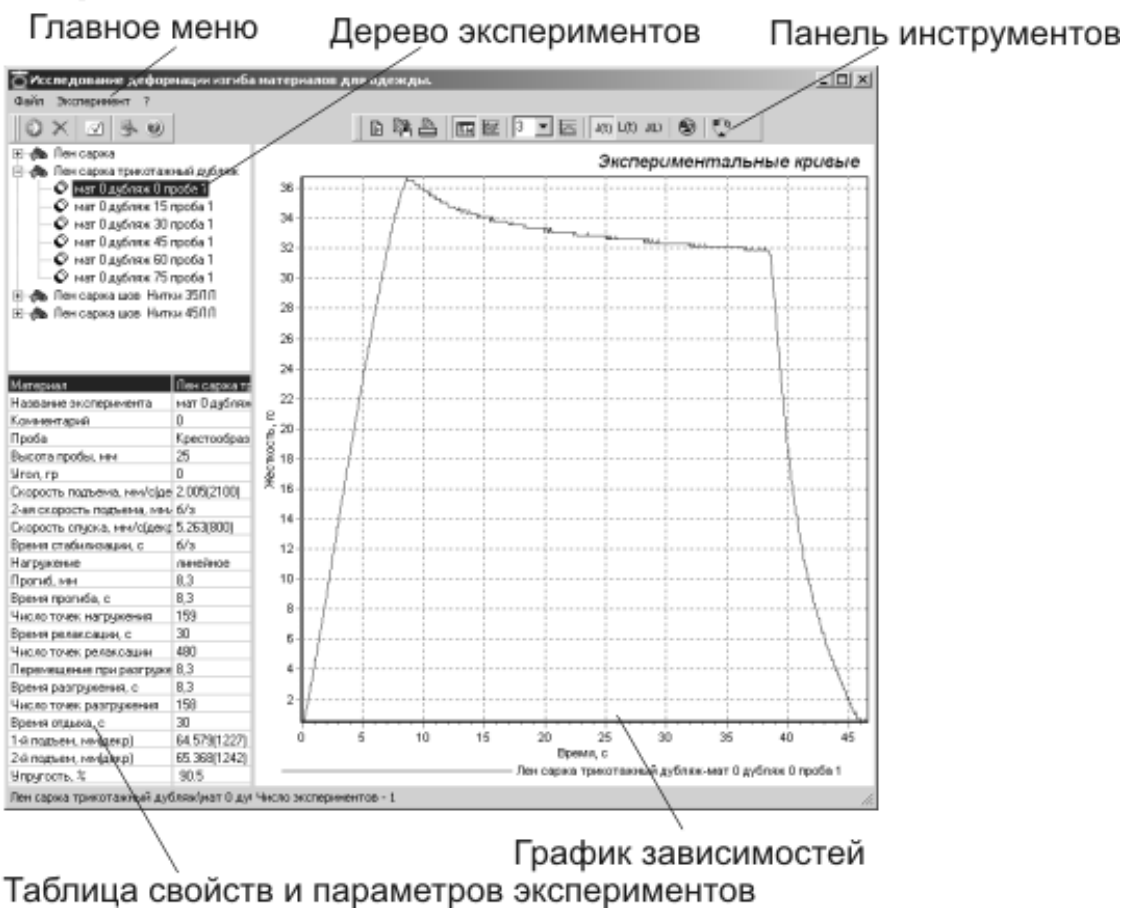


Рисунок п.4.2. – Главное окно программы «Hardness»

В результате проведения испытания программа создает два файла: файл типа mat содержит сведения об этапах и режимах проведения испытания и некоторые результаты измерений (упругость материала, перемещения подъемного столика); файл типа prn содержит три столбца со значением жесткости P в cH, прогиба L в мм и времени t в секундах. Все файлы располагаются в папке Materials, которая находится в том же каталоге, что и Hardness.exe. В папке Materials находятся папки с названием материала, в каждой из них файлы с данными об экспериментах с этим материалом.

4. УКАЗАНИЕ МЕР БЕЗОПАСНОСТИ

Запрещается работать лицам не знакомым с инструкцией по эксплуатации устройства.

Эксплуатация устройства должна производится в соответствии с «Правилами техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей».

Запрещается работать на приборе при одной из следующих неисправностей:

– отсутствие заземления;

– нечеткой работы тумблера и кнопок;

– повреждение шнура от штепсельной вилки;

– появление дыма или запаха, характерного для горящей изоляции.

5. ПОДГОТОВКА УСТРОЙСТВА К РАБОТЕ

Устройство устанавливают на ровной, горизонтальной поверхности и выверяют по отвесу с помощью регулировочных ножек.

Шнур питания подсоединяют одним концом к гнезду питания устройства, другим – к розетке переменного тока ~220В, 50Гц.

Кабель IEEE 1284 36-ти разъемной вилкой подсоединяют к устройству, а разъемом с 25-тью штырьками – к компьютеру.

Выравнивают пинцетом проволоку верхнего контактного датчика так, чтобы она была параллельна плоскости нажимной площадки и находилась от нее на расстоянии не более 2 мм.

Запускают программу «Hardness» на выполнение.

Производят запуск нового эксперимента (см. след. пункт). Включают устройство тумблером «Питание вкл./выкл.». До начала измерений устройство должно проработать минимум 5 мин. для установления теплового равновесия в электрических цепях.

Подготовленную пробу закрепляют на съемной площадке.

Съемную площадку с пробой размещают на подъемном столике так, чтобы установочные штифты вошли в отверстия на столике.

В главном окне программы нажимают кнопку «Новый эксперимент» .

Заполняют анкету эксперимента (рис. п.4.3):

- название испытуемого материала (выбирают из выпадающего списка или вводят);
- идентификатор эксперимента;
- комментарий;
- выбирают тип пробы;
- указывают размер пробы;
- угол раскроя пробы;
- выбирают нужные этапы испытания и заполняют их параметры.

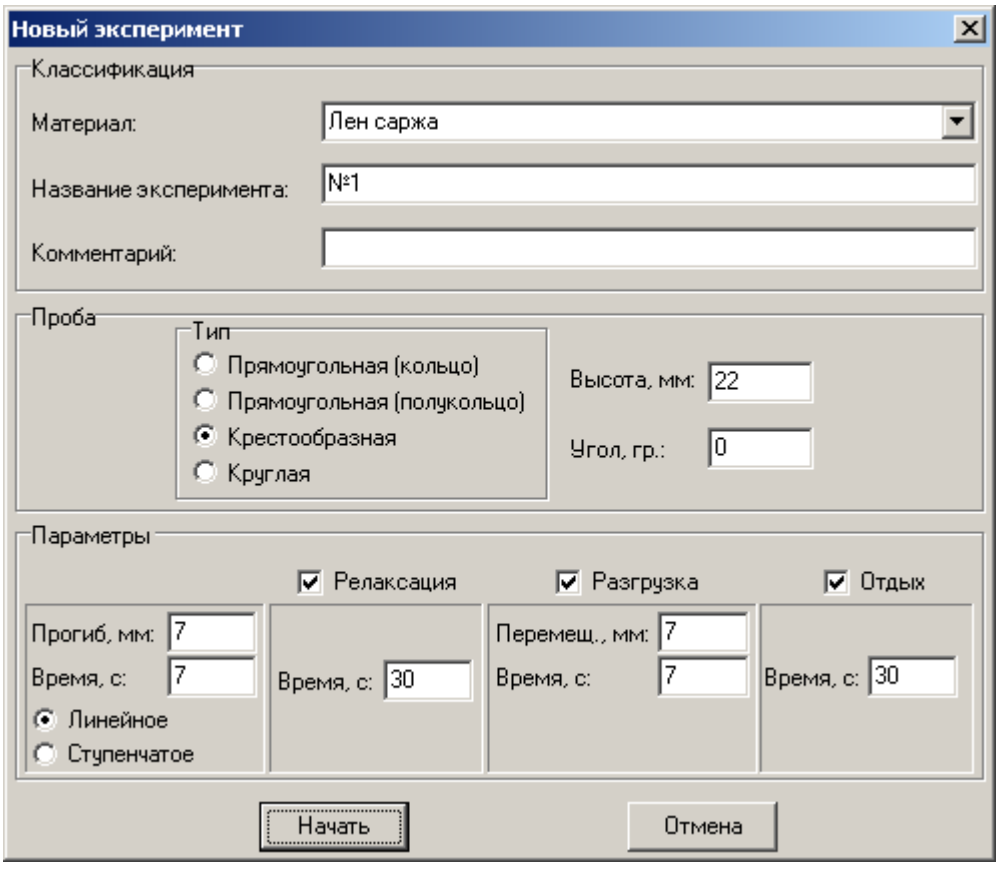


Рисунок п.4.3 – Окно нового эксперимента

ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ. Определение упругости материала производится, только если выбран этап «Отдых».

По окончании ввода нажимают кнопку «Начать». При необходимости отменить новый эксперимент нажимают кнопку «Отмена».

В окне потока эксперимента выводится целое числовое значение сигнала с датчика силы (код АЦП) (рис.п.4.4). С помощью ручки настройки «нуля» на правой панели устройства производят постройку «нуля», так чтобы в окне потока код с АЦП был равен 5.

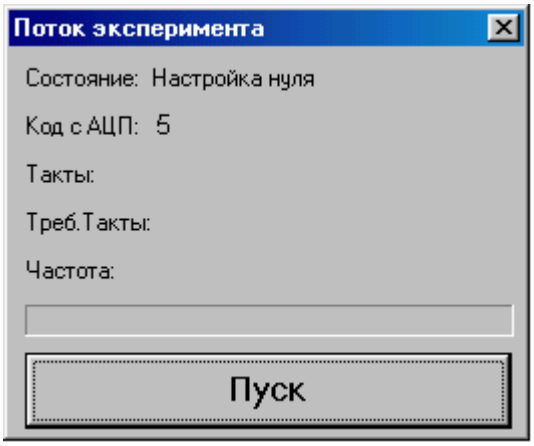


Рисунок п.4.4 – Окно потока эксперимента.

Нажимают кнопку «Пуск» в окне потока эксперимента.

Устройство отрабатывает заданный пользователем план эксперимента.

ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ. При испытании ворсистого материала возможно не своевременное срабатывание верхнего контактного датчика. Для определения момента соприкосновения пробы с нажимной площадкой необходимо нажать кнопку «Касание» на передней панели устройства.

В случае необходимости прервать процесс измерения нужно нажать кнопку «СТОП» на передней панели устройства (это аппаратный останов) или кнопку «СТОП» в окне потока эксперимента программы (это программный останов). Сообщение о виде останова появится в окне потока эксперимента (рис. п.4.5).

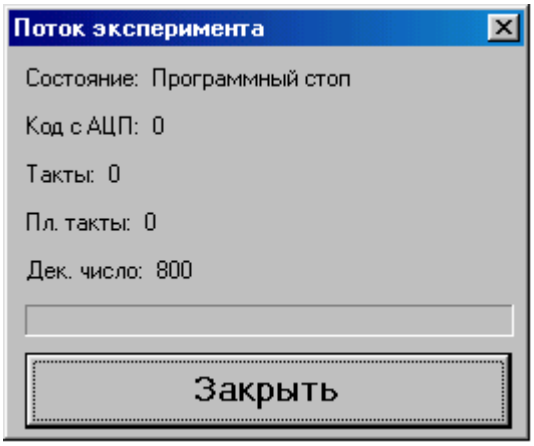


Рисунок п.4.5 – Окно потока эксперимента при останове

По завершении испытания (или в случае останова) нажимают кнопку «Закрыть» в окне потока эксперимента.

В дереве экспериментов главного окна программы добавляется значок с названием сделанного эксперимента. Съемную площадку вынимают из испытательной камеры и высвобождают пробу.

7. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ

ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ. В этом пункте описана методика определения показателей жесткости и упругости при деформации пробы под действием сосредоточенной нагрузки.

7.1. Определение условной жесткости.

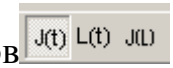
7.2.1. Формируют графическое представление полученной в результате испытания зависимости.

7.2.2. Значение условной жесткости определяют по графику или таблице зависимости P(t) при величине t_y = 7 с. Результат каждого измерения записывают с погрешностью не более 0,1 сН.

7.3. Определение условной упругости.

7.3.1. Значение условной упругости рассчитывается управляющей программой автоматически для каждого испытания. Условную упругость можно найти в таблице параметров и свойств эксперимента. Результат округляют с погрешностью не более 0,1%.

7.4. Получение зависимостей P(ℓ) и P(t).

7.4.1. Аналогично п.7.2.1. формируют графическое представление зависимостей P(ℓ) и P(t): с помощью быстрых кнопок на панели инструментов 

можно переключать координатные оси. Графики зависимостей выводят при необходимости на печать с помощью быстрой кнопки «Печать графика» или копируют в системный буфер кнопкой . Таблицы значений зависимостей выводят на печать или редактируют в любом текстовом редакторе, в котором открыт файл типа *.prn требуемого эксперимента.

7.5. Определение работы А, затрачиваемой на изгиб.

7.5.1. Работу А при изгибе и восстановлении определяют с помощью управляющей программы приближенным методом интегрирования (метод трапеций – быстрая кнопка) по всем аргументам полученной таблицы зависимости P(ℓ) на интервале $\ell \in [0; \ell_y]$. Полученное значение работы округляют до 0,01 мДж.

7.5.2. Разность работ определяют по формуле $\Delta A_{изг} = A_{изг} - A_{Визг}$;

7.5.3. Релаксацию усилия ΔP определяют по определяется по формуле ($\Delta P_{изг} = P_1 - P_2$);

7.6. За окончательный результат определения условных показателей жесткости и упругости материалов принимают среднее арифметическое результатов параллельных определений отдельно для каждого направления.

7.7. Среднее арифметическое значение жесткости вычисляют с погрешностью не более 0,01 сН и округляют до 0,1 сН.

7.8. Среднее арифметическое значение упругости до 50% вычисляют с погрешностью не более 0,1%; 50% и более – с погрешностью не более 1%.

7.9. По результатам испытаний формируют анкету (см. табл. 1). К ней прикладывают графики и таблицы значений зависимостей P(ℓ) и P(t).

Файлы с данными о проведении испытания и его результатах, которые формируются управляющей программой для каждого испытания, сохраняют для автоматической обработки.

Таблица 1. Форма записи результатов испытаний

Материал						
Тип пробы						
Высота пробы, мм						
План эксперимента						
Нагружение		☐ Релаксация		☐ Разгрузка		☐ Отдых
Прогиб, мм		Время, с		Прогиб, мм		Время, с
Время, с				Время, с		
Результаты экспериментов						
Направление, град	*P*, сН	*У*, %	$A_{изг}$ мкДж	$A_{Визг}$, мкДж	$\Delta P_{изг}$ *сН*	$\Delta A_{изг}$ мкДж
0(основа)						
15						
30						
45						
60						
75						
90(уток)						

Приложение 5

Расчет договорной цены автоматизированного устройства определения характеристик изгиба в квазистатическом режиме

Целью данного экономического расчета является определение договорной цены автоматизированного устройства и программного обеспечения. Произведен расчет затрат на изготовление автоматизированного устройства, а также приведен расчет договорной цены программного обеспечения.

Рассчитаем материальные затраты. Исходные данные для их определения приведены в табл. п.5.1.

Таблица п.5.1 – Исходные данные для расчета материальных затрат

Наименование материалов и комплектующих изделий	Ед. изм.	Кол-во	Цена, *руб.*	Стоимость, *руб.*
Несущая конструкция (пластик)	шт.	1	400.00	400.00
Винт М3	шт.	10	1.00	10.00
Винт М4	шт.	20	1.00	20.00
Гайка М3	шт.	10	1.00	10.00
Гайка М4	шт.	20	1.00	20.00
Конденсатор К53-35	шт.	5	6.00	30.00
Конденсатор К73-9	шт.	4	7.50	30.00
Микросхема К140УД17А	шт.	2	50.00	100.00
Микросхема К580ВВ55А	шт.	1	35.00	35.00
Микросхема К1113ПВ1	шт.	1	300.00	300.00
Микросхема К1100СК2	шт.	1	30.00	30.00
Припой ПОС-61	кг	0.01	400.00	4.00
Провод монтажный	м	5	3.00	15.00
Резистор С2-33Н-0.125 Вт	шт.	20	5.0	100.00
Резистор СП5-2В	шт.	2	25.00	50.00
Соединитель SDE25S	шт.	1	15.00	15.00
Соединитель РГ1Н-1-1	шт.	1	20.50	20.50
Соединитель РГ1Н-1-3	шт.	1	25.00	25.00
Соединитель РШ2Н-1-18	шт.	1	23.50	23.50
Соединитель РШ2Н-1-23	шт.	1	27.00	27.00
Спиртоканифоль	кг	0.0025	300.00	0.75
Стеклотекстолит фольгированный	кв. м	0.0064	200.00	1.28
Плата макетная	шт.	1	105.00	105.00
Тензорезисторы ПКП2	шт.	4	30.00	120.00

Шаговый двигатель	шт.	1	400.00	400.00
Прочее	%	10	1948.23	194.82
Итого				2143,05

Итого (материальные затраты): 2143,05 руб.

Рассчитаем заработную плату основных специалистов. Для разработки, сборки и изготовления конструкции устройства требуются специалисты следующих профессий: конструктор – 1 чел., радиомонтажник 5 разряда – 1 чел., слесарь 5 разряда – 1 чел. Исходные данные и расчет заработной платы по тарифу всех работников, занятых в проектировании, сборке и наладке устройства, приведены в табл. п.5.2.

Таблица п.5.2 – Расчет заработной платы по тарифу

Должность	Тариф, *руб./мес.*	Затраты времени на ед. прод., *мес.*	Зарплата по тарифу, *руб.*
1	2	3	4
Конструктор	25000	0.4	10000.00
Радиомонтажник 5 разряда	22000	0.08	835.00
Слесарь 5 разряда	20000	0.08	800.00
Итого (ЗП по тарифу)			13535,00

Рассчитаем сумму премий:

$$ПРЕМИИ = ЗП_{ПО_ТАРИФУ} \times \frac{30\%}{100\%} \text{ (руб.)} \quad \text{(п.5.1)}$$

$$ПРЕМИИ = 13535{,}00 \times \frac{30\%}{100\%} = 4060{,}50 \text{ (руб.)}$$

Рассчитаем основную заработную плату:

$$ЗП_{ОСНОВНАЯ} = ЗП_{ПО_ТАРИФУ} + ПРЕМИИ \text{ (руб.)} \quad \text{(п.5.2)}$$

$$ЗП_{ОСНОВНАЯ} = 13535{,}00 + 4060{,}50 = 17595{,}50 \text{ (руб.)}$$

Рассчитаем дополнительную заработную плату:

$$ЗП_{ДОПОЛНИТ} = ЗП_{ОСНОВНАЯ} \times \frac{10\%}{100\%} \text{ (руб.)} \quad \text{(п.5.3)}$$

$$ЗП_{ДОПОЛНИТ} = 17595{,}50 \times \frac{10\%}{100\%} = 1759{,}55 \text{ (руб.)}$$

Рассчитаем общий фонд заработной платы:

$$ОФ_{ЗП} = ЗП_{ОСНОВНАЯ} + ЗП_{ДОПОЛНИТ} \text{ (руб.)} \quad \text{(п.5.4)}$$

$$ОФ_{ЗП} = 17595{,}50 + 1759{,}55 = 19355{,}05 \text{ (руб.)}$$

Рассчитаем социальный налог:

$$СН = ОФ_{ЗП} \times \frac{30\%}{100\%} \text{ (руб.)} \quad \text{(п.5.5)}$$

$$СН = 19355{,}05 \times \frac{30\%}{100\%} = 5032{,}31 \text{ (руб.)}$$

Рассчитаем накладные расходы:

$$НР = ОФ_{ЗП} \times \frac{50\%}{100\%} \text{ (руб.)} \quad \text{(п.5.6)}$$

$$НР = 19355{,}05 \times \frac{50\%}{100\%} = 9677{,}53 \text{ (руб.)}$$

Рассчитаем себестоимость устройства:

$$СС = МЗ + ОФ_{ЗП} + СН + НР \text{ (руб.)} \quad \text{(п.5.7)}$$

где МЗ – материальные затраты

$$СС = 2143{,}05 + 19355{,}05 + 5032{,}31 + 9677{,}53 = 36207{,}94 \text{ (руб.)}$$

Рассчитаем ожидаемую прибыль:

$$ПРИБЫЛЬ = СС \times \frac{25\%}{100\%} \text{ (руб.)} \quad \text{(п.5.8)}$$

$$ПРИБЫЛЬ = 36051{,}37 \times \frac{25\%}{100\%} = 9051{,}99 \text{ (руб.)}$$

Рассчитаем налог на добавленную стоимость:

$$НДС = (СС + ПРИБЫЛЬ) \times \frac{20\%}{100\%} \text{ (руб.)} \quad \text{(п.5.9)}$$

$$НДС = (36207{,}94 + 9051{,}99) \times \frac{20\%}{100\%} = 8146{,}79 \text{ (руб.)}$$

Рассчитаем предполагаемую договорную цену устройства:

$$ЦЕНА_{Д} = СС + ПРИБЫЛЬ + НДС \text{ (руб.)} \quad \text{(п.5.10)}$$

$$ЦЕНА_{Д} = 36207{,}94 + 9051{,}99 + 8146{,}7874 = 53406{,}72 \text{ (руб.)}$$

Таким образом, предполагаемая договорная цена автоматизированного устройства для определения характеристик изгиба составила 53406,72 рублей.

Расчет стоимости программного обеспечения

Под интеллектуальной собственностью понимается исключительное право (интеллектуальная собственность) гражданина или юридического лица на результаты интеллектуальной деятельности и приравненные к ним средства индивидуализации юридического лица, индивидуализации продукции выполняемых работ или услуг (фирменное наименование, товарный знак, знак обслуживания и т.п.).

Интеллектуальная собственность может быть определена также как и система институтов исключительных прав, относящихся к патентоспособным (или регистрируемых в особом порядке) правовым объектам, или к нерегистрируемым объектам, но охраняемым от незаконного копирования или присвоения. К последним могут быть отнесены объекты авторского права, технические, технологические, производственные секреты, коммерческая информация - то, что принято называть «ноу-хау». По сути, понятие «интеллектуальная собственность» включает в себя все результаты интеллектуальной деятельности в самых различных сферах.

Интеллектуальная собственность, являясь специфическим товаром, имеет достаточно низкую ликвидность. Конкретный объект, как правило, приобретается с определенной целью и под реализацию определенного коммерческого проекта. Таким образом, оцениваемая стоимость объекта интеллектуальной собственности является величиной вероятностной, прогнозной, ожидаемой.

Оценку стоимости объектов интеллектуальной собственности, скорее всего, следует рассматривать как результат аналитического исследования и обобщения условий, порядка и характера использования таких объектов в финансово-хозяйственной деятельности конкретного предприятия.

Кроме того, говоря об оценке стоимости объекта интеллектуальной собственности, следует иметь в виду, что в действительности оцениваются

права на использование того или иного результата интеллектуальной деятельности.

Для оценки интеллектуальной собственности программного обеспечения, используем метод освобождения от роялти, так как данный метод является наиболее простым и удобным для применения в нашем случае, а также он достаточно широко применяется в мировой практике торговли лицензиями.

Данный метод применяется при оценке стоимости права пользования патентом (на изобретение, промышленный образец), а также при продаже беспатентных лицензий (ноу-хау). Владелец объекта интеллектуальной собственности (правообладатель) предоставляет заинтересованному лицу право пользования объектом интеллектуальной собственности (лицензию) за плату, которая может выражаться в виде роялти. Роялти – периодические отчисления лицензиару (продавцу) за право пользования предметом лицензионного соглашения. Ставка роялти устанавливается в виде фиксированных ставок, которые выплачиваются лицензиатом (покупателем) через согласованные промежутки времени в течение действия лицензионного соглашения. Платежи в виде роялти определяются в процентах от выручки, получаемой от продажи изделий, товаров, содержащих объект интеллектуальной собственности, на который предоставляется лицензия.

Стоимость лицензии (права пользования), определенная на основе платежей в виде роялти, определяется по формуле:

$$\text{Цена} = \sum_{i=1}^{i=T} О_i \cdot Р \cdot Д, \quad \text{руб.} \qquad \text{(п.5.11)}$$

где $Ц$ – цена, стоимость лицензий, тыс. руб.; $О_i$ – стоимость реализуемой продукции с использованием объекта интеллектуальной собственности, тыс. руб./год; $Р$ – ставка роялти, %; $Д$ – коэффициент дисконтирования;

i – порядковый номер года действия лицензионного соглашения; $Т$ – срок действия лицензионного соглашения, лет.

В условиях Российской экономики, желательно получить всю стоимость в течении одного года, поэтому принимаем i=1. Так как i=1, то и Д=1, поэтому формула (п.5.11) принимает вид

$$\text{Цена} = \text{О} \cdot \text{Р}, \text{ руб.} \qquad \text{(п.5.12)}$$

Предположим, что с помощью данного программного продукта в год осуществляется n = 500 исследований, стоимость каждого из которых составляет С = 500 руб. Следовательно стоимость реализуемой продукции с использованием объекта интеллектуальной собственности будет равна:

$$O = n \cdot C = 500 \cdot 500.00 = 250000.00 \quad руб./год,$$

Ставку роялти принимаем равной 5%. На долю программного обеспечения приходится 20% от стоимости всего разработанного устройства. Следовательно стоимость лицензии, определенная на основе платежей в виде роялти по формуле (п.10.12), будет равна:

$$Цена = \frac{250000.00 \cdot 5\%}{100\%} \cdot \frac{20\%}{100\%} = 2500.00 \text{ руб.}$$

Полную стоимость автоматизированного устройства (с учетом НДС) можно рассчитать по формуле:

$$ЦЕНА_{ИС} = ЦЕНА_{Д} + ЦЕНА_{БП} + ЦЕНА_{ПО} \text{ (руб.)} \qquad \text{(п.5.13)}$$

где $\text{ЦЕНА}_{\text{Д}}$ – цена автоматизированного устройства;

$\text{ЦЕНА}_{\text{БП}}$ – цена блока питания. Блок питания выбираем компьютерный на 200Вт, рыночная цена 500 руб.

$\text{ЦЕНА}_{\text{ПО}}$ – стоимость программного обеспечения.

$$ЦЕНА_{ИС} = 53406.72 + 500 + 2500.00 = 56406.72 \text{(руб.)}$$

В результате экономического расчета цена автоматизированного устройства (с учетом НДС) составила 56406,72 руб.

Приложение 6

Шкала оценки деформационных свойств для реализации цифровизации конфекционирования

Таблица п.6 - Шкала оценки деформационных свойств льняных тканей при пространственном деформировании усилием растяжения 50 % от разрывной нагрузки

№ ткани	Поверхностная плотность, г/м^2	Переплетение	Волокнистый состав	Характеристика деформационных свойств	
				Стрела прогиба f, мм	Приращение площади пробы ΔS, %
1	276	Саржевое	Льновискозная	13,0	100,0
2	274	Мелкоузорчатое	Льнохлопковая	13,0	100,0
3	265	Саржевое	Льнохлопковая	12,8	96,9
4	240	Мелкоузорчатое	Льняная	12,0	85,2
5	240	Мелкоузорчатое	Льнохлопковая	13,3	104,6
6	240	Мелкоузорчатое	Льнохлопковая	12,4	91,0
7	230	Саржевое	Льняная	13,0	100,0
8	210	Полотняное	Льняная	12,5	92,5
9	207	Саржевое	Льняная	13,5	107,7
10	206	Полотняное	Льняная	12,5	92,5
11	200	Мелкоузорчатое	Льняная	11,4	76,9
12	195	Мелкоузорчатое	Льняная	12,5	92,5
13	190	Мелкоузорчатое	Льняная	12,0	85,2
14	190	Мелкоузорчатое	Льняная	12,2	88,1
15	190	Мелкоузорчатое	Льняная	12,6	93,9
16	188	Полотняное	Льняная	12,3	89,5
17	184	Саржевое	Льняная	12,0	85,2
18	180	Полотняное	Льняная	12,7	95,4
19	180	Полотняное	Льняная	12,5	92,5
20	180	Полотняное	Льняная	11,7	81,0
21	172	Мелкоузорчатое	Льняная	12,0	85,2
22	169	Мелкоузорчатое	Льнохлопковая	12,2	88,1
23	169	Полотняное	Льнохлопковая	11,8	82,4
24	158	Полотняное	Льняная	11,3	75,6
25	157	Полотняное	Льняная	11,7	81,0
26	150	Полотняное	Льнохлопковая	11,8	82,4
27	149	Полотняное	Льнохлопковая	11,6	79,6
28	145	Полотняное	Льнохлопковая	12,0	85,2
29	145	Мелкоузорчатое	Льнохлопковая	11,4	76,9
30	134	Полотняное	Льнохлопковая	10,8	69,0

Приложение 7

Патенты на изобретения, полезные модели, свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2267784

СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ ТЕКСТИЛЬНОЙ И ЛЕГКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ ПРИ ИЗГИБЕ

Патентообладатель(ли): *Костромской государственный технологический университет (RU)*

Автор(ы): *см. на обороте*

Заявка № 2004106079

Приоритет изобретения 01 марта 2004 г.

Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Российской Федерации *10 января 2006 г.*

Срок действия патента истекает 01 марта 2024 г.

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам

Б.П. Симонов

Автор(ы): ***Смирнова Надежда Анатольевна (RU), Лапшин Валерий Васильевич (RU), Козловский Денис Александрович (RU), Янушкевич Нина Анатольевна (RU), Лапшин Юрий Васильевич (RU), Шелушкова Ирина Анатольевна (RU)***

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2422822

СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РЕЛАКСАЦИОННЫХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ИЗГИБЕ

Патентообладатель(ли): *Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Костромской государственный технологический университет" (RU)*

Автор(ы): *см. на обороте*

Заявка № 2009127130

Приоритет изобретения **14 июля 2009 г.**

Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Российской Федерации ***27 июня 2011 г.***

Срок действия патента истекает **14 июля 2029 г.**

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам

Б.П. Симонов

Автор(ы): ***Замышляева Вероника Владимировна (RU), Смирнова Надежда Анатольевна (RU), Лапшин Валерий Васильевич (RU), Козловский Денис Александрович (RU), Хохлова Екатерина Евгеньевна (RU)***

RU 2447077 C1

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2217747

Российским агентством по патентам и товарным знакам на основании Патентного закона Российской Федерации, введенного в действие 14 октября 1992 года, выдан настоящий патент на изобретение

СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РЕЛАКСАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПОСЛЕ ИЗГИБА

Патентообладатель(ли):

Костромской государственный технологический университет

по заявке № 2001131957, дата поступления: 26.11.2001

Приоритет от 26.11.2001

Автор(ы) изобретения:

см. на обороте

Патент действует на всей территории Российской Федерации в течение 20 лет с **26 ноября 2001 г.** при условии своевременной уплаты пошлины за поддержание патента в силе

Зарегистрирован в Государственном реестре изобретений Российской Федерации

г. Москва, ***27 ноября 2003 г.***

Генеральный директор

А.Д. Корчагин

Автор(ы) изобретения:

Смирнова Надежда Анатольевна,
Лапшин Валерий Валерьевич,
Воронова Лариса Викторовна,
Анфиногенов Дмитрий Сергеевич,
Смирнов Алексей Владимирович

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2410688

СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПОСЛЕ ИЗГИБА

Патентообладатель(ли): ***Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Костромской государственный технологический университет" (RU)***

Автор(ы): ***см. на обороте***

Заявка № **2009128003**

Приоритет изобретения **20 июля 2009 г.**

Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Российской Федерации ***27 января 2011 г.***

Срок действия патента истекает **20 июля 2029 г.**

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам

Б.П. Симонов

Автор(ы): ***Лапшин Валерий Васильевич (RU), Замышляева Вероника Владимировна (RU), Смирнова Надежда Анатольевна (RU), Бойко Светлана Вадимовна (RU)***

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

ПАТЕНТ

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 45189

УСТРОЙСТВО ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФОРМОВОЧНЫХ СВОЙСТВ ТКАНЕЙ

Патентообладатель(ли): ***Костромской государственный технологический университет (RU)***

Автор(ы): ***см. на обороте***

Заявка № **2004127359**

Приоритет полезной модели **13 сентября 2004 г.**

Зарегистрировано в Государственном реестре полезных моделей Российской Федерации ***27 апреля 2005 г.***

Срок действия патента истекает **13 сентября 2009 г.**

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам

Б.П. Симонов

Автор(ы): ***Смирнова Надежда Анатольевна (RU), Лапшин Валерий Васильевич (RU), Морилова Лена Валерьевна (RU), Лапшин Юрий Васильевич (RU), Янушкевич Нина Анатольевна (RU)***

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2281499

СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФОРМОВОЧНЫХ СВОЙСТВ

Патентообладатель(ли): ***Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Костромской государственный технологический университет" (RU)***

Автор(ы): ***см. на обороте***

Заявка № **2004122309**

Приоритет изобретения **19 июля 2004 г.**

Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Российской Федерации ***10 августа 2006 г.***

Срок действия патента истекает **19 июля 2024 г.**

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам

Б.П. Симонов

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) **RU** (11) **2 281 499** (13) **C2**

(51) МПК
G01N 33/36 (2006.01)

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21), (22) Заявка: 2004122309/12, 19.07.2004

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
19.07.2004

(43) Дата публикации заявки: 27.01.2006

(45) Опубликовано: 10.08.2006 Бюл. № 22

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: Бузов Б.А. и др., Материаловедение швейного производства., М., Легпромиздат, 1986, с.253. SU 554500 A1, 06.07.1977. US 3541843 A, 24.11.1970. DE 10260216 B3, 13.05.2004.

Адрес для переписки:
156005, г.Кострома, ул. Дзержинского, 17, КГТУ

(72) Автор(ы):
Смирнова Надежда Анатольевна (RU),
Лапшин Валерий Васильевич (RU),
Морилова Лена Валерьевна (RU),
Лапшин Юрий Васильевич (RU),
Шелушкова Ирина Анатольевна (RU)

(73) Патентообладатель(и):
Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Костромской государственный технологический университет" (RU)

(54) СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФОРМОВОЧНЫХ СВОЙСТВ

(57) Реферат:

Изобретение относится к материаловедению производств текстильной и легкой промышленности и предназначено для оценки формовочного свойства ткани. Техническим результатом, достигаемым при реализации заявленного способа, является повышение точности, информативности оценки формовочных свойств и расширение технологических возможностей за счет введения новых характеристик. Способ определения формовочных свойств ткани, по которому образец из испытуемого материала подвергают деформации и определяют изменение угла между нитями основы и утка до появления диагональной складки. Образец подвергают сдвигу, исключающему деформацию растяжения нитей. В процессе сдвига определяют через заданные интервалы времени значения изменения угла и соответствующие им усилия, по которым представляют зависимость угла θ(град) от усилия F(Н), графически или в виде таблицы, релаксацию сдвига нитей в ткани по гистерезисной петле и работу, затрачиваемую на сдвиг до появления складки. 1 табл., 3 ил.

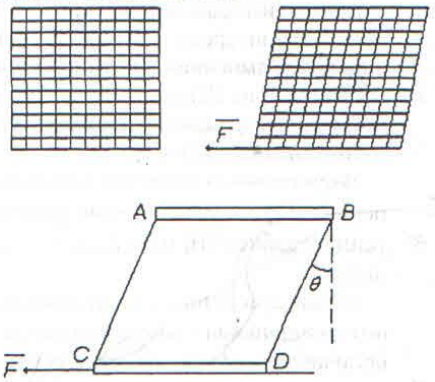


Схема способа

Фиг.1

RU 2281499 C2

RU 2281499 C2

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2549497

СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РЕЛАКСАЦИОННЫХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ ПРИ СДВИГЕ

Патентообладатель(ли): ***федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Костромской государственный технологический университет" (RU)***

Автор(ы): ***см. на обороте***

Заявка № **2013134117**

Приоритет изобретения **19 июля 2013 г.**

Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Российской Федерации ***30 марта 2015 г.***

Срок действия патента истекает **19 июля 2033 г.**

Врио руководителя Федеральной службы по интеллектуальной собственности

Л.Л. Кирий

Автор(ы): *ЛАПШИН ВАЛЕРИЙ ВАСИЛЬЕВИЧ (RU), ТОМИЛОВА МАРГАРИТА ВИКТОРОВНА (RU), СМИРНОВА НАДЕЖДА АНАТОЛЬЕВНА (RU), ЗАМЫШЛЯЕВА ВЕРОНИКА ВЛАДИМИРОВНА (RU), ДОБРЫНИНА НАТАЛЬЯ НИКОЛАЕВНА (RU)*

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

ПАТЕНТ

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 72327

УСТРОЙСТВО ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЖЕСТКОСТИ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ РАСТЯЖЕНИИ

Патентообладатель(ли): ***Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Костромской государственный технологический университет" (RU)***

Автор(ы): ***см. на обороте***

Заявка № **2007143014**

Приоритет полезной модели **20 ноября 2007 г.**

Зарегистрировано в Государственном реестре полезных моделей Российской Федерации ***10 апреля 2008 г.***

Срок действия патента истекает **20 ноября 2017 г.**

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам

Б.П. Симонов

Автор(ы): ***Лапшин Валерий Васильевич (RU), Смирнова Надежда Анатольевна (RU), Замышляева Вероника Владимировна (RU)***

RU 72327 U1

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

ПАТЕНТ

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 48070

УСТРОЙСТВО ДЛЯ ТЕРМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ МАТЕРИАЛОВ И СИСТЕМ МАТЕРИАЛОВ

Патентообладатель(ли): ***Костромской государственный технологический университет (RU)***

Автор(ы): ***см. на обороте***

Заявка № **2004126324**

Приоритет полезной модели **31 августа 2004 г.**

Зарегистрировано в Государственном реестре полезных моделей Российской Федерации ***10 сентября 2005 г.***

Срок действия патента истекает **31 августа 2009 г.**

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам

Б.П. Симонов

Автор(ы): ***Лапшин Валерий Васильевич (RU), Смирнова Надежда Анатольевна (RU), Пугачева Ирина Борисовна (RU)***

RU 48070 U1

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

ПАТЕНТ

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 68133

УСТРОЙСТВО ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТРЕНИЯ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Патентообладатель(ли): ***Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Костромской государственный технологический университет" (RU)***

Автор(ы): ***см. на обороте***

Заявка № **2007107208**

Приоритет полезной модели **26 февраля 2007 г.**

Зарегистрировано в Государственном реестре полезных моделей Российской Федерации ***10 ноября 2007 г.***

Срок действия патента истекает **26 февраля 2012 г.**

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам

Б.П. Симонов

Автор(ы): ***Лапшин Валерий Васильевич (RU), Смирнова Надежда Анатольевна (RU), Колмогорова Татьяна Александровна (RU)***

RU 68133 U1

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

СВИДЕТЕЛЬСТВО

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 21242

Российским агентством по патентам и товарным знакам на основании Патентного закона Российской Федерации, введенного в действие 14 октября 1992 года, выдано настоящее свидетельство на полезную модель

УСТРОЙСТВО ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЖЕСТКОСТИ СКЛАДОК ТЕКСТИЛЬНЫХ ПОЛОТЕН

Обладатель(ли):

Костромской государственный технологический университет

по заявке № 2001117902, дата поступления: 27.06.2001

Приоритет от 27.06.2001

Автор(ы):

см. на обороте

Свидетельство действует на всей территории Российской Федерации в течение 5 лет с **27 июня 2001 г.** при условии своевременной уплаты пошлины за поддержание свидетельства в силе

Зарегистрирован в Государственном реестре полезных моделей Российской Федерации

г. Москва, ***27 декабря 2001 г.***

Генеральный директор

А.Д. Корчагин

Автор(ы):

Лапшин Валерий Валерьевич, Смирнов Алексей Владимирович,
Сухарева Лариса Викторовна, Смирнова Надежда Анатольевна

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2018619528

Программа «Neuro-Prognosis»

Правообладатель: ***Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Костромской государственный университет» (КГУ) (RU)***

Авторы: ***Лапшин Валерий Васильевич (RU), Козловский Денис Александрович (RU), Ершов Владимир Николаевич (RU), Смирнова Надежда Анатольевна (RU), Замышляева Вероника Владимировна (RU)***

Заявка № **2018616521**
Дата поступления **25 июня 2018 г.**
Дата государственной регистрации
в Реестре программ для ЭВМ ***07 августа 2018 г.***

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Г.П. Ивлиев

Приложение 7

Акты внедрения результатов диссертационного исследования

Приложение 7.1

ОТКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО «ЦЕНТРАЛЬНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ПЛЕНОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ИСКУССТВЕННОЙ КОЖИ» (ОАО «ЦНИИПИК»)

«УТВЕРЖДАЮ»

Генеральный директор Д.В. Лабок

«15» декабря 2014 г.

АКТ

о использовании автоматизированного устройства определения формоустойчивости материалов и систем материалов при изгибе

Настоящий акт составлен о том, что разработанное в Костромском государственном технологическом университете автоматизированное устройство определения формоустойчивости материалов при изгибе используется ОАО «ЦНИИПИК» при оценке способности материалов сопротивляться изгибающему воздействию и восстанавливать свою форму после освобождения от деформирующей силы с записью диаграммы. Автоматизированное устройство соответствует современным тенденциям развития техники, обеспечивает повышение информативности испытаний и получение новых характеристик, не имеющих аналогов среди используемых в материаловедении.

Представители КГТУ
проф. Н.А. Смирнова
доц. В.В. Лапшин

Представители ОАО «ЦНИИПИК»
зам. директора Т.Б. Сорокина

Приложение 7.2

«УТВЕРЖДАЮ»
Генеральный директор
ЗАО «Новый мир»
г. Переславль-Залесский
Кешишян Х.Ш.
«15» октября 2014

АКТ

о результатах использования комплекса автоматизированных методов для экспериментальной оценки показателей формоустойчивости текстильных материалов и пакетов материалов

Мы, нижеподписавшиеся, представитель ЗАО «Новый мир» начальник производства Холмогорова О.П. с одной стороны и представители КГТУ доц. Лапшин В.В., проф. Смирнова Н.А., доц. Замышляева В.В. составили настоящий акт о том, что в период с 2010 по 2014 г.г. на производстве использовались разработанные в КГТУ методы определения показателей формоустойчивости текстильных материалов и пакетов материалов и автоматизированные комплексы для их реализации.

В отличие от существующих стандартных методов оценки свойств материалов, позволяющих обеспечить лишь выходной контроль качества продукции, разработанные в КГТУ методы и автоматизированные комплексы позволяют оценить свойства материалов, определяющие их способность к переработке в качественные швейные изделия.

Представленные КГТУ методы, автоматизированные устройства и программное обеспечение для их успешного использования, позволяют по-новому подходить к оценке качества материалов для швейных изделий и совершенствовать технологию их изготовления.

Проведенная производственная апробация позволяет рекомендовать разработанные в КГТУ методы и автоматизированные комплексы к широкому промышленному использованию и считать целесообразным пересмотр существующих стандартов.

Начальник производства
ЗАО «Новый мир» О.П. Холмогорова

Доцент КГТУ В.В. Лапшин.
Профессор КГТУ Н.А. Смирнова
Доцент КГТУ В.В. Замышляева

Приложение 7.3

“УТВЕРЖДАЮ”
Директор ателье г. Нерехты
ИП Беляева Н.В.

“ 6 ” июня 2014 г.

АКТ

о внедрении рекомендаций по проектированию одежды с учётом способности льняных тканей к сдвигу нитей

Мы, нижеподписавшиеся, технолог ателье ИП Беляева Н.В. Кузнецова А.В. с одной стороны и представители ФГБОУ ВПО «Костромской государственный технологический университет»: аспирант Добрынина Н.Н., доцент кафедры АМТ Лапшин В.В., проф. Смирнова Н.А. с другой стороны, составили настоящий акт о том, что в производство внедрены результаты научно-исследовательской работы Костромского государственного технологического университета по оценке и прогнозированию способности льняных тканей к сдвигу нитей.

Использование разработанных рекомендаций позволяет проводить сравнительный анализ формоустойчивости тканей при сдвиге нитей и расширяет информацию о технологических и потребительских свойствах тканей. Использование разработанных рекомендаций позволяет обеспечить высокое качество швейных изделий из льняных тканей.

Технолог ателье г. Нерехты
ИП Беляева Н.В. _____ **Кузнецова А.В.**

Доцент АМТ _____ **Лапшин В.В.**

Профессор КГТУ _____ **Смирнова Н.А.**

Аспирант КГТУ _____ **Добрынина Н.Н.**

Приложение 7.4

«УТВЕРЖДАЮ»
Директор ателье г.Псков
Никифоров Ю.Н.
ООО «Серебряная нить»
21 марта 2012 г

АКТ

О внедрении результатов исследований влияния ТКПМ на качество пакетов одежды из камвольных костюмных тканей

Мы, нижеподписавшиеся, директор ателье ООО «Серебряная нить» Никифоров Юрий Николаевич и технолог Мотина Наталья Александровна с одной стороны и представители кафедры технологии и материаловедения швейного производства ФГБОУ ВПО «Костромской государственный технологический университет» студентка Куревенкова М.С., докторант Лапшин В.В. и проф. Смирнова Н.А., с другой стороны составили настоящий акт о использовании результатов исследований и практических рекомендаций по выбору ТКПМ для пакетов одежды из камвольных костюмных тканей с учетом их показателей влияющих на формоустойчивость.

Рекомендации по режимам дублирования и рациональному использованию современного ассортимента ТКПМ отечественных и зарубежных фирм изготовителей, с учетом структуры их основы, поверхностной плотности, вида и структуры полимерного покрытия, используются предприятием и позволяют обеспечить качество изготавливаемой одежды. Использование автоматизированного устройства для оценки характеристик изгиба дублированных пакетов материалов позволяет оперативно получить информацию о показателях свойств, определяющих качество одежды.

Рекомендации позволяют определить рациональный вариант ТКПМ для получения качественного пакета одежды.

Технолог ателье г.Псков ООО «Серебряная нить» — Мотина Н.А.
Проф. КГТУ, д.т.н. — Смирнова Н.А.
Студент КГТУ — Куревенкова М.С.
Докторант КГТУ, к.т.н. — Лапшин В.В.

Приложение 7.5

УТВЕРЖДАЮ
Директор предприятия
ИП Метелёва О. В.
Метелёва О. В.
«26»декабря 2010г.

АКТ

о результатах использования автоматизированных методов

для экспериментальной оценки деформационных свойств тканей и систем материалов

В период с 2005 по 2010 г. на предприятии ИП Метелёва О. В. г. Кирова использовались разработанные в КГТУ методы и автоматизированные комплексы для их реализации: определение деформационных свойств при растяжении и изгибе в статических и динамических условиях для прогнозирования технологичности и эксплуатационной надежности материалов и пакетов одежды.

В сравнении с существующими стандартными методами оценки свойств материалов, позволяющих обеспечить лишь выходной контроль продукции предприятий, выпускающих материалы для одежды, методы, разработанные в КГТУ позволяют оценить свойства материалов, определяющие их способность к переработке в качественные швейные изделия. Применение методов оценки динамических показателей деформации изгиба и реализация возможности раскрытия кинетики процессов изгиба материалов и последующего восстановления дает возможность оценки технологичности и надежности материалов и изделий при эксплуатации. Методы, предлагаемые КГТУ, автоматизированные устройства и программное обеспечение для их успешного использования, позволяют по-новому подходить к оценке качества материалов для швейных изделий и совершенствовать технологию их изготовления.

Производственная апробация позволяет рекомендовать методы, разработанные в КГТУ, к широкому использованию и считать целесообразным пересмотр существующих стандартов, в частности, разработать проект нового стандарта взамен существующего ГОСТ 8977-74 «Кожа искусственная и пленочные материалы. Методы определения жесткости и упругости».

Разработанные в Костромском государственном технологическом университете новые методы определения показателей качества тканей и систем материалов, характеризующих технологические и эксплуатационные свойства продукции, обеспечивают повышение объективности оценки, расширяют информативность и качество проведения измерений.

Представители КГТУ
проф. Н.А. Смирнова
доц. В.В. Лапшин

Представитель предприятия
технолог Е. Г. Лутошкина

Приложение 7.6

Министерство образования и науки
Российской Федерации
Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
“Ивановская государственная
текстильная академия”
(ИГТА)
Пр. Ф. Энгельса, 21, г. Иваново, 153000.
Тел.(4932)328545, факс (4932)412108.
E-mail: rector@igta.ru.
www.igta.ru

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебной работе
профессор **В.В.Любимцев**
_____
«17» марта 2010г.

АКТ

о внедрении автоматизированных методов
определения деформационных свойств текстильных материалов
при изгибе и растяжении в динамическом режиме.

Настоящий акт составлен о том, что разработанные Лапшиным В.В. автоматизированные методы определения деформационных свойств текстильных материалов при изгибе и растяжении в динамическом режиме и используются при проведении научно-исследовательских, курсовых и дипломных работ в учебном процессе Ивановской государственной текстильной академии. Разработанные методы позволяют определить характеристики деформационных свойств текстильных материалов в условиях, приближенных к условиям эксплуатации изделий. Практическая ценность методов заключается в том, что на основе комплекса характеристик деформационных свойств осуществляется научно обоснованный выбор материалов и проектирование швейных изделий заданного уровня качества.

Зав. кафедрой материаловедения
и товароведения, д.т.н., профессор Б.Н.Гусев

Д.т.н., профессор кафедры технологии
и материаловедения швейного
производства КГТУ Н.А.Смирнова

Доцент кафедры автоматики
и микропроцессорной техники КГТУ В.В.Лапшин

Приложение 7.7

«У Т В Е Р Ж Д А Ю»
Главный инженер
ЗАО «МОДА»
Желнина В.А.
_____
_____ 2010г.

АКТ

о внедрении рекомендаций полученных с помощью автоматизированных методов определения показателей качества текстильных материалов в динамических условиях

Мы, нижеподписавшиеся, технолог ЗАО «Мода» Гольмак М.Г. с одной стороны и представители Костромского государственного технологического университета Лапшин В.В. и Смирнова Н.А. с другой стороны составили настоящий акт о внедрении рекомендаций, полученных с помощью автоматизированных методов определения показателей качества текстильных материалов в динамических условиях в производственный процесс.

Рекомендации позволяют научно обоснованно конфекционировать материалы для одежды и определить способность текстильных материалов к переработке в качественные швейные изделия.

Технолог ЗАО «Мода» Гольмак М.Г.

Д.т.н., профессор Смирнова Н.А.

К.т.н., доцент Лапшин В.В.

Приложение 7.8

«УТВЕРЖДАЮ»
первый проректор
Костромского государственного университета
к.т.н., доц. В.Н. Ершов

14 мая 2018 г.

АКТ ВНЕДРЕНИЯ

результатов диссертационной работы В.В. Лапшина на тему: «Разработка методологических основ и автоматизированного измерительного комплекса для оценки свойств текстильных материалов» в научный и учебный процесс Костромского государственного университета

Настоящий акт составлен о том, что разработанные Лапшиным В.В. автоматизированные системы входящие в измерительный комплекс оценки свойств текстильных материалов внедрены в научный и учебный процесс на кафедрах: дизайна, технологии, материаловедения и экспертизы потребительских товаров (ДТМиЭПТ); автоматики и микропроцессорной техники (АМТ) Костромского государственного университета и используются при выполнении диссертационных, научно-исследовательских работ, а также в курсовом и дипломном проектировании.

Экспериментальные исследования проведенные с использованием автоматизированного комплекса и новых характеристик свойств материалов и пакетов материалов для изделий легкой промышленности позволили сформировать базу данных необходимую для цифровизации конфекционирования.

Предложенные автоматизированный измерительный комплекс и методы исследования свойств материалов позволяют оценить основные технологические и эксплуатационные свойства текстильных материалов и

влияние различных факторов, характерных для изготовления и эксплуатации изделий легкой промышленности.

За период выполнения диссертации защищена одна докторская и более десяти кандидатских диссертаций по специальности 05.19.01 – Материаловедение производств текстильной и легкой промышленности в которых использованы разработанный Лапшиным В.В. автоматизированный комплекс исследования свойств текстильных материалов.

Разработанный автоматизированный комплекс и методы, реализуемые с его использованием применяются аспирантами, магистрантами и бакалаврами, обучающимся по направлениям: «Технология изделий легкой промышленности», «Дизайн», «Конструирование изделий легкой промышленности», «Товароведение», «Технология и проектирование текстильных изделий», «Автоматизация технологических процессов и производств», «Управление в технических системах».

Зав. кафедрой ДТМиЭПТ,
доцент, к.т.н. О.В. Иванова

Зав. кафедрой АМТ,
профессор, д.т.н. Б.А. Староверов

Приложение 7.9

«У Т В Е Р Ж Д А Ю»
Креативный директор
ООО «ПАЗЛ»
Сивкова С.Н.
«19» июня 2019 года

АКТ

внедрения в производственный процесс результатов диссертационной работы Лапшина Валерия Васильевича «Разработка методологических основ и автоматизированного измерительного комплекса для исследований свойств текстильных материалов», выполненной ФГБОУ ВО Костромской государственный университет

Настоящим актом подтверждается, что результаты, выполненные лично к.т.н. Лапшиным В.В. и при его непосредственном участии, направленные на методологию исследования свойств и создания автоматизированных средств испытаний, улучшающих оценку технологичности текстильных материалов на основе целенаправленного регулирования качества изделий в результате учета структуры и свойств полотен на всех стадиях проектирования и изготовления изделий
и переданные: ООО «ПАЗЛ» г. Костромы
внедрены: в период с 2016 по 2019 год в мелкосерийное производство женской, мужской и детской одежды из льняных тканей.

Сущность разработок заключается в следующем:

1. Метод автоматизированного прогнозирования, создан с помощью интеллектуальной системы, созданной на базе искусственных нейронных сетей.
2. Цифровая база данных по свойствам материалов при изгибе, сдвиге и растяжении.
3. Полярные диаграммы анизотропии жесткости, упругости, работы изгиба льняных тканей разных переплетений.

Эффективность внедрения

а) организационно-технические преимущества:
- сокращение затрат времени на конфекционирование материалов;
- сокращение затрат времени на разработку конструкций при выборе рационального направления конструктивных линий с использованием полярных диаграмм анизотропии свойств
- улучшение качества выпускаемой продукции в результате применения на стадии проектирования интеллектуальной системы на базе искусственных нейронных сетей при конфекционировании рациональных материалов.

б) экономические показатели:
- снижение себестоимости продукции на 8-12 %

от ФГБОУ ВО «КГУ»:
к.т.н., доцент Лапшин В.В.
д.т.н., профессор Смирнова Н.А.

Приложение 7.10

УТВЕРЖДАЮ
Заместитель генерального директора
ООО «Вотекс»

_____ С. Н. Мусатов
«20» 06 2019 года

АКТ
внедрения разработок ВУЗа

Мы, нижеподписавшиеся, главный технолог Вологодского текстильного комбината ООО «Вотекс» Смирнова О.В с одной стороны, и представители ФГБОУ ВО «Костромской государственный университет» Лапшин В.В. – к.т.н. доцент и Смирнова Н.А. – д.т.н., профессор, с другой стороны, составили настоящий акт о внедрении на предприятии инновационной технологии прогнозирования свойств льняных тканей по характеристикам их строения разработанной на базе искусственных нейронных сетей.

Настоящим документом уведомляется, что разработка кафедры «Дизайна, технологии, материаловедения и экспертизы потребительских товаров» ФГБОУ ВО «Костромской государственный университет», а именно: результаты диссертационного исследования Лапшина Валерия Васильевича выполненного на тему: «Разработка методологических основ и автоматизированного измерительного комплекса для исследований свойств текстильных материалов», обладает актуальностью.

Представляют большой практический интерес цифровые справочные данные в виде базовых цифровых шкал по льняным тканям, позволяющие анализировать взаимосвязь свойств тканей с характеристиками их строения и осуществлять реализацию цифровизации текстильного производства.

Экономический эффект от внедренных рекомендаций выражается в снижение себестоимости изделий на 14-15 % за счет экономии сырья и обеспечения требуемых свойств тканей достигаемых рациональными переплетениями и поверхностной плотностью.

Главный технолог
ООО «Вотекс» Смирнова О.В

от ФГБОУ ВО «КГУ»:
к.т.н., доцент Лапшин В.В.

д.т.н., профессор Смирнова Н.А.