

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Филиал федерального государственного автономного образовательного
учреждения высшего образования

«Южно-Уральский государственный университет
(национальный исследовательский университет)» в г. Златоусте

Дерябина Алла Игоревна

**РАЗРАБОТКА МЕТОДА ОЦЕНКИ И ИССЛЕДОВАНИЕ
ДЕФОРМАЦИИ ПРИ ЦИКЛИЧЕСКОМ СЖАТИИ ОБЪЕМНЫХ
ТЕТКАНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ОДЕЖДЫ**

Специальность 05.19.01. – Материаловедение
производств текстильной и легкой промышленности

Диссертация

на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель:
доктор технических наук, доцент
Лисиенкова Л.Н.

Москва – 2017

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
1. АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР СОСТОЯНИЯ ПРОБЛЕМЫ. ОСОБЕННОСТИ ДЕФОРМАЦИИ ОБЪЕМНЫХ НЕТКАНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ВНЕШНИХ ФАКТОРОВ.....	10
1.1. Характеристика ассортимента объемных нетканых материалов для одежды.....	11
1.2. Анализ внешних факторов, влияющих на структуру и свойства объемных нетканых материалов	18
1.2.1. Производственные факторы.....	18
1.2.2. Эксплуатационные факторы.....	23
1.3. Изменение структуры и свойств исследуемых объектов при сжатии	25
1.4. Показатели и методы оценки деформации материалов при сжатии и постановка проблемы исследования	33
Выводы по первой главе	43
2. МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ.....	45
2.1. Выбор и характеристика объектов исследования.....	45
2.2. Методы исследования.....	48
2.2.1. Методы определения структурных характеристик и геометрических свойств нетканых материалов.....	48
2.2.2. Разработка стендовой установки для исследования деформации нетканых материалов в условиях циклического сжатия.....	50
2.3. Обработка результатов исследований и оценка достоверности экспериментальных данных	52
Выводы по второй главе.....	57
3. АНАЛИЗ ДЕФОРМАЦИИ МАТЕРИАЛОВ И СИСТЕМ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ОДЕЖДЫ В УСЛОВИЯХ ЦИКЛИЧЕСКОГО СЖАТИЯ.....	58
3.1. Теоретическое обоснование модели деформации нетканых материалов при циклическом сжатии.....	58

3.2. Разработка математической модели определения деформации нетканых материалов	64
3.3. Экспериментальная оценка разработанной модели	70
Выводы по третьей главе.....	75
4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДЕФОРМАЦИИ ОБЪЕМНЫХ НЕТКАНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ОДЕЖДЫ ПРИ ЦИКЛИЧЕСКОМ СЖАТИИ.....	76
4.1. Разработка методического обеспечения испытаний материалов при циклическом сжатии.....	77
4.1.1. Принцип работы устройства и его конструктивное решение.....	77
4.1.2. Оценка погрешностей результатов испытания.....	83
4.1.3. Выбор параметров сжатия и разработка методики проведения испытаний.....	85
4.2. Экспериментальные исследования деформации материалов и их систем для одежды при циклическом сжатии	91
4.2.1 Деформация материалов при изменении параметров циклического сжатия	91
4.2.2 Исследование деформации материалов при циклическом сжатии после воздействия влажных обработок (стирок)	93
4.2.3 Экспериментальные исследования деформации систем материалов при воздействии циклического сжатия и влаги.....	96
4.3 Исследование влияния деформации объемных нетканых материалов при циклическом сжатии на теплофизические свойства материалов	100
Выводы по четвертой главе.....	103
5. РАЗРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ДЕФОРМАЦИИ ОБЪЕМНЫХ НЕТКАНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ОДЕЖДЫ В УСЛОВИЯХ ЦИКЛИЧЕСКОГО СЖАТИЯ.....	105
5.1. Выбор показателей сжимаемости для оценки деформации материалов	105

5.2. Сравнительный анализ деформации материалов при циклическом сжатии в лабораторных условиях и при эксплуатации изделий.....	107
5.3. Разработка методики прогнозирования деформации объемных нетканых материалов для рационального подбора пакетов материалов для одежды.....	112
Выводы по пятой главе.....	117
ОБЩИЕ ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ.....	118
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	120
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	137

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. В последнее время развитие легкой промышленности тесно связано с производством различных швейных изделий из нетканых материалов. Благодаря высоким теплозащитным и эргономическим показателям, нетканые материалы и изделия с их применением имеют стабильно устойчивый спрос у производителей и потребителей одежды. Разнообразие современного ассортимента нетканых материалов ставит перед отечественными предприятиями легкой промышленности задачу максимального удовлетворения спроса потребителей в качественной одежде с применением указанных материалов. Производство отечественной конкурентоспособной продукции особо актуально в условиях импортозамещения.

Особенность нетканых волокнистых материалов - рыхлая неупорядоченная структура, что обуславливает неравномерность значений показателей свойств, прежде всего геометрических. В процессах производства и эксплуатации нетканые материалы испытывают небольшие по величине (1-20% от разрушающих) циклические нагрузки, которые в первую очередь влияют на изменение размеров и формы деталей и изделий. Деформация нетканых материалов и их систем при циклическом сжатии существенно влияет на качественные характеристики материалов и готовых изделий (эргономичность, надежность).

В отличие от обувных материалов свойства волокнисто-сетчатых материалов для одежды при многоцикловом сжатии изучены недостаточно. Косвенные показатели свойств материалов при сжатии (сжимаемость, твердость, предел прочности), методы и средства их определения не позволяют оценить поведение нетканых материалов в условиях производства и эксплуатации одежды [1]. Основной недостаток применяемых методов и показателей состоит в том, что они не оценивают влияние факторов производства и эксплуатации на структуру и свойства нетканых материалов.

Одним из важнейших направлений обеспечивающих качество изделий из нетканых материалов является разработка и использование методов исследования и оценки деформации материалов и их систем входящих в пакет изделий при воздействии производственных и эксплуатационных факторов.

Цель диссертационной работы - повышение качества и конкурентоспособности изделий с применением объемных нетканых материалов на базе разработки метода и средств исследования деформации материалов в условиях циклического сжатия.

Достижение поставленной цели подразумевает решение следующих научных и технических задач:

- обзор и анализ существующих методов и средств исследования поведения нетканых материалов в условиях циклического сжатия;
- исследование деформации объемных нетканых материалов в условиях циклического сжатия;
- разработка нового метода и средств исследования деформации нетканых материалов в условиях циклического сжатия, моделирующих воздействие факторов производства и эксплуатации одежды;
- проведение экспериментальных исследований закономерностей изменения деформации нетканых материалов и систем материалов из них в условиях циклического сжатия;
- разработка методики комплексной оценки характеристик деформации нетканых материалов и систем материалов в условиях циклического сжатия для прогнозирования их поведения при производстве и эксплуатации одежды;
- разработка практических рекомендаций по использованию результатов исследований при проектировании и изготовлении швейных изделий с применением объемных нетканых материалов.

Общая характеристика методов исследования. Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертационной работе, подтверждается использованием современных методов исследования, с применением проверенных средств измерений, сертифицированного

оборудования и приборов; методами математической статистики, планирования, аналитического моделирования и интерполяции, которые осуществлялись на ЭВМ с применением программных продуктов: Windows XP Professional Service Pack II, программное обеспечение Microsoft Office 2010, MathCAD 2003, MS Excel; Компас-3D V8+.

Область исследования. Работа выполнена в соответствии с пунктами 2, 6 и 8 паспорта специальности 05.19.01 Материаловедение производств текстильной и легкой промышленности (технические науки).

Научная новизна результатов работы: При проведении теоретических и экспериментальных исследований автором впервые:

- создано новое устройство для определения деформации сжатия текстильных материалов;

- исследованы компоненты полной деформации объемных нетканых материалов в условиях циклического сжатия, при воздействии внешних факторов;

- получены математические зависимости деформации сжатия нетканых полотен, позволяющие прогнозировать параметры производства и эксплуатации при которых материал остается в упругом состоянии;

- разработана новая методика комплексной оценки характеристик деформации объемных нетканых материалов условиях циклического сжатия для прогнозирования показателей их качества.

Практическую значимость результатов работы представляют:

- разработанная структурная схема и конструкция устройства для определения деформации объемных нетканых материалов в условиях циклического сжатия;

- разработанная новая методика прогнозирования показателей сжимаемости нетканых материалов, позволяет научно обоснованно осуществлять конфекционирование нетканых материалов, определять

конструктивные и технологические особенности их изготовления, условия эксплуатации изделий;

- разработанные практические рекомендации для швейного производства по рациональному выбору объемных утепляющих нетканых материалов в пакет изделия, технологической обработке, условиям эксплуатации одежды;

- разработанная методика комплексной оценки деформации нетканых материалов и прогнозирования их свойств в условиях циклического сжатия апробирована на швейных предприятиях Челябинской области, получила положительную оценку и была рекомендована к внедрению на предприятиях по производству изделий с применением объемных нетканых материалов. Разработанная методика внедрена и используются при проведении научно-исследовательских, курсовых и дипломных работ в учебном процессе ФГАОУ ВО «ЮУрГУ» (НИУ) г. Челябинска и филиала университета в г.Златоусте, ФГБОУ ВО «Костромской государственной технологической университет» г. Кострома, ФГБОУ ВО «Омский государственный институт сервиса» г. Омск.

Апробация результатов работы. Материалы диссертации докладывались и получили положительную оценку на следующих конференциях:

– международная научно-практическая конференция International Conference «Industrial Engineering – ICIE-2015» (международная научно-практическая конференция «Пром-Инжиниринг») г. Челябинск;

– международной научно-практической конференции «Problematyczne aspekty i rozwiązania we współczesnej nauce 28.06.2012-30.06.2012» (Kraków, 2012) / «Проблемные аспекты, пути решения в современной науке» (Польша, г. Краков, 2012 г.);

– международной научно-практической конференции «Инновационные технологии производства товаров, повышения качества и безопасности продукции легкой промышленности», «Алматинский технологический университет» (Республика Казахстан, г. Алматы, 2012 г.);

– всероссийской 59-й научно-практической конференции с международным участием «Россия молодая», «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева» (КузГТУ) (г. Кемерово, 2014 г.);

– X межвузовской научно-практической конференции студентов и аспирантов "Молодёжь, наука, творчество – 2012", «Омский государственный институт сервиса» (г. Омск, 2012 г.);

– всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Проблемы и перспективы развития лёгкой промышленности и сферы услуг», «Омский государственный институт сервиса», (г. Омск, 2015 г);

— ежегодных научно-практических конференциях студентов и аспирантов «Наука ЮУрГУ», ФГБОУ ВО «ЮУрГУ» (НИУ), (г. Челябинск, 2011-2015);

Публикации. По теме исследований опубликовано 14 печатных работ, в том числе 4 в изданиях, рекомендованных ВАК РФ. Получен патент РФ на полезную модель № 144579 U1 «Устройство для определения деформации текстильных материалов при сжатии».

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав с выводами, общих выводов по работе и библиографического списка, включающего 153 наименования. Работа изложена на 136 страницах машинописного текста, включает 33 рисунка, 22 таблицы, 8 приложений.

Глава 1. АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР СОСТОЯНИЯ ПРОБЛЕМЫ. ОСОБЕННОСТИ ДЕФОРМАЦИИ ОБЪЕМНЫХ НЕТКАНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ВНЕШНИХ ФАКТОРОВ

Для изготовления одежды применяют разнообразные материалы, отличающиеся по способу получения, структуре, свойствам [126].

Основными внешними факторами, действующими на материалы являются время, механическое и тепловое воздействие. Для объемных нетканых материалов действие внешних механических воздействий приводит к значительным изменениям структуры и свойств, что влияет, прежде всего, на изменение геометрических размеров объемных нетканых материалов [58, 144].

Материалы подвергаются различным видам деформации (растяжение, сжатие, изгиб, кручение) на всех стадиях жизненного цикла: производства, эксплуатации, хранения, ухода, что в свою очередь приводит к изменению структурных характеристик.

Процессы производства (настиление, раскрой, формование, прессование, соединение, влажно-тепловые обработки) одежды связаны, прежде всего, с изменением размеров и формы деталей изделий при растяжении и сжатии.

В процессе эксплуатации одежды срок ее службы, в первую очередь, обусловлен сохранением заданной формы и размеров деталей, узлов и изделий в целом [143, 149]. При производстве и эксплуатации в материалах и их системах происходят изменения структурных связей при воздействии внешних факторов (механических, физических, химических, комбинированных). С учетом условий производства и эксплуатации одежды бытового назначения наиболее важным фактором является силовое давление на материалы и их системы в изделиях. Силовое давление на объекты изменяет их размеры и форму в основном за счет деформаций растяжения и сжатия структурных элементов материалов и их систем.

В условиях импортозамещения перед отечественными производителями встает задача выпуска конкурентоспособных качественных нетканых

материалов, что невозможно без развития способов оценки их свойств и методов прогнозирования поведения материалов при производстве и эксплуатации.

К настоящему времени поведение материалов при растяжении изучалось достаточно широко рядом известных ученых. Наиболее значительный вклад в изучение данного вопроса принадлежит: Г.Н. Кукину, Б.А. Бузову, А.П. Жихареву, А.Г. Зыбину, О.А. Макарову, И.А. Мохиревой, Л.А. Серебряковой и другие не менее известные авторы [83, 15, 64, 68, 91, 99, 126].

Поведение материалов при сжатии изучено, к сожалению, недостаточно и требует более углубленного анализа. В данной главе представлен научный поиск, посвященный особенностям поведения материалов и их систем в одежде при сжатии в процессах изготовления и эксплуатации изделий.

1.1. Характеристика ассортимента объемных нетканых материалов для одежды

В последние годы одной из самых быстро развивающихся отраслей текстильной промышленности в России и зарубежом является производство объемных нетканых материалов. Неткаными материалами называются текстильные полотна, структурные элементы которых (волокна, нити, ткани, трикотаж) скреплены различными способами [5, 8, 15, 21, 16]. Производство объемных нетканых материалов в России – это быстро развивающийся сегмент рынка текстильной продукции [24, 105, 101, 137]. Крупным потребителем объемных нетканых материалов является швейная отрасль, в которой такие материалы являются важной составной частью швейных изделий.

Нетканые полотна используются в качестве:

- основных материалов для пальто, костюмов, курток;
- прокладочных материалов для повышения формоустойчивости;
- ветрозащитных и утепляющих материалов [4, 15, 43, 64].

Скрепление структурных элементов нетканых полотен осуществляется различными способами.

Нетканые материалы классифицируются по следующим признакам: назначение, вид сырья, вид отделки, способ производства [15, 62, 104]. Данная классификация была предложена в 1964 г. на 1 - м Международном симпозиуме, посвященном проблемам нетканых материалов. По мнению Ю.Я. Тюменева, Г.К. Мухамеджанова данная классификация нетканых полотен устарела, так как за последние годы в промышленности нетканых материалов произошли серьезные изменения [100]. Ниже приведена схема классификации нетканых материалов в зависимости от различных признаков (рис. 1.1).

В зависимости от назначения нетканые полотна подразделяются на агротекстиль, геотекстиль, промышленный, строительный, медицинский, защитный, фильтрующий и сорбирующий, санитарно-гигиенический, утепляющий, упаковочный, промышленный, изоляционный [3, 119, 101, 138].

В работе [128] нетканые полотна разделены по функциональному назначению, некоторые из них представлены в табл. 1.1.

Таблица 1.1

Характеристика нетканых материалов [128]

Вид нетканых материалов	Поверхностная плотность, г/м ²	Ширина, см	Толщина, мм
Ветрозащитных и утепляющих материалов			
Ватины холстопрошивные	200–320	150	10-15
Ватины нитепрошивные	150–155	200–280	10–15
Ватины иглопробивные	до 450	120–160	до 15
Клееные объемные полотна	до 460	120–160	до 20
Прокладочных материалов для повышения формоустойчивости			
Фильерные	20–60	150	0,20
Термоклеевые прокладочные материалы	54–160	150	0,3–0,6
Прокладочные ткани с клеевым покрытием	140–180	150	до 0,8

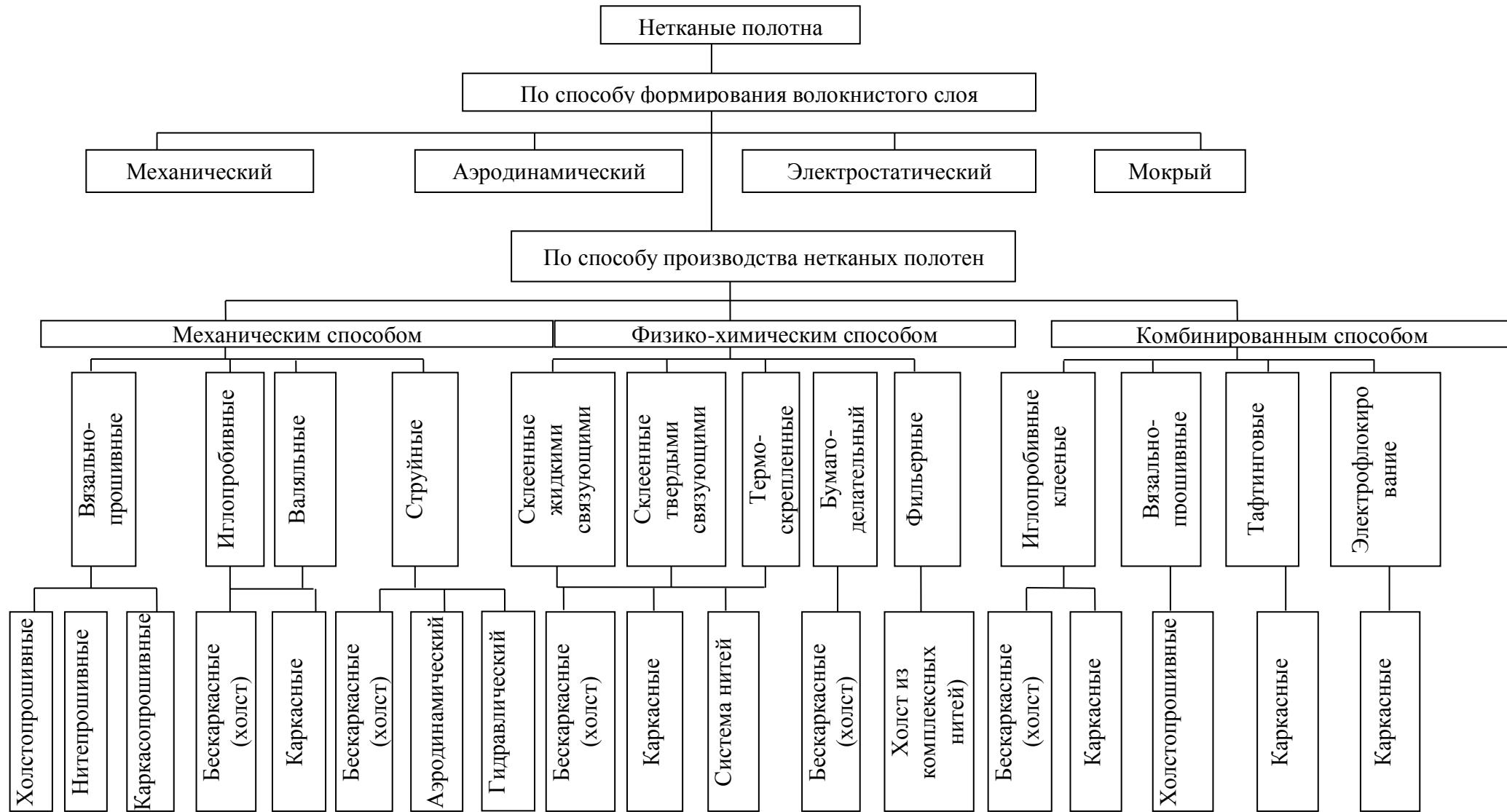


Рис. 1.1. Классификация нетканых материалов [126]

Объемные нетканые полотна широко используются в качестве утепляющих материалов для верхней одежды. По причине климатических условий на территории большинства регионов страны одним из необходимых материалов для швейных изделий, предназначенных для эксплуатации в холодных условиях, является утеплитель [3, 14, 44, 101, 102, 142, 153]. К объемным нетканым утеплителям следует отнести хлопчатобумажные и шерстяные ватины, синтетические объемные полотна, изготавливаемые различными способами и технологиям [34, 101, 105].

Нетканые полотна выпускают около 70 российских предприятий, однако наиболее значимыми можно считать: ООО «Термопол» (г. Москва), ООО «Фабрика нетканых материалов “Весь мир”» (г. Подольск), ОАО «Комитекс» (г. Сыктывкар), ООО «Сибур-Геотекстиль» (г. Сургут), ООО «Номатекс» (Ульяновская обл.), ЗАО «Холтекс-Авто» (г. Москва), ЗАО «Туймазытекс» (Республика Башкортостан, г. Туймазы), ОАО «Дмитровский искусственный мех» (Московская обл.), ОАО «Нимпротекс» (Курская обл.). Остальной объем производства нетканых материалов распределен по малым предприятиям и производствам [3, 44].

На российском рынке широко представлены различные виды синтетических утеплителей с разными торговыми названиями: синтепон, «Холлофайбер», «Тинсулейт», «Файбертек», а также «Шелтер», «Изософт», «Шерстипон» и др., характеристика, которых представлена в табл. 1.2

Степень теплоизоляции нетканых утеплителей зависит от объемной плотности материалов [14, 19, 125, 118, 120, 134]. В процессе эксплуатации отдельные участки одежды подвергаются внешним силовым воздействиям, в том числе воздействию ветровой нагрузки, приводящим к сжатию материалов и уменьшению толщины утепляющего материала, снижению теплоизолирующей способности одежды [125].

Современные объемные нетканые полотна (утеплители) [3, 101, 105]

Торговое название утеплителя, производитель	Поверхностная плотность, г/м ²	Толщина, мм	Назначение	Отличительные характеристики
«Файбертек» (СООО «Торговый Дом «Файбертек». Республика Белоруссия)	120...500	15–65	Утеплитель для одежды	Выдерживает большие нагрузки, не сбивается, антибактериальна я обработка
«Файбертек Ультра» (СООО «Торговый Дом «Файбертек». Республика Белоруссия)	120...300	15–65	Для специальной, профессиональн ой одежды, одежды для туризма, спорта, активного отдыха	Повышенная прочность, введение антистатика на основе серебра
«Файбертек Унилайт» (СООО «Торговый Дом «Файбертек». Республика Белоруссия)	120...400	15–65	Для утепления демисезонной и зимней одежды	Легкость края небольших деталей одежды, утеплитель «не рассыпается»
«Файбертек Унисофт» (СООО «Торговый Дом «Файбертек». Республика Белоруссия)	150...400	15–65	Для одеял, спальных мешков, наматрасников, подушек	Очень легкий, в 2,5 раза легче типового одеяла
«Теплин» и «Термофайбер» (ЗАО «Политекс» Республика Белоруссия)	–	15–30	Для одежды, спальных мешков и наполнителей для одеял, мебели	Высокие теплозащитные и теплосберегающи е свойства
«Холлофан» (ОАО «ФАНЕМА», Россия, Ленинградская область)	100...350	15–30	Утеплитель для любых видов верхней одежды, постельного	Повышенные теплоизоляционн ые свойства и формоустойчивос ть

			белья и спальных мешков	
«Шерсти-крон» (ОАО «ФАНЕМА», Россия, Ленинградская область)	–	15–30	Утеплитель для одежды	Улучшенные теплозащитные, ветрозащитные и гигиенические свойства
«Шерстон» (ООО «Торговый Дом «Текстиль» Россия (г. Москва)	180...300	15–30	Утеплитель для зимней спецодежды (нефтяная, газовая отрас- ли)	Высокие гигиенические и теплозащитные свойства
«Арктик» (ООО «Термопол» Россия (г. Москва)	–	7-10	Для обычной зимней и межсезонной одежды, спальных мешков	Высокие гигиенические свойства, огнестойкий
Тинсулейт (ЗМ, США)	до 300	15–35	В качестве утепляющей прокладки для верхней одежды; при производстве одеял, подушек, профессиональн ой одежды	Повышенные теплоизоляционн ые свойства. Обеспечивает повышенный комфорт, облада я легким весом
Холлофабер (ООО «Термопол» Россия (г. Москва)	60–4000	15–35	В качестве утепляющей прокладки для верхней одежды; при производстве одеял, подушек, мебели. В строительной промышленност и	Высокие гигиенические и теплозащитные свойства

Особенности производства и применения объемных нетканых полотен обуславливаются следующими факторами:

– разнообразие способов формирования волокнистого слоя (механический, аэродинамический и др.), скрепления структурных элементов (холстопршивное, иглопробивное, термоскрепленное, клееное, комбинированное), природа и вид используемого сырья: химические волокна (полиэфирные, полиамидные, полипропиленовые, полиакрилонитрильные, вискозные, регенерированные – выпускаемые из бутылок и др.) и натуральные волокна (хлопок, лен, шерсть, сизаль, кокос, водоросли и др.);

- широкая область применения в качестве утепляющих и формоустойчивых прокладок в верхней (бытовой, спортивной, рабочей, специальной) одежде, головных уборах, в качестве наполнителей в пухо-перовых изделиях и т.д.;

- разнообразие климатических условий в России: по климатическим условиям можно подразделить на 5 зон, включая районы Крайнего Севера и вечной мерзлоты, где колебания низких температур доходит до минус 60 °С;

- большая потребность в объемных нетканых полотнах, различных по структурам, сырьевому составу, типам и свойствам применительно к реальным условиям носки одежды и климатическим зонам [5, 101, 110,].

В недавнем прошлом ассортимент объемных нетканых утеплителей составляли хлопчатобумажные, шерстяные и полшерстяные ватины (в основном, из отходов производства), а также иглопробивные и клееные полотна из синтетических волокон. За последние 20 лет с появлением новых технологий производства появились качественно новые виды объемных нетканых утеплителей на основе синтетических волокон (преимущественно полиэфирных), в состав которых входят новые модификации и структуры волокон [44, 93, 106, 107, 111 –114, 117]. В настоящее время новые по структуре и свойствам объемные нетканые полотна динамично вытесняют традиционные материалы, в частности ватины и пухо-перовые материалы [105, 113].

Несмотря на то, что традиционно ватины используются в основном в производстве одежды специального назначения (телогреек, ватников и рабочей

одежды), в ближайшем будущем нельзя сбрасывать их со счетов благодаря их дешевизне, технологичности и использованию натуральных волокон из хлопка и шерсти, в том числе отходов хлопчатобумажного и шерстяного производств и регенерированных волокон. Ватины хорошо удерживают и сохраняют тепло, что подтверждено многолетней практикой при эксплуатации этих изделий, в особенности в районах России с суровыми климатическими условиями (Крайнего Севера и Дальнего Востока) [44]. Российский рынок наполнен разными типами и марками объемные нетканых утеплителей, в основном отечественного производства.

Таким образом, современные объемные нетканые утеплители представлены широким ассортиментом, отличающиеся способом формирования волокнистого слоя, скреплением структурных элементов, составом, областью применения. Следовательно, разнообразными будут структура и свойства указанных выше материалов, что будет отражаться на их поведении при производстве и эксплуатации изделий.

1.2. Анализ внешних факторов, влияющих на структуру и свойства объемных нетканых материалов

1.2.1. Производственные факторы

При производстве одежды материалы испытывают различные внешние воздействия, действие которых приводит к изменению исходных свойств материалов (рис. 1.2). Основными факторами, действующими на материалы при производстве и эксплуатации, являются время, механическое и тепловое воздействие, влага [64, 74, 130]. Производство швейных изделий состоит из подготовительных, технологических, вспомогательных, обслуживающих операций [76, 82].

Деформация сжатия материалов и изделий возникает в основном на этапах подготовительно-раскройного и швейного производства.

Основные функции подготовительного производства сводятся к приемке, транспортированию, разбраковке, и хранению материалов. На всех этих этапах материал и их системы испытывают деформацию сжатия [64, 89, 122].

При хранении материалов в кипах высота настилов может достигать до 2 метров [11, 122, 129, 131, 145], при этом нижние слои материала могут испытывать силовое давление от 20 до 45 даН/м². Указанное давление может приводить к изменению структуры материалов вследствие смещения структурных элементов. В результате будут изменяться: геометрические (толщина, плотность), физические (теплозащитные свойства) и механические (жесткость) свойства.



Рис. 1.2. Факторы, влияющие на деформацию сжатия объемных нетканых материалов при производстве и эксплуатации одежды

Во время технологических операций материалы испытывают механическое давление при операциях: раскроя настила или материала на отдельные детали. В зависимости от ширины и поверхностной плотности материалы испытывают механическое давление от 1,7 до 5 даН [64].

В раскройном цехе полотна материала вручную или с применением машин настилают на настольные столы. Высота настила в зависимости от свойств материалов (толщина, сопротивление резанию, скольжение и др.) и возможности раскройных машин колеблется от 8 (искусственный мех) до 200 (тонкие полотна) полотен.

При раскрое настилов материалов в производственных условиях основными видами деформации являются сжатие (смятие), растяжение, а также сдвиг [11, 18, 41, 45, 122, 145]. Деформация сжатия преобладает при раскрое практически на всем оборудовании (пресс, квазиточечный раскройный инструмент). Поэтому изучение поведения материалов при сжатии имеет немаловажное практическое значение [89].

В работе В.Н. Соколова рассмотрены виды деформации, возникающие при раскрое материала [129]. Согласно схеме на рис. 1.3 деформация сжатия и растяжения возникает в зоне резания материала. Согласно исследованиям В.Н. Соколова и других авторов [11, 70, 122, 129] – усилие резания ($P_{рез}$), работа резания ($A_{рез}$) и степень сжатия $h_{сж}$ связаны между собой соотношением скорости распространения деформаций и скорости резания. Однако деформация сжатия распространяется на всю высоту настила (см. рис. 1.3). Вследствие усилий резания изменение структуры материала будет приводить к изменению геометрических свойств, плотности и других характеристик материала, влияющих на форму и размеры деталей и изделий.

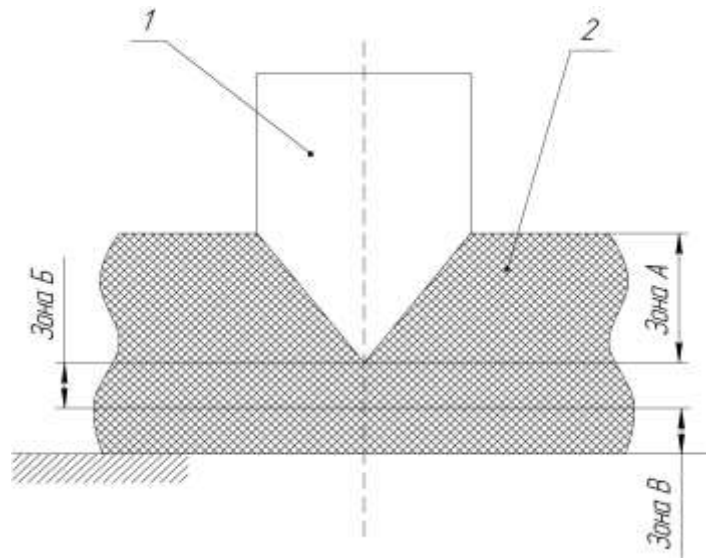


Рис. 1.3. Схема взаимодействия лезвия с материалом при динамическом резании: 1 – плоскость резания – сечение лезвия; 2 – материал; зона А – зона предварительного сжатия; зона Б – зона резания; зона В – зона практически недеформируемого материала [129]

В исследованиях, проведенных А.П. Жихаревым, показано, что сила, действующая на материал при производстве, может быть статической или динамической [64]. К динамическим действиям относится вибрация и удар. При операциях раскроя материалов, обработке края деталей из кожи под загибку возникает ударное воздействие. Вибрационное воздействие возникает при операциях виброрезания, виброформования и ультразвуковой сварки [122].

На этапе швейного производства при ниточном способе соединении деталей изделий деформация сжатия материалов может возникать при давлении лапки швейной машины на материал, а также при воздействии силы давления во время влажно-тепловых обработок деталей и изделий [76, 11, 122, 143, 145]. При этом величина сжимающих воздействий варьируется в зависимости от волокнистого состава и вида технологических операций. Воздействие влаги и тепла применяется при влажно-тепловых обработках, операциях формования, прессования и др. Под действием давления прессов материалы в зависимости от геометрии гладильных поверхностей испытывают деформацию сжатия, растяжение и изгиба [76, 98]. Утюги могут иметь массу от 1 до 5 кг. И в

зависимости от площади рабочей поверхности могут создавать давление до 0,01 МПа, включая давление, производимое оператором вручную. Утюги, оснащенные приводом для прессования, могут создавать давление на материалы до 0,03 МПа [76, 83, 89, 126].

Материалы испытывают деформацию сжатия при соединении деталей сваркой. В исследованиях Л.Н. Лисиенковой [87, 88] показано, что изменение прочности сварных соединений обусловлено совокупностью механических и тепловых воздействий ультразвуковых колебаний на материал, сопровождающихся деструктивными явлениями, разориентацией и переориентацией кристалликов. Падение прочности шва объясняется релаксацией полимерных цепей и возникновением внутренних напряжений [88].

Применение химических технологий (клеевые и литые) при соединении деталей позволяет повысить качество данных технологических операций. При этом применяются твердые и жидкие клеи в виде расплавов и растворов. Скрепление материалов с помощью клея происходит при внешнем силовом давлении, приводящим к сжатию материалов и соответственно увеличению площади контактирующих поверхностей, что в свою очередь влияет на свойства готовых изделий [22, 23, 63].

Таким образом, на этапе производства материалы испытывают деформацию сжатия практически на всех стадиях производства. Воздействие сжимающих усилий носит циклический характер [49, 56], при этом величина силового давления существенно меньше предельных значений прочности материала (разрывной нагрузки) за исключением операций раскроя. Следовательно, при производстве одежды внешние факторы будут изменять (нарушать) структурные связи элементов материала без изменения его химического состава (т.е. химических связей). Возникающая при этом деформация сжатия элементов структуры будет обуславливать изменение геометрических и механических характеристик (толщина, плотность, жесткость).

1.2.2. Эксплуатационные факторы

Основными эксплуатационными факторами, действующими на материалы являются: механические, климатические, физико-химические. Во время эксплуатации изделий также существует вероятность воздействия на материалы внешних факторов, которые не предусмотрены условиями эксплуатации (случайные) [64].

Механическому воздействию при эксплуатации материалы швейных изделий подвергаются как со стороны человека, так и со стороны гравитационного поля Земли. Действие гравитационного поля Земли можно считать постоянным (зависит от широты местности и высоты над уровнем моря), действие со стороны человека и внешней среды может быть, как статическим, так и динамическим. Статическое действие силы на текстильные материалы проявляются, когда человек сидит, лежит или стоит. При этом воздействие давление на материалы со стороны человека составляет от 0 до 0,45 МПа. При движении человека возникает динамическое воздействие на материалы [64]. При действии статических и динамических сил в материалах возникают деформации растяжения, сжатия, изгиба и др.

Характер действия эксплуатационных нагрузок зависит от конструктивных зон одежды. В работе [64] выделены основные конструктивные зоны одежды. Зоны, которые в процессе эксплуатации подвергаются деформации растяжения (полочка, линия шва сидения, прорези кармана, детали брюк и др.). Зоны, нуждающиеся в устойчивости к кручению, изгибанию (локоть, манжеты, воротники и т.д.). Зоны, способные принимать первоначальную форму после снятия внешних воздействий (полочка по линии груди, рукава и др.) [64].

При эксплуатации одежды материалы испытывают сжимающие воздействия, когда человек сидит, прислоняется к чему-либо или облокачивается. При сгибе руки в свободном состоянии в области локтевого сустава, кроме растяжения, также возникает и сжатие [64]. Давление на

материалы изделия со стороны человека может составлять от 0 до 0,45 МПа [64].

Одной из главных особенностей воздействия сжимающих усилий, действующих на материалы при эксплуатации, является циклический характер их действия, нагрузка чередуется с отдыхом материалов. Многократно повторяющиеся циклические нагрузки приводят к изменению структуры, что, в свою очередь, влияет на свойства материалов и их систем [61, 126], т.е. в отличие от производственных факторов, изменения структуры материалов при воздействии сжимающих усилий в условиях эксплуатации носят временный характер, а сами воздействия многократно повторяются.

Наиболее подвержены структурным изменениям при действии сжимающих усилий нетканые объемные материалы, которые применяются в качестве утеплителей. Сжатие относится к основным видам деформации, сопровождающим эксплуатацию объемных прокладочных материалов в швейных изделиях, в том числе тепло- и удароизоляционных [140, 141, 146, 147]. Многоцикловые сжимающие воздействия могут приводить к накоплению остаточной деформации, при этом изменяется структура нетканых материалов, что, в свою очередь, вызывает изменение толщины материалов. Изменение толщины объемных нетканых материалов приводит к изменению эргономических показателей (теплофизические свойства) [3, 46, 12, 84]. В качестве теплоизоляционных прокладок используются в основном нетканые материалы, являющиеся основным элементом конструкции, определяющим ее теплозащитные свойства. Качество утепляющих материалов зависит от стабильности толщины и упругих свойств при сжатии в процессе эксплуатации.

Наибольшее изменение толщины наблюдается на этапах производства и в первый месяц носки изделия, далее толщина почти не изменяется [42].

Величины давления, при которых начинается ухудшение механических свойств текстильных волокон при сжатии в массе: хлопковое волокно – $981 \cdot 10^2$ МПа, у шерсти и лавсана – $1962 \cdot 10^2$ МПа, у вискозных волокон – $14\,715 \cdot 10^2$ МПа, у капроновых волокон – $14\,715 \cdot 10^2$ МПа [19]. Величина

действующих на материал сжимающих усилий лежит в пределах 5–10 % от разрушающих значений.

Анализируя выше сказанное, следует, что материалы для одежды (в том числе нетканые материалы) подвергаются действию циклических сжимающих усилий на всех стадиях жизненного цикла (хранение, транспортировка, производство, эксплуатация, уход). При этом величина данных усилий не превышает 5–10 % от предельной прочности материала.

Таким образом, в процессе эксплуатации материалы для одежды испытывают не большие многоцикловые нагрузки при сжатии, что приводит к существенным изменениям структурно-геометрических (толщина, плотность), механических (жесткость, удлинение, остаточная деформация), физических (воздухопроницаемость, пористость и пр.) свойств объектов.

1.3. Изменение структуры и свойств исследуемых объектов при сжатии

Одной важной особенностью объемных нетканых материалов является сложная, неупорядоченная структура по сравнению с тканями и трикотажными полотнами. Это обусловлено разнообразием способов формирования волокнистой массы в холст [59, 146, 147].

Структура нетканых материалов зависит от следующих факторов:

- ориентации волокон;
- количества слоев;
- поверхностной плотности;
- относительного расположения слоев волокон в пакете [133].

Ориентация волокон зависит от способа формирования волокнистого холста [15, 45, 60]. При механическом способе формирования волокнистого холста выделяют следующие виды структуры: изотропную (равновероятное расположение волокон в пространстве), политропную (равновероятное расположение волокон в плоскости), ортотропную (волокна ориентированы преимущественно в одном направлении). Полотна с ортотропным расположением волокон получают с помощью кардочесальной машины.

Материалы с хаотичной ориентацией волокон (чаще всего политропная структура) – аэродинамическим способом [17].

Структура объемных нетканых материалов, вырабатываемых способом термоскрепления, может быть:

– сегментной, которой соответствует распределение большей части связующего в виде сегментов, расположенного в ячейках, полученных взаимным пересечением волокон (рис. 1.4 а);

– точечной, в которой распределение большей части связующего в основном в местах пересечения волокон в виде точечных зон склейки (рис. 1.4 в);

– агломератной, в которой связующее располагается в волокнистой массе в качестве отдельных агломератов – случайных скоплений связующего различной формы (рис. 1.4 б) [1].

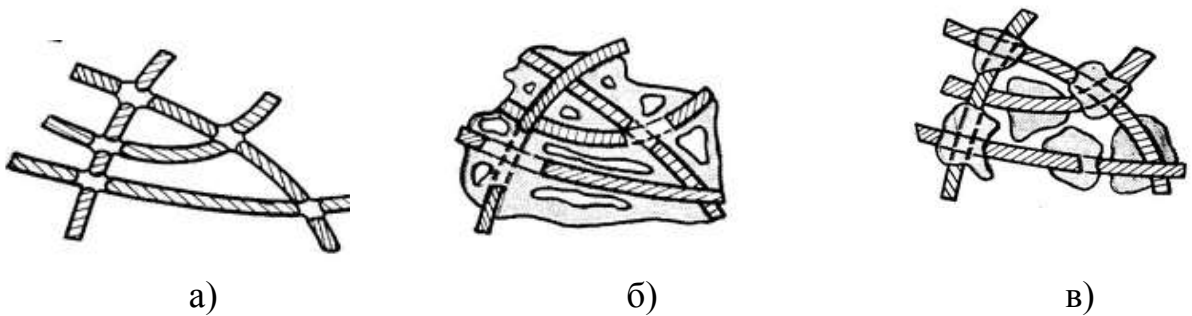


Рис. 1.4. Типы структуры нетканых клееных материалов:

а – сегментная; б – агломератная; в – точечная [8]

Структуру склеек характеризует конструкция, внешний вид, размеры, распределение и количество волокон в склейке. Различают несколько типов склеек, встречающихся в структуре нетканых полотен (рис 1.5) [15, 83].

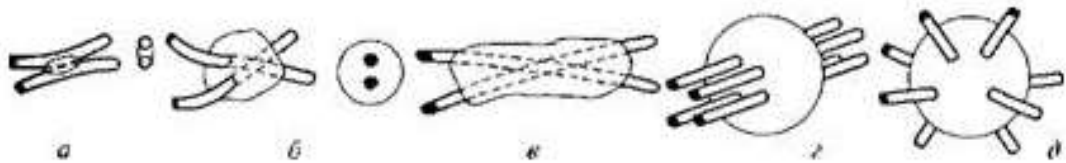


Рис. 1.5. Основные типы склеек: а – контактная склейка; б – склейка-муфта; в – ламельная склейка; г, д – агрегатные склейки [15]

Контактные склейки (рис. 1.5, а) формируются прослойкой связующего в местах контакта волокон. При этом они имеют минимальные размеры и прочность, в качестве связующего используют в основном комбинированные и бикомпонентные волокна.

Склейки-муфты (рис. 1.5, б) по сравнению с контактными склейками обладают более прочным соединением, но менее подвижным.

Агрегатные склейки соединяют более двух волокон, распределенных параллельно (рис. 1.5, г) или хаотично (рис. 1.5, д). По сравнению с хаотическим расположением волокон параллельно расположенные волокна обладают большей прочностью и меньшей подвижностью, так как сочетают в себе склейку муфты и контактную [15, 64].

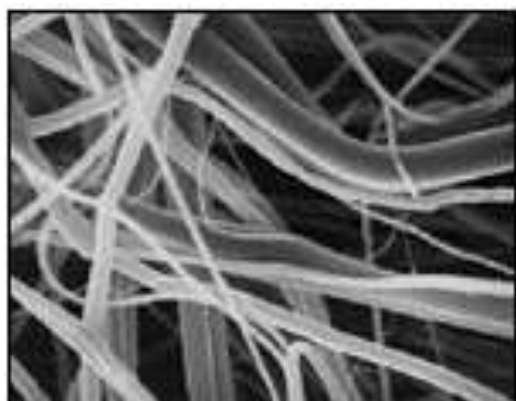
Деформация объемных нетканых материалов полученных, термоскреплением, зависит как от количества связующего вещества, так и от его распределения [136, 139]. По мнению Е.Т. Устиновой, В.М. Горчаковой и др. оптимальное количество связующего в нетканом материале не должно превышать 50 % [26, 89]. Таким образом, на структуру и свойства нетканых материалов влияют параметры термоскрепления. Основной особенностью таких материалов является то, что связи между структурными элементами зависят от связующего вещества, распределенного в волокнистой основе материалов и образующего сравнительно подвижную пористую систему соединенных волокон [80].

Наиболее прочным элементом в структуре объемных нетканых материалов являются волокна. Поэтому влияние сжимающих воздействий на структуру нетканых материалов зависит от механических свойств скрепляемых волокон, т.е. влияние сжимающих усилий на структурные характеристики зависит от природы и механических свойств волокон. Упругость и эластичность волокон обеспечивают формоустойчивость, воздухопроницаемость, теплозащитные свойства полотна в целом.

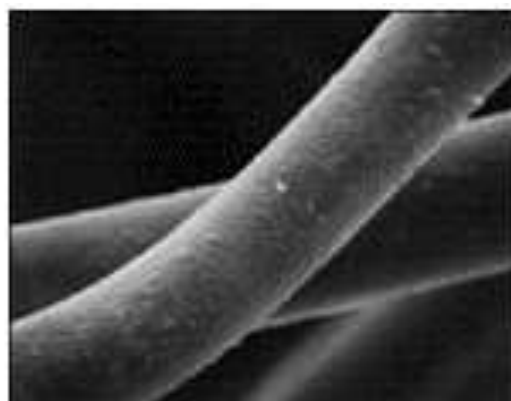
Современные термоскрепленные объемные нетканые материалы состоят из тончайших микроволокон, которые в 50–70 раз тоньше человеческого

волоса, их диаметр от 2 до 10 микрон и они обладают способностью эффективно сохранять излучаемое телом тепло при наименьшем объеме (рис. 1.6) [3, 80, 100].

При воздействии многократных деформаций сжатия (растяжения) нетканых материалов в течение длительного времени происходит постепенный процесс изменения и разрушения связей между волокнами, возникает явление усталости материала [83, 88]. Усталость материала является следствием изменения сопротивления материала и обусловлена длительным механическим воздействием на его структурные элементы. Внешнее силовое давление приводит к деформации волокон в объеме полотна, вызывающей внутреннее разрыхление структуры, что, в свою очередь, приводит к полной или частичной потере заданных свойств материалов из-за накопления остаточных деформаций в связях структурных элементов объектов [97].



а)



б)

Рис. 1.6. Волокна синтетических утеплителей под микроскопом:

а – волокна утеплителя «Тинсулейт», б – полиэфирное волокно [105]

Многократно повторяющиеся сжимающие воздействия могут приводить к накапливаю остаточной деформации, что вызывает изменения в структуре применяемых нетканых материалов и вызывает изменение толщины. Утонение нетканых материалов в свою очередь может приводить к снижению теплозащитных свойств [3].

Нетканые материалы благодаря, рыхлой неупорядоченной структуре, могут сжиматься под действием небольших по значению нагрузок. При

воздействии сжимающих усилий возможны изменения внешних (толщина) связей [126]. На изменение свойств влияют условия сжатия (вид сжатия, внешние климатические факторы) [149].

Вид сжатия (стесненное или свободное) зависит прежде всего от технологического решения (рис. 1.7) [64]. Свободное сжатие происходит в основном в изделиях, где подкладка отлетная и утепляющий материал скреплен с материалами верха и подкладкой по контуру (рис. 1.7, а).

Стесненное сжатие в основном происходит в изделиях, где утепляющий материал соединен с материалом верха и подкладкой по площади (простегиванием) (рис. 1.7, б).

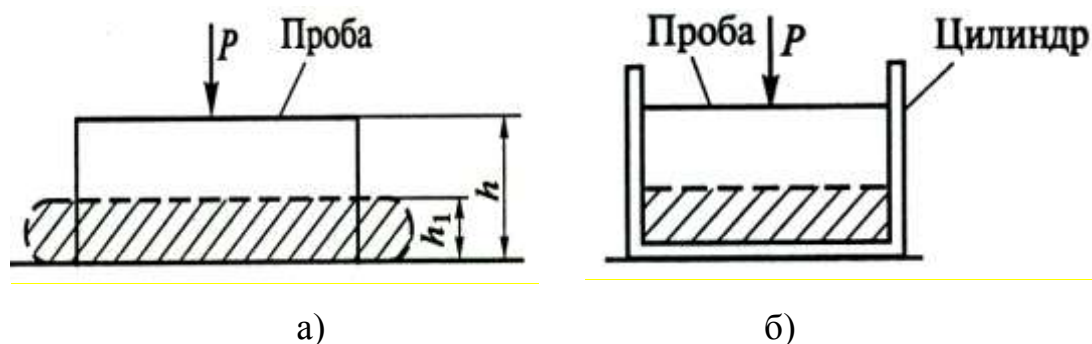


Рис. 1.7. Схема деформации материалов в различных условиях сжатия:
а – свободного, б – стесненного [64]

В работе Л.Н. Лисиенковой [88] показано, что при пространственном циклическом растяжении происходит изменение толщины материалов за счет деформаций сжатия, связанных с изменением структурных связей.

Из схемы, представленной на рис. 1.8, видно, что внешнюю силу P , действующую на материал, можно разложить на две составляющие: P_1 – поперек волокна, P_2 – горизонтальную, действующую вдоль силы P . Сила R является результирующей и действует вдоль волокна. Если сила R стремится растянуть волокно, то сила P_1 – изогнуть и развернуть волокно вдоль силы P . При действии данных сил волокна сближаются, ширина пробы материала уменьшается [145], т.е. при растяжении материалов в одном направлении

структурные элементы испытывают и деформацию сжатия в другом направлении.

При сжатии нетканых материалов при производстве и эксплуатации одежды, структурные изменения будут влиять на геометрические, механические, физические свойства материала [150].

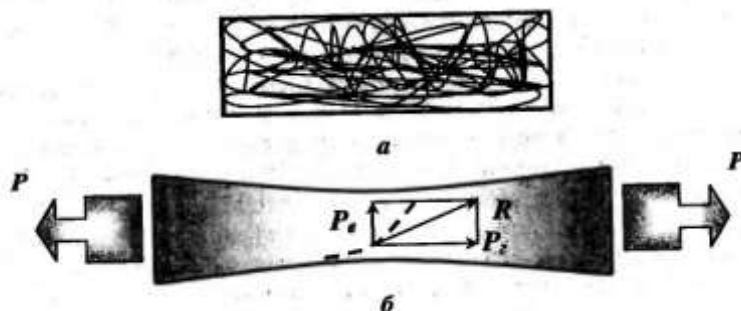


Рис. 1.8. Распределение сил на структурном элементе материала:

- а – проба волокнисто-сетчатого материала до воздействия внешних сил;
- б – проба волокнисто-сетчатого материала после воздействия внешних сил [1]

Способность материалов сопротивляться деформации при действии приложенных внешних сил и возникающих при этом напряжений определяется механическими свойствами. Физические свойства характеризуются способностью материалов к поглощению и проницаемости: плотность, теплопроводность, теплоемкость, влажность и др. Готовность материалов вступать в химическое взаимодействие с различными веществами среды, в которой они находятся, определяются химическими свойствами [128].

Из всех выше перечисленных свойств наиболее важную роль для нетканых материалов имеют физические (теплозащитные свойства, теплоемкость) и механические (формоустойчивость) свойства.

Теплофизические свойства объемных нетканых материалов во многом зависят от толщины, объемной плотности [125], которые изменяются при воздействии сжимающих усилий.

По данным работ [9 – 10] наиболее интенсивное изменение толщины, а соответственно, и пористости в высокообъемных волокнистых материалах

происходит в диапазоне значений от 0 до 1,0 кПа. В научно-технической литературе сведений об исследованиях свойств нетканых материалов при действии сжимающих усилий очень мало. Главным недостатком известных моделей деформации волокнисто-сетчатых материалов в условиях циклического сжатия является эмпирический характер, не отражающий физической сущности изучаемых процессов [10, 97, 147, 148].

Большой вклад в исследования свойств нетканых полотен в зависимости от волокнистого состава и способа скрепления внесли: А.П. Жихарев, В.И. Стельмашенко, И.А. Мохирева, Л.А. Серебрякова, Е.С. Цобкало, Н.П. Лебедева, В.Ю. Мишаков, Бекмурзаев Л.А. и др. [64, 131, 99, 126, 146, 86, 97, 7].

В пакет материалов утепляющей верхней одежды входит ткань верха и подкладки, между ними располагаются утепляющие материалы. Утепляющие прокладки должны обладать хорошей влагопроводностью, малой воздухопроводностью, малым весом, повышенными теплозащитными свойствами [3, 6]. Объемная плотность и толщина являются одними из главных факторов при оценке теплозащитных свойств одежды. Утепляющий слой должен обладать достаточной толщиной и высокими упругими свойствами при сжатии [3, 27]. Основными теплофизическими характеристиками материалов для одежды при эксплуатации являются: теплопроводность и суммарное тепловое сопротивление.

Немаловажным фактором, влияющим на механические и физические свойства нетканых материалов, является волокнистый состав [81, 94]. В работах [129, 153, 152] исследовалось влияние природы волокна на теплоизолирующую способность нетканых материалов. Согласно этим исследованиям теплозащитные свойства объемных нетканых материалов зависят от количества заключенного воздуха в ткани, а не от химической природы волокна.

Анализ результатов (табл. 1.3) исследования влияния механического давления (сжатия) на теплофизические свойства утепляющих прокладочных материалов, используемых при изготовлении одежды, проводимых А.П.

Жихаревым и Н.Г. Бессоновой позволяет сделать вывод о том, что оно приводит к снижению теплозащитных свойств объемных нетканых материалов [9 – 10]. Степень снижения теплового сопротивления утеплителей зависит, как от величины прилагаемого давления, так и от исходной плотности материала.

Таблица 1.3

Влияние механического давления на теплофизические свойства нетканых материалов [9]

Материал	Давление, кПа	Толщина, мм	Средняя плотность, кг/м ³	Пористость, %	Тепловое сопротивление, м ² К/Вт	
					экспериментальное	расчетное
Синтепон	0,01	12,07	7,0	99,48	0,290	0,288
	0,07	9,81	8,1	99,36	0,269	0,254
	0,10	7,0	11,1	99,15	0,226	0,213
	0,30	4,85	17,2	98,72	0,169	0,167
	0,75	3,03	27,3	97,94	0,114	0,126
	5,30	1,30	62,1	95,20	0,052	0,075
	9,70	0,90	90,5	93,07	0,037	0,061
Ватин	0,01	7,11	49,2	96,60	0,096	0,102
	2,05	4,85	71,1	95,02	0,065	0,060
	5,30	4,21	82,3	94,27	0,057	0,048
	9,70	3,10	111,1	91,43	0,042	0,031
Войлок	0,01	5,79	181,4	86,08	0,124	0,147
	6,50	4,97	211,5	83,78	0,115	0,133
	63,90	3,58	293,7	77,48	0,093	0,106
	91,30	2,86	366,1	71,81	0,074	0,092

Из данных табл. 1.3 видим, что при давлении 9,7 кПа плотность синтепона увеличивается примерно в 12 раз, у ватина при том же давлении – в 2,26 раза, а у войлока при максимальном давлении – в 2,02 раза по сравнению с исходными значениями. Увеличение средней плотности приводит к уменьшению пористости материалов и, как следствие, к снижению теплового сопротивления.

Кроме того, стоит отметить, что при увеличении силового давления теплопроводность исследуемых материалов уменьшается. Снижение теплопроводности в этом случае может свидетельствовать как о снижении теплопередачи излучением, так и о появлении дополнительных контактных

сопротивлений между структурными элементами материала, которые приводят к уменьшению теплопереноса кондукцией [5, 78].

Недооценка влияния внешнего силового давления на изменения геометрических и теплофизических характеристик пакета материалов для изделия может привести к искажению реальной величины теплового сопротивления объемных нетканых материалов во время эксплуатации одежды. Так, если при проектировании утепляющих изделий закладывать величину теплового сопротивления в исходном (несжатом) виде, то при эксплуатации реальная величина теплового сопротивления может быть ниже требуемого. Что, в свою очередь, может привести к снижению теплоизолирующей способности материалов и переохлаждению человека [84, 76]. Поэтому при проектировании одежды с утепляющими материалами необходимо при проведении тепловых расчетов учитывать изменения структуры и свойств утепляющих материалов при сжатии в процессе эксплуатации.

При воздействии сжимающих усилий деформационные свойства нетканых материалов, полученных механическим способом скрепления зависят от следующих факторов: толщины, массы волокнистого полотна и увеличивается с уменьшением этих факторов [109].

Относительная деформация сжатия иглопробивного полотна зависит от толщины волокна и массы волокнистого холста и увеличивается с уменьшением этих факторов [69, 75, 99, 103].

Холстопрошивные хлопчатобумажные ватины легко деформируются при сжатии, утончаются в процессе носки быстрее шерстяных, что вызывает снижение их теплозащитных свойств.

1.4. Показатели и методы оценки деформации материалов при сжатии и постановка проблемы исследования

Для улучшения качества оценки свойств материалов при производстве и эксплуатации актуальны исследования объектов в условиях циклического

сжатия, позволяющие моделировать факторы производства и эксплуатации (см. гл. 1, п. 1.2, 1.3). Необходимы такие показатели, которые бы адекватно отражали свойства материалов в результате воздействия механического давления на материалы с учетом факторов производства и эксплуатации [49]. Одной из главных особенностей воздействия внешних усилий, вызывающих деформации сжатия материалов на этапах производства и эксплуатации, является цикличность их действия.

В настоящее время для определения основных свойств материалов при сжатии используют стандартные и оригинальные методики, приборы и установки.

Недостатками известных методов и средств для оценки влияния усилий сжатия на деформацию текстильных материалов являются: возможность реализовать только одноцикловое воздействие, невозможность создания условий испытаний близких к реальным; индивидуальность, т.е. их применимость для конкретного вида материалов или показателей свойств; сложность и громоздкость конструкций; неуниверсальность (не могут моделировать условия производства и эксплуатации).

Полуцикловые характеристики свойств материалов при сжатии – деформация при разрушении, модуль упругости, жесткость при сжатии – в основном определяются при испытании проб на разрывных машинах, с разрушением образца [63]. Эти методы применимы для твердых, монолитных материалов, но они не могут адекватно оценить деформацию объемных нетканых материалов.

Одноцикловые характеристики свойств материалов при сжатии (полная деформация и ее компоненты, пластичность, упругость) определяются при испытаниях проб на разрывных машинах с приспособлением для сжатия и позволяют оценить упругие свойства материалов при действии сжимающих усилий [64, 150]. Однако условия испытания проб приближены к условиям производства и эксплуатации твердых обувных материалов или кожгалантерейных изделий и не пригодны для волокнисто-сетчатых

материалов [88]. Одноцикловые и полуцикловые характеристики не могут адекватно оценить кинетику изменения деформации нетканых материалов в условиях циклического сжатия.

Для проведения полу- и одноцикловых испытаний на сжатие применяют различные траверсы, устанавливаемые на верхнем и нижнем штоках разрывной машины, или другие механизмы, снабженные измерительными устройствами [64].

Для испытаний устойчивости искусственных меховых изделий к сжатию применяют приборы СМ-2 и ГМ-1 [25]. Проба прижимается пластиной, прикрепленной к верхней траверсе (рис. 1.9), при следующих параметрах испытания: давление на пробу $P = 0 \dots 7,35$ кПа, время воздействия $t = 30$ с.

Данный метод позволяет проводить сравнительный анализ сопротивляемости меховых изделий сжатию при величине давления 7,5 кПа, однако он не позволяет оценить кинетику изменения деформации материалов при воздействии многократных сжимающих усилий.

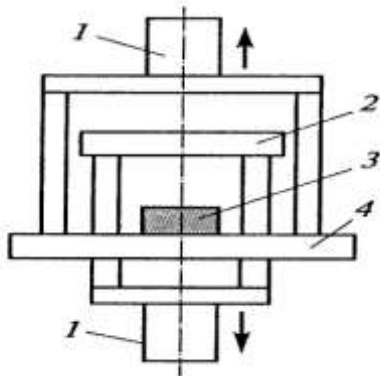


Рис. 1.9. Траверсы используются для сжатия пробы материала: 1 – хвостовик; 2, 4 – площадки; 3 – проба [88]

В работе [143] описан метод Колосова – Мусхелишвили для исследования влияния сжимающих воздействий на деформацию материалов, основанный на специальных расчетных программах. Данный метод позволяет решить контактные задачи по деформации волокнисто-сетчатых материалов между металлическим и эластичным валами и определить области контакта [143]. При расчете деформации за исходную величину принимается взаимное перемещение жестких сердечников контактирующих тел после их первоначального контакта с исследуемыми объектами в точках *A* и *B* (рис.

1.10) [143]. Таким образом, деформация исследуемых объектов определяется как функция удельного давления, деформируемого материала.

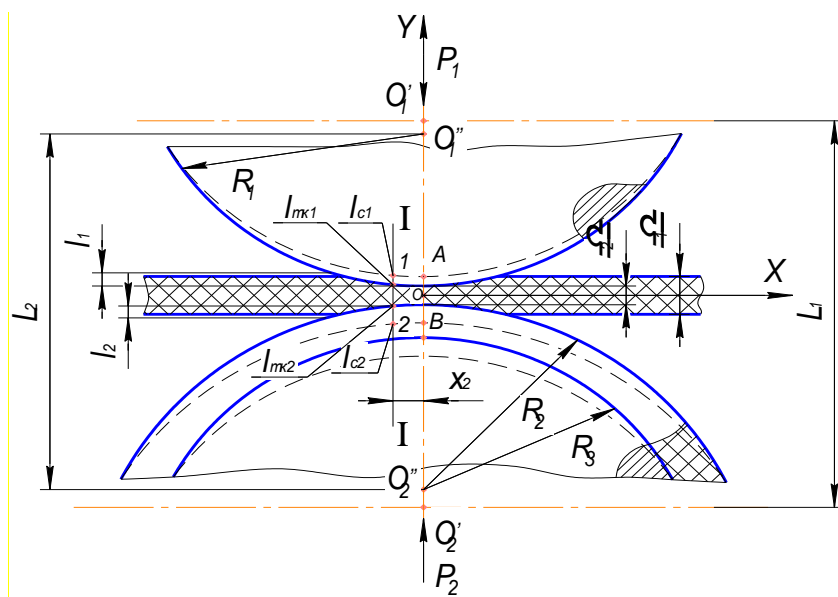


Рис. 1.10. Схема перемещения валов при сжатии пробы [143]

Деформация по методу Колосова – Мухелишвили исследуемых объектов определяется как функция от напряжения (удельного давления), деформирующего материал:

$$l_{mk} = f(\sigma_{mk}) = f(P_1). \quad (1.1)$$

Относительная деформация сжатия материалов в сечении по оси симметрии валов вычисляется по формуле

$$\varepsilon = \frac{\delta_1 - \delta_2}{\delta_1} 100, \quad (1.2)$$

где δ_1 и δ_2 – начальная и конечная толщина ткани в сжатом состоянии, мм.

Несмотря на сложный математический аппарат моделирования, данный метод позволяет оценить упругую деформацию, наиболее полно отражающую свойства материалов при сжатии. Однако данный метод практически не реализован.

Измерение толщины пробы обычно осуществляется при значении сжимающего усилия F , равной 0,2...100 сН между неподвижным и подвижным щупами толщиномера. В связи с этим толщина определяется экспериментально h (мм) пробы всегда отличается от фактической толщины в исходном несжатом

состоянии на некоторую величину Δh , зависящую от сжимаемости пробы и величины сжимающего усилия. Оценивая толщину материалов, нужно учитывать зависимость толщины h от силы сжатия F , то есть функцию вида:

$$h = f(F). \quad (1.3)$$

В работе [84] сжимаемость текстильных материалов характеризуется разностью между толщиной несжатого и предельно сжатого материала:

$$\Delta h = h_0 - h_{Fmax}, \quad (1.4)$$

где Δh – сжимаемость текстильных материалов, мм;

h_0 – толщина материала до сжатия, мм;

h_{Fmax} – толщина максимально, мм.

При таком понятии сжимаемости не совсем ясно определение «предельно сжатый материал», так как значение сжимающей нагрузки может быть настолько большой, что $h_{Fmax} \rightarrow 0$, а сжимаемость $\Delta h \rightarrow h_0$. В связи с этим представляется более правильным определение сжимаемости материалов, которая характеризуется «податливостью» материала при воздействии на него сжимающей нагрузки, оценивать отношением dh к dF , то есть первой производной зависимости толщины h от силы сжатия F . Так как

$$h = h_0 \cdot \exp \alpha F, \quad (1.4)$$

где F – величина сжимающего усилия, сН,

то сжимаемость материала в данном случае определится по формуле

$$C_{ж} = \alpha \cdot h_0 \cdot e^{\alpha F}. \quad (1.5)$$

Формула (1.5) показывает, что сжимаемость материала и противоположное этому свойству явление – упругость (т.е. сопротивление материала сжимающей нагрузке) не постоянно в процессе сжатия материала. Максимальной сжимаемостью, т.е. минимальным сопротивлением сжатию, материалы обладают при F равной нулю, то есть в исходном недеформированном состоянии. Такая начальная сжимаемость может быть рассчитана из формулы (1.6), которая приобретает вид [84]:

$$C_{жс} = \alpha \cdot h_0. \quad (1.6)$$

В исследованиях, проведенных Н.Г. Бессоновой и А.П. Жихаревым [9 – 10], были представлены испытания объемных нетканых материалов при одноцикловом сжатии на приборе СМ-2. В результате действия давления 1,96 кПа, время воздействия 5 мин, время отдыха 10 мин. Полученные данные показали, что уменьшение толщины Δh зависит от волокнистого состава материала и способа его получения [9].

Одной из характеристик свойств материалов при сжатии является твердость. Твердость H , Па, – характеристика материала, отражающая его прочность и пластичность, определяемая относительными и абсолютными методами в соответствии с ГОСТ 263-75. Относительный метод заключается в измерении твердости от 0 до 100 единиц по Шору при использовании игольчатого твердомера ТМ-2, определяется вдавливанием в материал иглы специальной формы [85, 88]. Абсолютный метод определения твердости заключается в том, что в пробу вдавливают стальной шарик, на который действуют постоянная сила 9,8 Н, по истечении 30 с измеряют величину вдавливания. Данный метод реализуется с помощью прибора ТШМ-2 (рис. 1.11). Твердость H , МПа, при этом вычисляют по формуле

$$H = P / S = P / (\pi \cdot d \cdot \delta), \quad (1.7)$$

где P – постоянно действующая на индентор сила, Н;
 S – площадь участка индентора в материале, м²;
 d – диаметр шара, м.

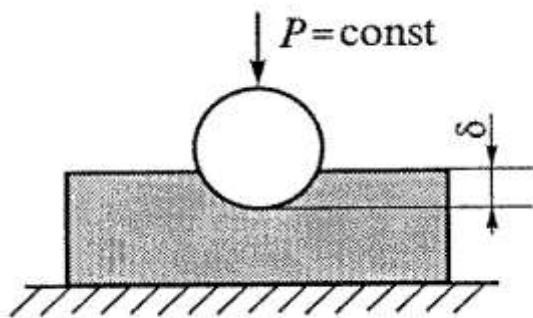


Рис. 1.11. Схема оценки твердости на приборе ТШМ-2

Методы определения твердости пригодны для твердых материалов с монолитной структурой толщиной более 6 мм. Главными недостатками данных приборов являются ручная реализация только

одноциклового сжатия, возможность проведения испытаний при нормальных атмосферных условиях без учета влияния внешних факторов (влаги, тепло).

И.Ю. Бринк, С.Н. Сергеенко, А.С. Рукавишниковой разработана и изготовлена конструкция экспериментальной установки, реализующей метод одноосного сжатия, позволяющей проследить кинематику процесса сжатия (рис.1.12) [13]. Данное устройство позволяет установить зависимость влияния времени нагружения и давления на изменение объема несвязных утепляющих материалов.

Основным недостатком данного метода является отсутствие возможности реализации стесненного сжатия (свободного), не может моделировать условия производства и эксплуатации. Реализует только одноцикловое сжатие.

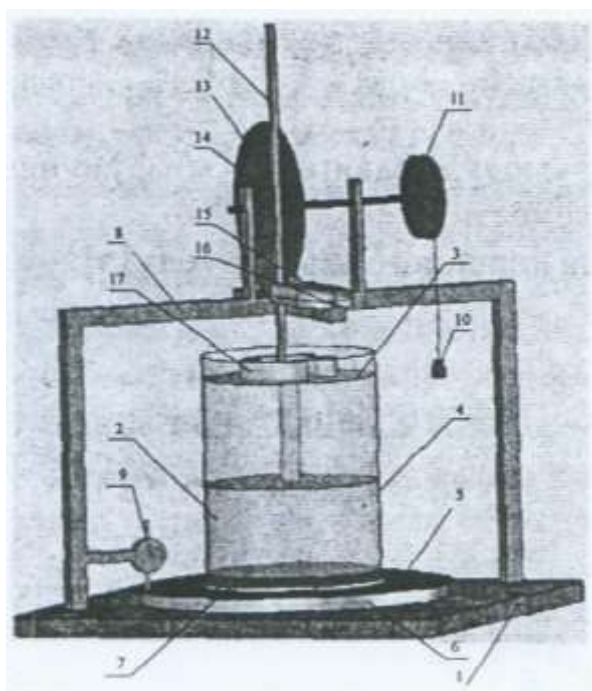


Рис. 1.12. Установка, реализующая метод одноосного сжатия:

1 – основание; 2 – подвижный цилиндр; 3 – подвижный нагружающий поршень; 5 – основание цилиндра; 6 – измерительная шайба; 7 – опорная площадка; 8 – рама; 10 – противовес; 11 – ролик; 12 – измерительное устройство; 13 и 14 – ролики; 15 – датчики перемещения; 16 – компьютер [125]

Известен прибор ПРС-1 для оценки деформации волокон (рис. 1.13), позволяющий определить одноцикловые характеристики при сжатии [7].

Недостатками данного метода являются сложная конструкция, реализация только одноциклового сжатия, подходит не для всех видов нетканых материалов.

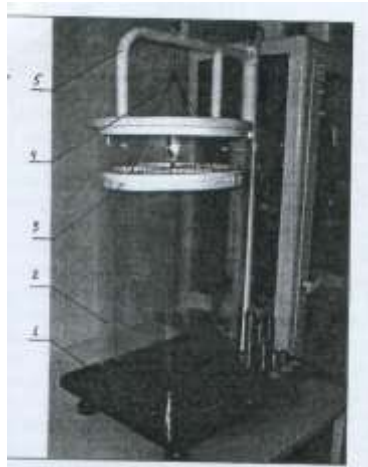


Рис. 1.13. Прибор ПРС-1: 1 – грузовой диск; 2 – цилиндр; 3 – подставка [7]

Ж.Ю. Койтовой, В.Н. Ломагиным, Е.В. Костиной и др. разработано устройство определения структурно-геометрических характеристик натурального меха и других ворсовых материалов (рис. 1.14) [77]. Устройство обеспечивает возможность определения показателей геометрических и механических свойств волосяного покрова и кожной ткани: длины волоса, естественной толщины слоя волосяного покрова (L_e), толщины кожной ткани и усилия прокола иглой, рассчитывается угол наклона.

Основным недостатком применяемых методов является то, что они не учитывают влияние внешних факторов производства и эксплуатации на свойства материалов.

Для определения показателей свойств объемных нетканых материалов в условиях циклического сжатия применяют методы, пригодные для твердых материалов с монолитной структурой.

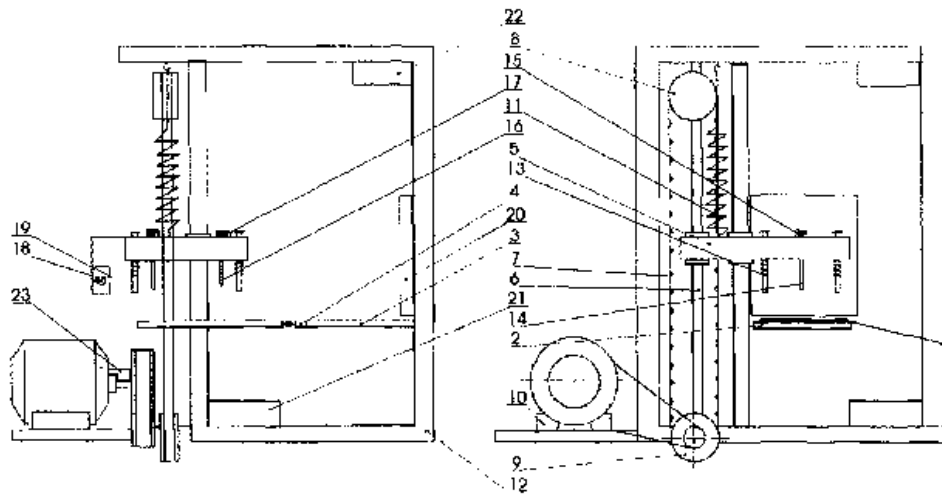


Рис. 1.14. Устройство неразрушающей оценки геометрических характеристик натурального меха [77]

Кинетика изменения деформации материалов при воздействии сжимающих усилий зависит от многих факторов: условий испытания, величины прикладываемой нагрузки, вида сжатия (стесненное или свободное), воздействия внешних факторов производства и эксплуатации и влияет, прежде всего, на геометрические и физические свойства материалов.

Из выше сказанного следует, что свойства материалов при многоцикловом сжатии зависят от многих факторов, но самыми важными являются волокнистый состав материала, его структура и условия деформирования. Изучение свойств материалов при сжатии позволяет решить многие задачи, связанные с повышением эргономических и эксплуатационных свойств изделий [58, 88].

Установлено:

- методы и средства определения показателей свойств материалов при сжатии, применяемые для волокнисто-сетчатых материалов, практически пригодны для твердых материалов с монолитной структурой, но они не позволяют адекватно оценить кинетику изменения деформации объемных нетканых материалов;

- упругая и остаточная части полной деформации позволяют объективно оценивать влияние деформации сжатия на свойства материалов;

- кинетика изменения деформации материалов при сжатии зависит от следующих факторов: величина давления, условия испытания, вид сжатия, внешние факторы (влаги, тепло) и влияет на геометрические и физические свойства;

- перспективны методы и средства исследования деформации материалов для одежды в условиях циклического сжатия, позволяющие изучить динамику изменения составных частей деформации, моделирующие воздействие внешних факторов.

Таким образом, для выполнения основной цели диссертационного исследования – повышения качества оценки свойств материалов необходимо решить следующую задачу:

– научно обоснованный выбор унифицированных показателей свойств объектов при циклическом сжатии, которые будут объективно (адекватно) представлять поведение объектов в условиях циклического сжатия. Показатели полной деформации и ее компоненты при сжатии материалов являются наиболее обоснованными в качестве унифицированных показателей.

На наш взгляд наиболее обоснован выбор в качестве унифицированных показателей – полная деформация и ее компоненты при сжатии материалов.

Актуальны такие средства, которые обеспечивают реализацию экспрессных методик оценки и прогнозирования поведения материалов при сжатии. Необходимо при испытаниях материалов создавать возможность воздействия дополнительных внешних факторов на объекты, которые имеют место в производстве и эксплуатации (влаги, тепло и пр.), разработка компактных, точных, мобильных устройств для испытания объектов в условиях циклического сжатия, а также возможность проведения параллельных, последовательных или совместных испытаний образцов к комплексу внешних воздействий (свободное и стесненное сжатие, влажностно-тепловые).

Разрабатываемые средства должны быть мобильны, простыми в эксплуатации, обеспечивать точность за счет механизации и автоматизации испытания.

Выводы по первой главе

1. Проведенный сравнительный анализ современного ассортимента объемных нетканых материалов показал преимущество по совокупности свойств, присущих теплоизоляционным материалам. Объемные нетканые утеплители представлены широким ассортиментом и отличаются способом производства, составом.

2. Научный поиск показал, что производство объемных нетканых материалов в России – относительно молодая, но перспективная отрасль промышленности. Для определения показателей качества нетканых материалов используют методы, разработанные для тканей. Однако указанные методы не могут объективно использоваться для нетканых материалов, так как нетканые материалы имеют существенные различия структуры и свойств.

3. Установлено, что при производстве и эксплуатации одежды вследствие циклических сжимающих воздействий изменяется структура и свойства материалов, что приводит к существенным изменениям геометрических размеров (толщины и объема), изменению формы, внешнего вида и теплозащитных свойств изделий. Показаны особенности изменения структуры и свойств нетканых материалов при производстве и эксплуатации. Особенность заключается в циклическом характере действия внешних сжимающих воздействий. На этапе производства это в основном полуцикловые и одноцикловые, а при эксплуатации многоцикловые.

4. Патентный поиск и анализ научно-технической документации показал, что для оценки поведения нетканых материалов при сжатии используются: твердость, жесткость, несминаемость, толщина. Однако данные показатели не позволяют объективно оценить динамику изменения деформации в процессе эксплуатации и производства.

5. Литературные данные подтвердили отсутствие универсального метода оценки свойств объемных нетканых материалов в условиях циклического сжатия, позволяющего изучить кинетику изменения показателей свойств при воздействии внешних факторов производства и эксплуатации.

Поэтому для более точной оценки деформации объемных нетканых материалов при сжатии необходимо разработать новое устройство, позволяющее проводить испытания в условиях циклического сжатия, имитирующих эксплуатационные и производственные факторы.

Основываясь, на результатах аналитического обзора сформулированы основные цели и задачи диссертационной работы.

Глава 2. МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Для выявления закономерностей изменения деформации объемных нетканых материалов в условиях, имитирующих условия производства и эксплуатации одежды, была разработана стендовая установка, реализующая циклическое сжатие материалов.

Исследования изменения структурных, геометрических, физико-механических и эксплуатационных свойств объемных нетканых материалов определялись регламентированными и оригинальными методами.

Обоснование и характеристика объектов исследования, методики проведения испытаний изложены ниже.

2.1. Выбор и характеристика объектов исследования

В последние годы наблюдается устойчивый рост производства и потребления нетканых материалов, а также увеличение числа российских производителей объемных нетканых материалов (НМ) для одежды. По данным Минпромторга РФ в 2011 г. в сегменте нетканых материалов произошёл рост на 29 % за счет технического перевооружения, ввода в действие новых предприятий, мощностей на действующих предприятиях и вложения больших инвестиций. Такие темпы производства и потребления НМ соответствуют мировым тенденциям. Так, по экспертным оценкам, объем мирового потребления НМ возрастет с 5,4 млн т в 2010 г. до 8,4 млн т в 2020 г. [101].

Области применения нетканых материалов, способы получения и особенности их структуры были рассмотрены в гл. 1 (см. п. 1.1.–1.3). Традиционные холсто- и иглопробивные нетканые полотна (ватины) и современные объемные нетканые полотна широко применяются в одежде в качестве утеплителей. Анализ производственных и эксплуатационных факторов в (см. п. 1.2) показал, что изменение структуры и свойств указанных выше

материалов наиболее существенно зависит от внешних сжимающих усилий, действующих на одежду при ее изготовлении и эксплуатации.

При всем многообразии и широком применении объемных нетканых материалов практика показывает недостаточную изученность их свойств, формирующих и обеспечивающих качество готовых изделий.

Проблема оценки и учета изменения деформации объемных нетканых полотен при проектировании, изготовлении швейных изделий, разработке рекомендаций по уходу за ними в процессе эксплуатации является актуальной. Отсутствие методов оценки деформации объемных нетканых материалов при циклическом сжатии вызывает сложности, как при переработке, так и при эксплуатации одежды. Поэтому в качестве объектов исследования выбраны объемные традиционные и современные нетканые полотна, имеющие широкое применение в производстве утепляющей одежды мужского и женского ассортимента, изготовленных в соответствии с ГОСТ 19008-93, ГОСТ 14253-83, ГОСТ 6418-81, полученные различными способами формирования волокон в холсте (механическим, физико-механическим) и скрепления структурных элементов (холстопрошивное, иглопробивное, термоскрепленное, валяльное), отличающиеся составом используемого сырья: химические волокна (полиэфирные), натуральные волокна (хлопок, шерсть) [30, 31 - 35, 38].

Характеристика исследуемых объектов представлена в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Характеристика исследуемых объектов

№ обр.	Название материала	ГОСТ	Способ получения	Толщина, мм	Волокнистый состав, %	П _s , г/м ²	Объемная плотность δ, г/см ³	Ширина, см	Структурные характеристики
1	Полотно нетканое холстопршивное, арт. 927622	ГОСТ 19008-93	Холстопршивной	4,8	ВШрс – 85, ВПэф – 15	215	0,045	150	Количество петель на 50 мм: по длине 47 по ширине 20
2	Полотно нетканое холстопршивное, арт. 917618	(Россия, ГОСТ 14253-83)	Холстопршивной	2,8	ВХл – 100	190	0,068	150	Количество петель на 50 мм: по длине 46 по ширине 26
3	Войлок (Россия)	ГОСТ 6418-81	Валяльный	6,8	Шрс – 100	200	0,029	130	Ориентация волокон в холсте - неориентированные
4	Шерстипон (Россия)	–	Термоскрепленный	24,4	ВПэф – 40 верблюжья шерсть – 60	300	0,012	300	Тип структуры – точечная
5	Шерстипон (Россия)	–	Термоскрепленный	14,9	ВПэф – 40 овечья шерсть – 60	300	0,020	300	Тип структуры – точечная
6	Тинсулейт (Россия)	Модификация Р 150	Термоскрепленный	15,8	ВПэф – 100	200	0,012	100	Тип структуры – сегментная
7	Синтепон (Россия)	СК150/300	Термоскрепленный	7,8	ВПэф – 100	140	0,017	140	Тип структуры – сегментная
8	Холлофайбер	(ООО «Термопол» Россия (г. Москва)	Термоскрепленный	12,0	ВПэф – 100	130	0,010	140	Тип структуры – сегментная

2.2. Методы исследования

2.2.1. Методы определения структурных характеристик и геометрических свойств нетканых материалов

Деформация объемных нетканых полотен при циклическом сжатии связана с изменением или перестройкой внешних связей элементов структуры объектов (см. гл. 1). Изменения в структуре материалов приводят в первую очередь к изменению их геометрических свойств. Поэтому в работе использованы методы оценки показателей структуры и геометрических свойств объемных нетканых полотен и пакетов материалов, представленные в табл. 2.2.

Таблица 2.2

Нормативные документы, используемые в работе

№	Выполняемые исследования	Название ГОСТ	№ ГОСТ
1	Отбор проб	Полотна нетканые. Методы определения структурных характеристик	15902.2-2003 (ИСО 9073-2: 1995)
2	Подготовка и кондиционирование проб	Полотна нетканые. Методы определения структурных характеристик	15902.2-2003 (ИСО 9073-2: 1995)
3	Толщина	Материалы текстильные. Полотна. Метод определения толщины	ГОСТ 12023-93 (ИСО 5084-77)
4	Линейная плотность	Полотна нетканые. Методы определения структурных характеристик	15902.2-2003 (ИСО 9073-2: 1995)
5	Поверхностная плотность	Полотна нетканые. Методы определения структурных характеристик	15902.2-2003 (ИСО 9073-2: 1995)
6	Геометрические характеристики: длина, ширина	Материалы текстильные. Ткани, нетканые полотна и штучные изделия. Методы определения линейных размеров, линейной и поверхностной плотностей	3811-72

Материалы для испытаний, количество проб, их размеры и форма осуществлялась в соответствии с ГОСТ 13587-77 «Полотна нетканые и изделия штучные нетканые. Правила приемки и метод отбора проб» [29].

Перед проведением испытаний пробы выдерживали 12 часов при нормальных атмосферных условиях (температура воздуха $20 \pm 3^{\circ}\text{C}$, относительная влажность воздуха $65 \pm 5\%$) в соответствии с ГОСТ 10681-75 «Материалы текстильные. Климатические условия для кондиционирования проб и методы их определения». В этих же условиях проводились испытания [28, 132].

Для прогнозирования поведения материалов при воздействии факторов производства и эксплуатации объекты были исследованы в условиях циклического сжатия. Для имитации факторов производства и эксплуатации одежды определяли деформацию сжатия проб:

- определение (исходных) деформационных характеристик при циклическом сжатии при нормальных атмосферных условиях;
- определение (исходных) деформационных характеристик при циклическом сжатии после их увлажнения;
- определение (исходных) деформационных характеристик при циклическом сжатии после одной и 2-х стирок.

При подготовке проб, увлажненных до $W_{\phi} = 40\%$, их подвергали предварительному кондиционированию в течение 24 часов в кондиционной камере АК-2, затем взвешивали и вычисляли нормальную массу образца m_n . После чего рассчитывали массу пробы влажностью 40 % m_{ϕ} по известной формуле [63]:

$$m_n = m_{\phi} (100 + W_n) / (100 + W_{\phi}). \quad (2.1)$$

После кондиционирования и взвешивания пробы увлажняли, помещали в кондиционную камеру и доводили их массу до m_{ϕ} .

Стирку исследуемых объектов проводили согласно ГОСТ 30157.1 – 95 [37].

После предварительных обработок (увлажнение, стирка) пробы подвергали многократному деформированию при сжатии, что позволило имитировать факторы производства и эксплуатации одежды.

Для сравнительной оценки свойств материалов в условиях циклического стесненного и свободного сжатия испытанию подвергали пробы материалов в кондиционном, во влажном ($W_{пробы} - 40\%$) состояниях, после первой, а также после второй стирки, в нормальных внешних климатических условиях испытаний [63].

Нормативные документы на стандартные методы исследований проб нетканых материалов (ГОСТы) используемые в работе представлены в табл. 2.2.

2.2.2. Разработка стендовой установки для исследования деформации нетканых материалов в условиях циклического сжатия

В первой главе были подробно рассмотрены используемые в настоящее время стандартные и оригинальные методики, приборы и установки для определения деформации материалов при сжатии. Основными недостатками данных методов и средств для оценки влияния усилий сжатия на деформацию текстильных материалов являются: возможность реализовать только одноцикловое воздействие, невозможность создания условий испытаний близких к реальным; индивидуальность, т.е. их применимость для конкретного вида материалов или показателей свойств; сложность и громоздкость конструкций; неуниверсальность (не могут моделировать условия производства и эксплуатации) (см. гл. 1, п. 1.4).

Поэтому для оценки влияния деформации сжатия на свойства объемных нетканых материалов была разработана стендовая установка, позволяющая исследовать кинетику изменения деформации при сжатии, моделировать воздействие внешних факторов (жидкая и иная среда).

Особенностью нетканых материалов для швейных изделий является неравномерность по толщине, что затрудняет равномерное распределение силового давления на площадь пробы при испытании. Этот недостаток исключен за счет конструктивного решения индентора.

Преимуществом разработанного индентора является возможность реализации равномерного силового давления на материал с различным рельефом и неровнотой по толщине, что очень важно для объемных нетканых материалов. Исходя из размеров приспособления, для реализации стесненного сжатия рабочий диаметр пробы $d_1 = 27 \dots 30$ мм, свободного сжатия – $d_2 = 20 \dots 25$ мм, исходная толщина материалов – $0,1 \dots 20$ мм. Принципиальная схема приспособления для реализации циклического сжатия представлена на рис. 2.1.

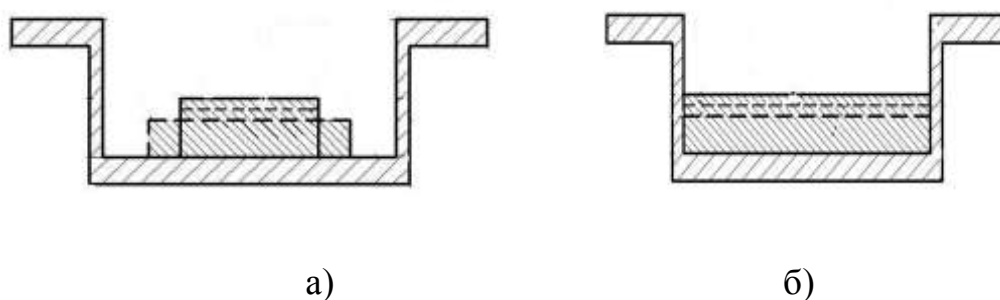


Рис. 2.1. Приспособление для реализации свободного (а), стесненного (б) сжатия

Отличительной особенностью данного устройства является возможность реализовать: стесненное или свободное сжатие проб; воздействие различных внешних факторов (влажная, жидкая или среда) (рис. 2.1) в период отдыха или при испытаниях пробы [47, 48, 50, 54-56].

Результаты экспериментов проб образцов (см. табл. 2.1) представлены в приложении А.

По полученным измерениям определяются основные характеристики сжатия материала:

Общая деформация сжатия и ее компоненты в абсолютных (мм) и относительных (% , доли) величинах соответственно:

– общая:

$$L_{общ} = h_{сж} = h_0 - \Delta h, \quad (2.2)$$

где $h_{сж}$ – величина максимального продавливания пробы, мм;

h_0 – величина максимального продавливания относительно нулевого уровня на шкале, мм;

Δh – нулевой уровень поверхности пробы, мм;

– условнообратимая (разница между полной деформацией и последним значением измерения h_i):

$$L_{обр} = h_{сж} - h_i; \quad (2.3)$$

$$\Delta \varepsilon_{обр} = (h_{сж} - h_i) / h_{сж}, \quad (2.4)$$

где $h_{сж}$ – величина максимального продавливания пробы, мм;

h_0 – величина максимального продавливания относительно нулевого уровня на шкале, мм;

Δh – нулевой уровень поверхности пробы, мм;

– условнонеобратимая (остаточная) определяется последним значением измерения h_i в период отдыха пробы:

$$L_{ост} = L_{общ} - L_{обр} = h_i; \quad (2.5)$$

$$\Delta \varepsilon_{ост} = h_i / h_{сж}, \quad (2.6)$$

где $h_{сж}$ – величина максимального продавливания пробы, мм;

h_i – последнее значение измерения считывающего устройства, мм;

$L_{общ}$ – общая деформация;

$L_{обр}$ – условнообратимая часть деформации

2.3. Обработка результатов исследований и оценка достоверности экспериментальных данных

Для определения адекватности математических моделей реальному процессу сжатия нетканых материалов используют критерий Фишера и метод

конечных элементов [20, 71, 135], расчетное значение которого определяют по формуле

$$F_p = \frac{S_{ad}^2}{S_y^2}, \quad (2.7)$$

где S_{ad}^2 – дисперсия адекватности;

S_y^2 – дисперсия воспроизводимости.

Адекватность модели изучаемого процесса проверяют по критерию Фишера F_p . Если расчетное значение критерия Фишера F_p меньше табличного F_T , то гипотеза об адекватности не отвергается.

Для проверки однородности дисперсии и воспроизводимости эксперимента при одинаковой повторности всех опытов рассчитывали значение критерия Кочрена G_k по формуле [2, 20,90].

$$G_k = \frac{S_{\max}^2}{\sum_{i=1}^n S^2}, \quad (2.8)$$

где S_{\max}^2 – максимальная дисперсия всех опытов;

$\sum_{i=1}^n S^2$ – сумма всех дисперсий эксперимента.

Далее расчетное значение G_k сравнивают с табличным значением G_T и делают вывод об однородности дисперсий и воспроизводимости опытов в случае, если $G_k < G_T$ [2, 20].

По результатам экспериментальных данных определили основные статистические характеристики: среднюю арифметическую величину (\bar{X}), дисперсию (S^2), стандартное отклонение (S), коэффициент вариации (G), абсолютную (m) и относительную (δ) среднеквадратическую ошибку, расчетные формулы, которых представлены табл. 2.3 [2, 40].

Обработка полученных экспериментальных данных осуществлялась с помощью программного обеспечения MathCAD и Excel.

В соответствии с теорией математической статистики и критериям оценки точности экспериментальные данные достоверны. Значение среднеквадратической ошибки не превышает 8–12 % при достоверности 0,95 и коэффициенте вариации 10 % (приложение Г).

Данное устройство реализуют высокую точность измерений, это подтверждается следующими расчетами.

Таблица 2.3

Статистические характеристики, используемые в работе

№	Формула	Статистическая характеристика
1	$\bar{X} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n X_i$	Среднее арифметическое
2	$S = \sqrt{\frac{(\bar{X} - X_i)^2}{n-1}}$	Стандартное отклонение
3	$S^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\bar{X} - X_i)^2$	Дисперсия
4	$C = \frac{S}{\bar{X}} \cdot 100\%$	Коэффициент вариации
5	$m = \frac{t \cdot S}{\sqrt{n}}$	Абсолютная ошибка
6	$\delta = \frac{m}{\bar{X}} \cdot 100\%$	Относительная ошибка

Абсолютная погрешность непосредственно измеряемой величины $h(t)$ включает абсолютную погрешность измерения линейного перемещения индентора, т.е. приборную (систематическую, инструментальную) ошибку, включающую $\delta h(t)_i$, $\delta \Delta h$, δh_{\max} , $\delta h_{\text{ост}}$, и абсолютную погрешность m_x , связанную с неравномерностью свойств измеряемых объектов.

Абсолютная погрешность непосредственно измеряемой величины $h(t)$ будет иметь вид:

$$\delta h = \sqrt{(m_x)^2 + (\delta h_i(t))^2 + (\delta h_{\max})^2 + (\delta h_{\text{ост}})^2 + (\delta h_0)^2}, \quad (2.9)$$

где m_x – случайная абсолютная погрешность, вызванная особенностями строения нетканых материалов, мм;

$\delta h_i(t)$, δh_{\max} , $\delta h_{\text{ост}}$ – систематическая (приборная) погрешность при непосредственном измерении искомой величины h , мм.

Применение фотодатчиков позволяет обеспечивать постоянную абсолютную приборную погрешность измерительного устройства: $\delta h_i(t) \approx \delta h_{\text{ост}} = 10^{-6}$ м. Тогда при измерениях в диапазоне от 1,0 до 25,0 мм абсолютная погрешность результатов измерения искомым величин $h_i(t)$, $h_{\text{ост}}$ будет составлять 10^{-3} мм, а максимальная относительная погрешность – 0,5 %.

Устройство реализует измерения относительно реального «нулевого» положения при фактическом Δh , поэтому величина первоначального провисания Δh не влияет на результаты измерения $h_i(t)$, $h_{\text{ост}}$, и будет учитываться только при измерении максимального продавливания материала. Так как калибровка по Δh осуществляется фотодатчиком, то погрешность этой величины также будет равна: $\delta \Delta h(t) = \delta h_i(t) = \delta h_{\text{ост}} = 10^{-6}$ м.

Максимальное значение h_{\max} , мм измеряется с помощью измерительной шкалы с ценой деления C , равной 0,1 мм, поэтому $\delta h_{\max} = \pm 0,05$ мм.

Максимальная относительная погрешность измеряемого значения h , будет составлять 0–3 %.

Относительная погрешность метода рассчитывалась по формуле

$$e(u) = \sqrt{(eh)^2 + (em_x)^2 + (e(\varepsilon))^2} \quad (2.10)$$

Проведенные экспериментальные исследования (приложение Г, табл. Г1) показали, что для обеспечения 10 %-ного уровня значимости результата испытаний у материалов толщиной 0,1–25,0 мм, при количестве 10-ти элементарных проб абсолютная случайная погрешность результата составила $m_x = 0,003$ –2,1 мм. При этом, относительная случайная погрешность

$em_x = \sqrt{\left(\frac{m_x}{x}\right)^2}$ составляет от 3 до 12%, при повторности измерений в опыте, равной 10-ти пробам.

Учитывая вышеизложенное, абсолютную погрешность уравнения (формула 2.9) можно представить в виде:

$$\delta h = \sqrt{(m_x)^2 + 3(\delta h_i(t))^2 + (\delta h_{\max})^2}. \quad (2.11)$$

Относительная погрешность измеряемой величины h будет равна:

$$eh = \frac{\delta h}{h} = \sqrt{3\left(\frac{\delta h_i(t)}{h_i(t)}\right)^2 + \left(\frac{\delta h_{\max}}{h_{\max}}\right)^2 + \left(\frac{mx}{x}\right)^2}. \quad (2.12)$$

Учитывая, что $\delta h_i(t)$ равно 10^{-6} м, что практически не влияет на абсолютную погрешность, окончательно следует, что относительная погрешность непосредственно измеряемой величины $h(t)$

$$e_h = \sqrt{\varepsilon^2(h_{\max}) + \varepsilon^2(m_x)}. \quad (2.13)$$

Далее, чтобы оценить методическую погрешность результатов оценки циклической деформации $\varepsilon_i(\%)$ и ее компонент, необходимо оценить погрешность, связанную с расчетом косвенных величин $\varepsilon_{ц}(t)$. Абсолютная погрешность $\Delta\varepsilon_{ц}$ будет включать погрешность непосредственно измеряемой величины δh и методическую (расчётную ошибку) Δl , связанную с оценкой исходной толщины материала l_0 , мм, и ее изменением ($l_0 - l_{ц}$) в процессе циклического сжатия. Следовательно, общая абсолютная погрешность $\Delta\varepsilon_{ц}$ запишется в виде

$$\Delta\varepsilon_{ц} \approx \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial h} \Delta h\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial l_0} \Delta l_0\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial l_{ц}} \Delta l_{ц}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial S} \Delta S\right)^2}, \quad (2.14)$$

где Δh – абсолютная погрешность измеряемой величины $h(t)$, мм;

Δl_0 – абсолютная погрешность, связанная с влиянием исходной толщины материала на расчётную величину усредненного значения деформации, мм;

$\Delta l_{ц}$ – абсолютная погрешность, вызванная изменением исходной толщины материала при многоцикловом сжатии, мм;

ΔS – абсолютная погрешность, связанная с аппроксимацией фактического изменения площади пробы при сжатии ΔS .

Относительная погрешность $e(\varepsilon_{ц})$ при определении косвенной величины циклической деформации $\varepsilon_{ц}$ будет равна:

$$e(\varepsilon_{ц}) \approx \sqrt{(e_h)^2 + (e_{l_0})^2 + (e_{l_{ц}})^2 + (e_{\Delta S})^2}, \quad (2.15)$$

где e_h – относительная погрешность измеряемой величины $h(t)$, мм;

e_{l_0} – относительная погрешность, связанная с влиянием исходной толщины материала на расчётную величину усреднённого значения деформации, мм;

$e_{l_{ц}}$ – относительная погрешность, вызванная изменением исходной толщины материала при многоцикловом сжатии, мм;

$e_{\Delta S}$ – относительная погрешность, связанная с аппроксимацией фактического изменения площади пробы при сжатии ΔS .

Рассчитана относительная погрешность при оценке деформации материалов толщиной 0,1–20 мм методом циклического сжатия, которая составила 3,1–12,3 % (приложение Г, таблица г1).

Выводы по второй главе

1. Обоснованы и выбраны объекты для исследования, дана их краткая характеристика. Выбраны методы исследования, представлена нормативно-техническая документация, описаны используемые методики.

2. Разработана стендовая установка для исследования деформации нетканых материалов в условиях циклического сжатия получен патент на полезную модель № 144579 от 23.07.2014 г.

3. Представлены методы математической обработки результатов исследований, описаны используемые статистические характеристики. Выбранные методы и методики дают возможность получить наиболее точные результаты исследований в соответствии с задачами и целью работы.

Глава 3. АНАЛИЗ ДЕФОРМАЦИИ МАТЕРИАЛОВ И СИСТЕМ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ОДЕЖДЫ В УСЛОВИЯХ ЦИКЛИЧЕСКОГО СЖАТИЯ

Для математического моделирования процесса циклического сжатия нетканых материалов выбрана функциональная зависимость, адекватно описывающая изменения деформации при сжимающих воздействиях. На основе экспериментальных данных получены математические модели изменения деформации исследуемых объектов при воздействии многоциклового сжатия.

3.1. Теоретическое обоснование модели деформации нетканых материалов при циклическом сжатии

Для объективного представления закономерностей изменения свойств исследуемых объектов в ходе моделирования нужен системный анализ информации, который наглядно представлен на рис. 3.1.

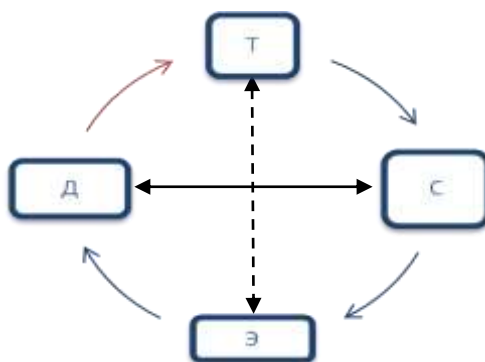


Рис. 3.1. Взаимосвязь структуры (С), деформации (Д), внешних воздействий: технологических (Т), эксплуатационных (Э)

В результате воздействия технологических факторов изменяется структура материала (С), что влияет на его поведение при эксплуатации (Э). В процессе эксплуатации материалы испытывают внешние воздействия (Д), изменяющие его структуру, задаваемую в процессе производства изделий. Следует также

учесть, что условия эксплуатации обуславливают выбор технологии (Т), которая в свою очередь определяет условия эксплуатации (Э) (пунктирная линия на рис. 3.1).

Главной особенностью, усложняющей математическое моделирование сжатия волокнистой массы нетканых полотен, является то, что элементарные волокна находятся в произвольно-ориентированном состоянии. Каждое элементарное волокно изогнуто случайным образом в пределах самого себя, волокна переплетаются друг с другом [72]. В работе [73] для разработки объемной модели деформации нетканых материалов использовался метод конечных элементов для сплошных сред в объемной постановке. Такая же модель разработана для нетканого материала типа «холлофайбер», позволяющая прогнозировать его разрывную нагрузку при растяжении. Такая же модель разработана для математического моделирования деформационных свойств при сжатии льняного чесаного и трепаного волокна. Однако, данная модель очень сложна и подходит для одного волокна, а не для полотна в целом. В основном все известные модели описания сжатия строятся на основе динамической модели деформирования твердого тела [151]. Это условие не применимо к нетканым волокнистым материалам для одежды вследствие их сложной, неупорядоченной структурной организации.

В работе [19] показано, что сжатие волокон представляет собой сложный процесс ввиду дисперсности волокон в массе и неопределенности расположения и числа точек контактов между ними.

В исследованиях, проведенных в [77], показано, что изменение свойств и структуры материалов при сжатии влияет на формоустойчивость готовых изделий при производстве и эксплуатации.

А.Г. Севостьянов, П.А. Севостьянов в работе [123] показали, что механические свойства волокнисто-сетчатых материалов при деформации определяются следующими факторами: свойствами волокон, образующих полотно, и взаимодействием волокон в волокнистой массе. В ряде работ [4, 79, 83, 19, 108] в качестве моделей деформации волокнисто-сетчатых материалов

рассматриваются модели деформации так называемых эластомеров, как наиболее близкие к текстильным материалам. Но наиболее важным условием используемым в теориях деформации твердых тел, является условие сплошности [67, 124]. Это условие не может применяться к нетканым материалам из-за неупорядоченного, подвижного, рыхлого расположения волокон в массе.

Для эластомеров разработаны теоретические и полуэмпирические модели, с помощью которых описывается поведение данных материалов при деформации [121, 127]. Однако эти модели не применимы к нетканым материалам, так как не могут адекватно описать процесс деформации таких сложных и неупорядоченных по структуре материалов.

Применение сложных математических моделей (в том числе моделей Максвелла и Кельвина – Фойгта) для точного описания разнообразных по структуре и волокнистому составу материалов нежелателен, в связи с большим диапазоном изменения характеристик их механических свойств [96]. Изменение структуры материалов при действии внешних сжимающих усилий зависит от различных факторов: температуры, продолжительности и направления действия усилий [88].

На сегодняшний день представления о методах системного анализа деформации материалов волокнисто-сетчатых структур основаны на линейной и нелинейной теориях вязкоупругости [121, 65, 66, 92]. Уход от линейной теории вязкоупругости к нелинейной обусловлен тем, что основой построения методов расчета прогнозирования напряжённо-деформированного состояния пористых материалов в области неразрушающих нагрузок считается кинетическая природа процессов деформации [65]. Поэтому актуальна проблема разработки модели деформации нетканых материалов при сжатии, позволяющей анализировать влияние структурных изменений в объекте на его поведение (деформацию) при воздействии технологических и эксплуатационных факторов.

Логично будет в качестве параметров модели деформации материалов для одежды при циклическом сжатии выбрать:

- структурный уровень объектов;
- свойства исследуемого объекта;
- характер воздействия внешних факторов на материал (объект) – внешняя среда.

Установленные ограничения и условные допущения, к исследуемым объектам для моделей деформации представлены в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Параметры модели деформации нетканых материалов

Параметры модели	Ограничения и условные допущения
Структурный уровень материалов	Внешние воздействия вызывают изменения, происходящие в структуре материалов, которая определена микро- (степень ориентации полимера волокна) и макростроением (связями между элементами – волокнами, нитями и пр.). Сжимающие воздействия при производстве и эксплуатации не приводят к изменению структуры материалов на микроуровне, а воздействуют на макроуровень (сдвиг, перемещение волокон, увеличения точек контакта между волокнами)
Свойства исследуемого объекта	Многоцикловые нагрузки при сжатии приводят к существенным изменениям структурно-геометрических (толщина, плотность), механических (жесткость, остаточная деформация), физических (воздухопроницаемость, пористость и пр.) свойств объектов
Характер воздействия внешних факторов на материал	Материалы подвергаются действию циклических сжимающих усилий на всех стадиях жизненного цикла: хранение, транспортировка, производство, эксплуатация, уход. При этом величина данных усилий не превышает 5–10 % от предельной прочности материала

В теоретическом анализе приняты следующие условные обозначения: P – внешние силы; F – силы действующие при сжатии, N – силы реакции опоры.

При действии сил, направленных перпендикулярно его плоскости возникает деформация сжатия (рис. 3.2). Основными характеристиками свойств материалов при сжатии являются [1]:

сила P , даН (Н),

напряжение – σ , МПА (Па):

$$\sigma = P/F, \quad (3.1)$$

где F – площадь сжатия.

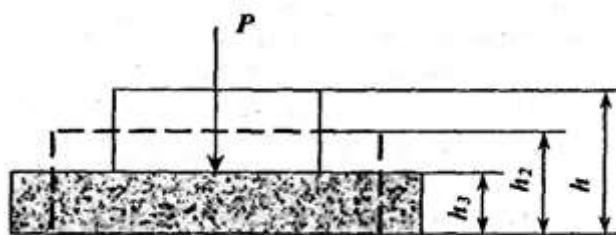


Рис. 3.2. Схема деформирования пробы материала при сжатии:

h – толщина пробы материала до испытания, h_2 – толщина пробы материала после сжатия и отдыха; h_3 – толщина пробы при действии заданной нагрузки [1]

Процесс сжатия нетканых материалов протекает в два этапа, на первом этапе материал деформируется, происходят изменения в структуре (сближение волокон, утонение), на втором этапе процесс деформации замедляется [12, 73]. В результате сжатия происходит утонение материала за счет смещения, сближения структурных элементов. При сжатии элементарные волокна нитей сближаются и перемещаются. Это приводит к изменению формы поперечного сечения нитей от круглой до эллиптической [88].

По данным работ Г.Н. Кукина, Н.Г. Бессоновой, А.П. Жихарева, Л.А. Серебряковой при воздействии многократных сжимающих воздействий на нетканые материалы в течение длительного времени уменьшается связь между волокнами, образующими холст, возникает явление усталости [10, 64, 83, 126]. Усталость материала приводит к деформации, вызывающей внутреннее разрыхление структуры [97].

При сжатии образца силой $F_{сж}$ (сжатия) на образец также действует сила реакции опоры N . В результате действия внешних усилий в образце возникают силы упругости $F_{упр}$ структурных элементов, суммируя их, получаем $\sum F_i = F_{упр}$ (рис. 3.3).

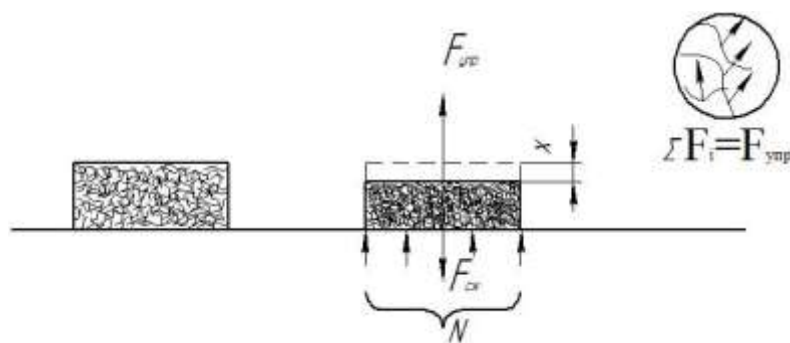


Рис. 3.3. Воздействие внешних сил при сжатии нетканых материалов

При сжатии элементарные волокна нетканых материалов начинают взаимодействовать с соседними волокнами в результате чего возникают силы давления каждого элементарного волокна на другое элементарное волокно. Можно принять, что сумма $\sum F_i$ дает силу упругости $F_{упр}$ материала. Поскольку расположение элементарных волокон в нетканых материалах хаотично, то по аналогии с броуновским движением частиц, можно рассматривать только суммарные составляющие этих элементарных сил, $\sum F_i = F_{упр}$. В таких случаях математическая модель сжатия строится по эмпирическим зависимостям, т.е. на основе обработки результатов множества экспериментов.

Исходя из выше сказанного, возникает необходимость разработки математической модели сжатия нетканых материалов, учитывающая их структурные особенности и свойства, что позволит применять ее (модель) для решения конкретных практических задач, связанных с производством и эксплуатацией нетканых материалов.

3.2. Разработка математической модели определения деформации нетканых материалов

Для математического моделирования изменения деформации при воздействии многоциклового сжатия использовали экспериментальные данные, полученные с помощью установки [51, 52, 115] для определения деформации текстильных материалов при сжатии.

Аппроксимация полученных экспериментальных данных позволила исследовать числовые характеристики объекта, сводя задачу к изучению более удобных объектов (например, таких, характеристики которых легко вычисляются).

При проведении экспериментальных исследований данные, как правило, получены с некоторой погрешностью, поэтому нужно построить такую кривую, которая бы воспроизводила график исходной экспериментальной закономерности, т.е. была бы наиболее близка к экспериментальным точкам, но при этом была бы нечувствительна к случайным отклонениям измеряемой величины [91, 96]. Для этого существует множество эмпирических уравнений.

Необходимо разработать математическую модель деформации нетканых материалов при сжатии, позволяющую анализировать влияние структурных изменений в объекте на его поведение (деформацию) при воздействии технологических и эксплуатационных факторов. С учетом вышеизложенного в качестве параметров модели выбраны: уровень структуры, свойства объекта, характер внешних воздействий. К объектам и модели их деформации приняты условные допущения и ограничения:

- элементы структуры объектов условно можно представить в виде геометрического тела, обладающего длиной (l), шириной (z) и толщиной (h);
- деформация структурных элементов определяется изменением толщины s объекта при воздействии небольших (1–10 % от предельных) значениях сжимающих усилий;

– структурные элементы объекта обладают упруго-пластическими свойствами.

С учетом принятых в анализе ограничений и допущений предложена модель деформации исследуемых объектов, новизна которой заключается в том, что она учитывает способность объемных нетканых материалов изменять объем при деформации.

Для аппроксимации результатов эксперимента из множества функциональных зависимостей в данной работе использовано следующее уравнение:

$$y=ax^b e^{cx}. \quad (3.2)$$

Данная функциональная зависимость содержит константы: a , b и c , значения которых можно определить разными способами. Согласно описанию результатов эксперимента константа a больше 0 и равна любому целому числу. Константа b является показателем степени при аргументе x и константа c , входящая как сомножитель в показатель степени при e , могут быть как отрицательными, так и положительными значениями [53]. Поэтому, константы a , b и c , в зависимости от значения и знака дают множество сочетаний уравнению и придают универсальность и более широкое применение для аппроксимации результатов экспериментальных исследований.

Для определения констант a , b и c функциональной зависимости (3.2) можно использовать различные способы. Например, метод средних величин или метод наименьших квадратов (МНК). Преимущество данного метода состоит в сравнительной универсальности и простоте вычислений [20].

Для более обоснованного выбора параметров модели деформации объектов в условиях циклического сжатия использовали способ нахождения коэффициентов уравнения (3.2), основанный на определении минимума функции:

$$\sum_i (y(x_i) - y_i)^2 \rightarrow \min . \quad (3.3)$$

Для удобства дальнейших вычислений прологарифмируем функцию (3.2).

$$\ln y = \ln(ax^b e^{cx});$$

$$\ln y = \ln a + b \ln x + cx . \quad (3.4)$$

Обозначим коэффициенты при неизвестных через k_1, k_2, k_3 : $k_1 = 1$; $k_2 = \ln x$; $k_3 = x$ и рассмотрим уравнение $\ln y = k_1 \ln a + k_2 b + k_3 c$.

Для отыскания минимума функции:

$$F(a, b, c) = \sum_i (\ln y(x_i) - \ln y_i)^2 = \sum_i (k_1 \ln a + k_2 b + k_3 c - \ln y_i)^2 \quad (3.5)$$

составим систему уравнений:

$$\begin{cases} \frac{\sigma F}{\sigma a} = 2 \sum_i (k_1 \ln a + k_2 b + k_3 c - \ln y_i) k_1 \frac{1}{a} = 0; \\ \frac{\sigma F}{\sigma b} = 2 \sum_i (k_1 \ln a + k_2 b + k_3 c - \ln y_i) k_2 = 0; \\ \frac{\sigma F}{\sigma c} = 2 \sum_i (k_1 \ln a + k_2 b + k_3 c - \ln y_i) k_3 = 0. \end{cases} \quad (3.6)$$

Предполагая, что $a \neq 0$, получаем

$$\begin{cases} (\sum_i k_1^2) \ln a + (\sum_i k_1 k_2) b + (\sum_i k_3 k_1) c = \sum_i \ln y_i k_1; \\ (\sum_i k_1 k_2) \ln a + (\sum_i k_2^2) b + (\sum_i k_3 k_2) c = \sum_i \ln y_i k_2; \\ (\sum_i k_1 k_3) \ln a + (\sum_i k_2 k_3) b + (\sum_i k_3^2) c = \sum_i \ln y_i k_3. \end{cases} \quad (3.7)$$

Поскольку $k_1=1$, то $\sum_i k_1^2 = n$ (объему выборки),

$$k_1 k_2 = k_2 \Rightarrow \sum_i k_1 k_2 = \sum_i k_2 = \sum_i \ln x_i; \quad k_1 k_3 = k_3 \Rightarrow \sum_i k_1 k_3 = \sum_i k_3 = \sum_i x_i \text{ и т.д.}$$

Система примет вид:

$$\begin{cases} n \ln a + (\sum_i \ln x_i) b + (\sum_i x_i) c = \sum_i \ln y_i; \\ (\sum_i \ln x_i) \ln a + (\sum_i (\ln x_i)^2) b + (\sum_i (x_i \ln x_i)) c = \sum_i (\ln y_i \ln x_i); \\ (\sum_i x_i) \ln a + (\sum_i (\ln x_i x_i)) b + (\sum_i x_i^2) c = \sum_i (x_i \ln y_i). \end{cases} \quad (3.8)$$

Получили систему линейных неоднородных уравнений относительно $\ln a, b, c$.

Для решения системы (по правилу Крамера, матричным способом) используем программное обеспечение MathCAD, находим коэффициенты a , b , c и составляем уравнение эмпирической кривой (3.2).

Для доказательства пригодности выбранного способа решения уравнение (3.2) решим его также с помощью экспоненциальной аппроксимации и степенной аппроксимации. Для сокращения трудоемкости и повышения точности аппроксимации результатов экспериментального исследования используем программное обеспечение MathCAD. Весь алгоритм решения представлен в приложении Б. Найдя сумму квадратов отклонения, видим, что логарифмирование функции более точно описывает эмпирические данные, в отличие от экспоненциальной аппроксимации и степенной аппроксимации.

Далее с помощью логарифмирования в среде MathCAD находим коэффициенты уравнения (3.2) для пробы № 7 (см. п. 2, табл 2.1). Весь алгоритм решения представлен в приложении В.

Формируем матрицы A и B .

$$A := \begin{bmatrix} n & \sum_{i=1}^n \ln(X_i) & \sum_{i=1}^n X_i \\ \sum_{i=1}^n \ln(X_i) & \sum_{i=1}^n (\ln(X_i))^2 & \sum_{i=1}^n (X_i \cdot \ln(X_i)) \\ \sum_{i=1}^n X_i & \sum_{i=1}^n (\ln(X_i) \cdot X_i) & \sum_{i=1}^n (X_i)^2 \end{bmatrix} \quad B := \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^n \ln(Y_i) \\ \sum_{i=1}^n (\ln(Y_i) \cdot \ln(X_i)) \\ \sum_{i=1}^n (\ln(Y_i) \cdot X_i) \end{bmatrix}$$

Матрицы A и B с подставленными значениями.

$$A = \begin{pmatrix} 10 & -8.936 & 5.42 \\ -8.936 & 15.923 & -2.28 \\ 5.42 & -2.28 & 3.913 \end{pmatrix} \quad B = \begin{pmatrix} 11.156 \\ -10.136 \\ 5.991 \end{pmatrix}$$

Результаты исследований многоцикловых характеристик при сжатии
(кондиционные условия) для пробы №7 7 (см. п. 2, табл 2.1)

Параметры сжатия: $P_{ц} = 1,5$ даН, $n = 100$ циклов; $t_H/t_0 = 5/5$ с	
Время отдыха t_0 , с	Высота перемещения индентора h_i , мм
0,05	3,18
0,16	3,13
0,27	3,06
0,38	3,06
0,49	3,04
0,60	3,05
0,71	3,02
0,81	3,01
0,92	2,99
1,03	2,98
1,14	2,98
1,25	2,97
1,35	2,99
1,46	3,00
1,57	3,00

Составляем матрицу неизвестных и находим коэффициенты уравнения
(3.2).

$$x_{Serch} = \begin{pmatrix} 1.1083 \\ -0.01651 \\ -0.01373 \end{pmatrix} \quad \begin{matrix} a = 3,029 \\ b = -0,017 \\ c = -0,014 \end{matrix}$$

За ось абсцисс X , принимаем время t , с, восстановления образца, а за ось ординат Y принимаем h , мм, толщину после сжатия. Строим график уравнения (3.2) (рис. 3.4).

Находим сумму квадратов отклонения:

$$S := \sum_{i=1}^n (F(X_i) - Y_i)^2, \quad S = 0,0013.$$

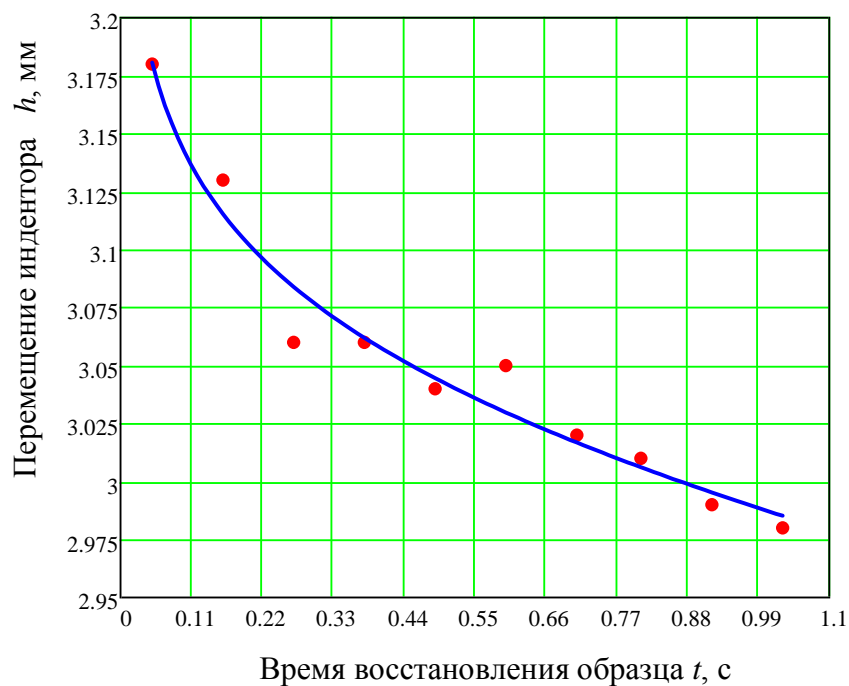


Рис. 3.4. График функции $y = 3,029x^{-0,017}e^{-0,014x}$ для образца № 7

Результаты экспериментов и графики эмпирических кривых, полученных в среде MathCAD, представлены на рис. 3.5.

Анализируя графики на рис. 3.5, мы видим, что релаксационно-восстановительные процессы в материалах протекают с различной скоростью. При этом скорость релаксационно-восстановительных процессов в структуре материала зависит от структуры, волокнистого состава нетканых материалов.

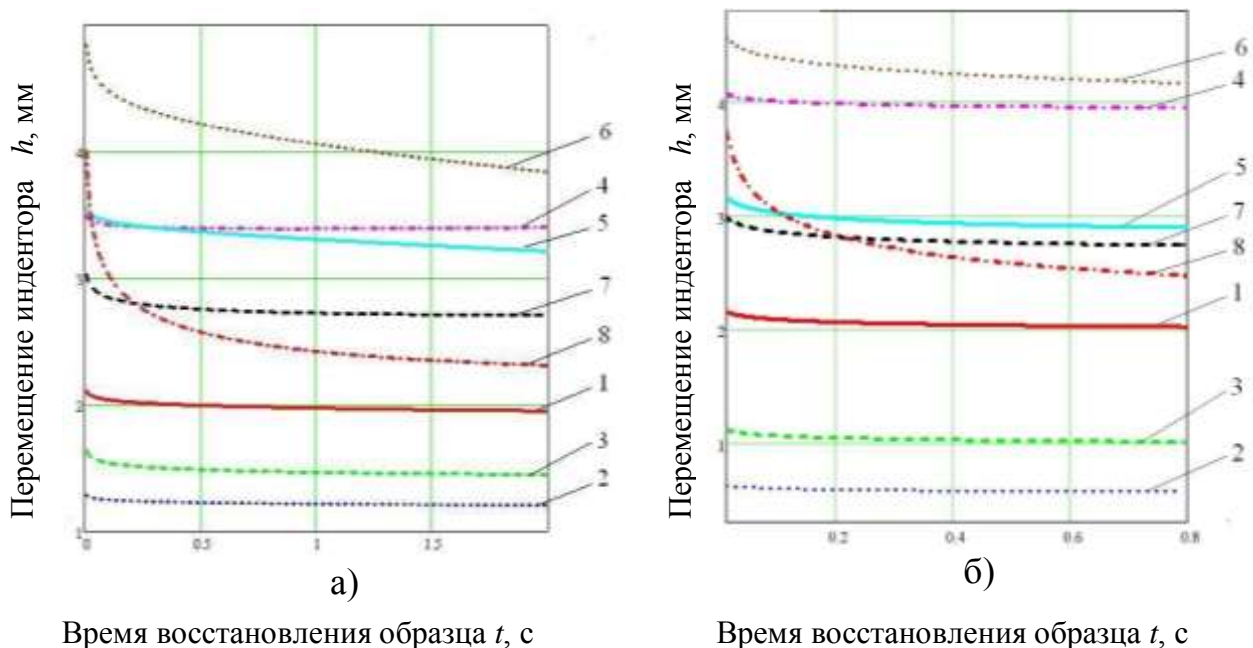


Рис. 3.5. Графики изменения остаточной деформации при а – свободном, б – стесненном сжатии. Образцы: полотно холстопршивное: 1 – полушерстяное, 2 – хлопчатобумажное; 3 – войлок; шерстипон: 4 – верблюжья шерсть, 5 – овечья шерсть; 6 – тинсулейт; 7 – синтепон; 8 – холлофайбер (см. табл. 2.1)

3.3. Экспериментальная оценка разработанной модели

При проведении испытаний образцов нетканых материалов в условиях циклического сжатия, в результате которых получены эмпирические данные, использовали стендовую установку (см. гл. 2 п. 2.3). Данное устройство для циклического сжатия материалов позволяет реализовывать стесненное и свободное сжатие за счет того, что средство для крепления исследуемого образца выполнено в виде стальной емкости цилиндрической формы, размер которой варьируется в зависимости от того стесненное или свободное сжатие нужно реализовать.

Особенность нетканых материалов – неравномерность по толщине, что затрудняет равномерное распределение силового давления на площадь пробы

при испытании. Этот недостаток исключен за счет конструктивного решения индентора (см. гл. 2 п.п. 2.2.2 рис. 2.1).

Характеристика образцов нетканых материалов, выбранных для исследования, представлена в табл. 2.1.

Форма, размеры, количество проб материалов для проведения испытаний соответствовали ГОСТу 13587-77 «Полотна нетканые и изделия штучные нетканые. Правила приемки и метод отбора проб» [29].

Перед проведением испытаний пробы выдерживали 12 часов при нормальных атмосферных условиях (температура 20 ± 3 °С и относительная влажность 65 ± 5 %) согласно ГОСТу 10681-75 «Материалы текстильные. Климатические условия для кондиционирования проб и методы их определения» [28]. В этих же условиях проводились испытания.

Измерение деформации проб проводили после их многоциклового сжатия разработанным методом.

Параметры испытания: величина задаваемой нагрузки на пробу $P_{ц} = 1,5$ даН; период воздействия нагрузки $n = 100$ циклов; время нагрузки $t_{н} = 5$ с, отдыха $t_{о} = 5$ с; рабочий размер индентора диаметр $D = 30$ мм, рабочие размеры диаметра пробы $d_1 = 30$ мм (стесненное сжатие), $d_2 = 20$ мм (свободное сжатие). Для приведенных выше параметров реализовано давление на пробу при свободном сжатии – 0,5 кПа и 0,2 кПа при стесненном сжатии.

Указанные параметры с одной стороны обеспечивают наименьшие затраты времени и трудоёмкость проведения испытаний в условиях циклического сжатия, с другой стороны позволяют оценить деформацию материалов, различных по структуре и волокнистому составу.

В табл. 3.3 представлены полученные константы a , b , c уравнения (3.2).

Константы a, b, c уравнения (3.2) проб материалов (см. табл. 2.1)

№	Материал	Коэффициенты уравнения (3.2)			Сумма квадратов отклонения S
		a	b	c	
Свободное сжатие					
1	Полотно нетканое холстопрошивное, арт. 927622	1,984	-0,013	-0,003	0,00061
2	Полотно нетканое холстопрошивное, арт. 917618	1,222	-0,011	0,001	0,00088
3	Войлок (Россия)	1,466	-0,023	0,003	0,00038
4	Шерстипон (ВПэф – 40 %; верблюжья шерсть – 60%)	3,363	-0,008	-0,009	0,00514
5	Шерстипон (ВПэф – 40 %; овечья шерсть – 60%)	3,384	-0,01	-0,022	0,00097
6	Тинсулейт Р 150	4,213	-0,029	-0,036	0,00474
7	Синтепон СК150/300	2,968	-0,024	0,011	0,00477
8	Холлофайбер	2,354	-0,11	0,03	0,00368
Стесненное сжатие					
1	Полотно нетканое холстопрошивное, арт. 927622	1,003	-0,017	-0,004	0,0004
2	Полотно нетканое холстопрошивное, арт. 917618	0,563	-0,026	0,011	0,00066
3	Войлок (Россия)	0,999	-0,026	0,004	0,00057
4	Шерстипон (ВПэф – 40 %; верблюжья шерсть – 60%)	5,932	-0,008	0,003	0,00101
5	Шерстипон (ВПэф – 40 %; овечья шерсть – 60%)	2,857	-0,024	0,008	0,00147
6	Тинсулейт Р 150	4,208	-0,019	-0,019	0,00139
7	Синтепон СК150/300	1,382	-0,001	-0,04	0,00146
8	Холлофайбер	1,857	-0,054	0,038	0,00156

Анализ результатов математического моделирования показал, что предложенная математическая модель (3.2) подходит для описания остаточной деформации объемных нетканых материалов в условиях циклического сжатия. Экспериментальная проверка соответствия модели реальному процессу подтвердила, что уравнение (3.2) адекватно описывает исследуемый процесс

(ошибка расчетных и экспериментальных данных не более 5...18 %, см. приложение Г, табл. Г3) и объективно моделирует кинетику изменения деформации при циклическом сжатии, определяемую до установления релаксационного равновесия (при последнем измерении). Уравнение (3.2) можно представить в виде

$$h_i = at^b e^{ct}, \quad (3.8)$$

где h_i – остаточная деформация, мм;

a , b , c – коэффициенты уравнения (3.2) (параметры интенсивности процесса).

Полученные данные математического моделирования показали, что коэффициенты уравнения (3.2) определяются как структурой, так и свойствами объемных нетканых материалов. Коэффициент a прогнозирует упругие свойства материалов, обусловленные структурными характеристиками и объемом образца. Чем больше толщина и более рыхлая структура материала, тем больше значение a (табл. 3.3, рис. 3.5: образцы №4-6). Коэффициент b зависит от волокнистого состава и параметров сжатия материалов (стесненное, свободное сжатие). При свободном сжатии у образцов из натуральных волокон № 1, 2, 4, значение коэффициента b меньше, чем у образцов из синтетических волокон № 6, 7 (см. табл. 3.3, рис. 3.5). При стесненном сжатии у образцов из синтетических волокон № 6, 7 значение коэффициента b меньше, чем у образцов № 2, 3, 5 из натуральных волокон. Коэффициент c определяет скорость установления релаксационного равновесия в материале после циклического сжатия.

Установленные диапазоны значений параметров a , b , c позволяют выбирать параметры, при которых проявляются упругие деформации материалов, коэффициент b для нетканых материалов имеет отрицательное значение.

Предложенная функциональная зависимость деформации (3.2) позволяет прогнозировать параметры, условия (режимы) производства и эксплуатации нетканых материалов, при которых проявляются упругие деформации

материалов. Упругие деформации в основном определяют показатели качества нетканых материалов при производстве и эксплуатации утепленной одежды.

Математические модели для каждого из исследуемых объектов представлены в табл. 3.4.

Таблица 3.4
Математические модели для проб нетканых материалов (табл. 2.1)

Материал	Вид сжатия	Уравнение
Полотно нетканое холстопршивное арт. 927622	Свободное	$h_i = 1,984t^{-0,013} e^{-0,003t}$
	Стесненное	$h_i = 1,003t^{-0,017} e^{-0,004t}$
Полотно нетканое холстопршивное арт. 917618	Свободное	$h_i = 1,222t^{-0,011} e^{0,001t}$
	Стесненное	$h_i = 0,563t^{-0,026} e^{0,011t}$
Войлок (Россия)	Свободное	$h_i = 1,466t^{-0,023} e^{0,003t}$
	Стесненное	$h_i = 0,999t^{-0,026} e^{0,004t}$
Шерстипон (ВПЭф – 40 %; Верблюжья шерсть – 60%)	Свободное	$h_i = 3,363t^{-0,008} e^{-0,009t}$
	Стесненное	$h_i = 2,857t^{-0,024} e^{0,008t}$
Шерстипон (ВПЭф – 40 %; Овечья шерсть – 60%)	Свободное	$h_i = 3,384t^{-0,01} e^{-0,022t}$
	Стесненное	$h_i = 2,857t^{-0,024} e^{0,008t}$
Тинсулейт Р 150	Свободное	$h_i = 4,213t^{-0,029} e^{-0,036t}$
	Стесненное	$h_i = 4,208t^{-0,019} e^{-0,018t}$
Синтепон СК150/300	Свободное	$h_i = 2,9681t^{-0,024} e^{0,011t}$
	Стесненное	$h_i = 1,382t^{-0,001} e^{-0,04t}$
Холлофайбер	Свободное	$h_i = 2,354t^{-0,11} e^{0,03t}$
	Стесненное	$h_i = 1,857t^{-0,054} e^{0,038t}$

Предложенная модель деформации позволяет прогнозировать условия (режимы, параметры) производства и эксплуатации нетканых материалов, при которых проявляются упругие деформации материалов. Упругие деформации в основном определяют показатели качества нетканых материалов при производстве и эксплуатации утепленной одежды.

Выводы по третьей главе

1. В работе предложена математическая модель изменения деформации при воздействии многоциклового сжатия, позволяющая прогнозировать параметры производства и эксплуатации при которых материал остается в упругом состоянии.

2. Для описания данной модели выбрана функциональная зависимость, адекватно описывающая изменение деформации при сжимающих воздействиях.

3. На основе эмпирических данных получены коэффициенты уравнения модели изменения деформации при воздействии многоциклового сжатия, для нетканых материалов.

4. Погрешность между расчетными и экспериментальными значениями необратимой деформации изменяется в пределах 5–18,0 %, что говорит о достаточном соответствии теоретических расчетов экспериментальным данным.

Глава 4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДЕФОРМАЦИИ ОБЪЕМНЫХ НЕТКАНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ОДЕЖДЫ ПРИ ЦИКЛИЧЕСКОМ СЖАТИИ

Основываясь на теоретических исследованиях представленных в главе 3 разработано устройство и новый метод исследования деформации объемных нетканых материалов в условиях циклического сжатия [52, 53].

Отбор проб для проведения экспериментальных испытаний, расчёта значений показателей свойств и ошибки осуществлялся согласно методам систематического многоступенчатого отбора, корреляционного анализа [88]. Доверительные интервалы величин показателей определялись с доверительной вероятностью 0,95.

В качестве объектов исследования использовались объемные нетканые материалы различные по сырьевому составу, способу производства и назначению, имеющие широкое применение в производстве швейных изделий. Характеристика объектов представлена в гл. 2 (см. табл. 2.1).

Отбор, подготовка и условия испытаний проб выполнялись в соответствии с [29, 30, 34, 39], характеристики свойств материалов и методы их оценки указаны в соответствующих главах.

Для оценки влияния внешних факторов на деформацию пробы предварительно подвергали воздействию факторов производства (увлажнение), эксплуатации (стирка). Методики проведения технологических и эксплуатационных обработок объектов приведены в гл. 2.

4.1. Разработка методического обеспечения испытаний материалов при циклическом сжатии

4.1.1. Принцип работы устройства и его конструктивное решение

Цель данного раздела заключалась в создании устройства и методики, обеспечивающих возможность проведения испытаний при циклическом сжатии, приближенных к реальным условиям основных этапов жизненного цикла материалов, систем и готовых швейных изделий, а именно: производственным и эксплуатационным.

При разработке устройства для реализации циклического сжатия и метода учитывались требования, позволяющие реализовать:

- проведение оперативных, точных, автоматизированных испытаний и получение достоверных результатов, моделирующих факторы производства и эксплуатации;
- исследование изменения деформации сжатия;
- возможность проведения параллельных, последовательных или совместных испытаний проб к комплексу внешних воздействий (свободное и стесненное сжатие, влажностно-тепловые);
- моделирование условий нагружения (величина и вид распределения нагрузки на пробу, время нагружения и отдыха, количество циклов) и измерения деформации пробы в период нагружения и отдыха.

При создании установки основной задачей являлось разработка устройства, позволяющего реализовывать различные условия сжатия (стесненное, свободное) при высокой достоверности измерения показателей деформации. Применение дифференциальных фотодатчиков и отсутствия давления со стороны измерителя позволило обеспечить объективность результатов испытаний.

Для реализации поставленной задачи совмещаются зоны нагружения пробы и измерения, что дает возможность измерения деформации в период нагружения и отдыха.

Разработанное нами устройство позволяет в автоматизированном режиме и без разрушения образца, варьируя количество циклов, время нагружения и отдыха, получать составляющие полной деформации – условнообратимую, условнонеобратимую (остаточную) и определять их численные характеристики при сжатии, а также кинетику изменения деформации при изменении внешних условий в процессе нагружения и отдыха. Устройство позволяет изучать как технологические свойства материалов (способность к деформации), так и важнейшие эксплуатационные характеристики (упругость). При этом могут создаваться различные климатические условия при испытании, в том числе влажная (или иная) среда (рис. 4.1).

Для реализации условий сжатия были изготовлены: приспособление в виде стального цилиндра для размещения пробы диаметром $D_{\text{ц}}$, равным 35 мм и высотой H , равной 20 мм (рис. 4.1, а); стальной, съемный индентор диаметром D равный 30 мм и толщиной 10 мм (рис. 4.1, б).

Особенность волокнистых пористых материалов (особенно нетканых различного способа получения) для швейных изделий – неравномерность по толщине, что затрудняет равномерное распределение силового давления на площадь пробы при испытании. Этот недостаток исключен за счет конструктивного решения индентора.

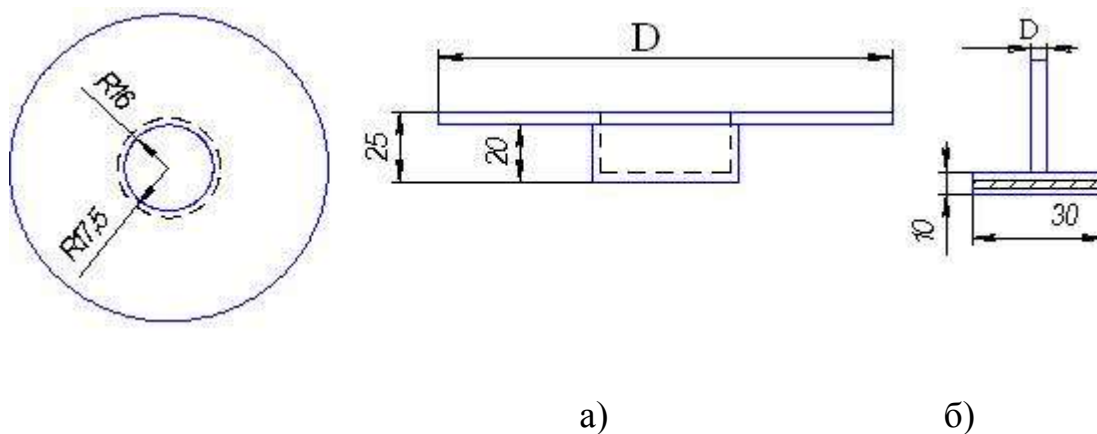


Рис. 4.1. Приспособление для сжатия материалов:
а – вид сверху и сбоку; б – индентор для сжатия

Преимущество разработанного индентора – реализация равномерного силового давления на материал с различным рельефом и неровнотой по толщине. Размеры приспособления зависят от условий сжатия: стесненного рабочий диаметр пробы $d_1 = 26 \dots 30$ мм, свободного – $d_2 = 20 \dots 25$ мм, исходная толщина материалов $0,1 \dots 25$ мм.

Измеряемая величина сжатия материала $h_{\text{изм}}$ под действием нагрузки или в период отдыха отличается на величину Δh от реального продавливания пробы:

$$h = h_{\text{изм}} - \Delta h, \quad (4.1)$$

где h – реальное продавливание пробы материала, мм;

$h_{\text{изм}}$ – измеряемая величина продавливания на шкале, мм;

Δh – поправочный коэффициент, мм.

При испытаниях исследуемый образец укладывается на дно приспособления для сжатия. Приспособление для сжатия устанавливают на каретку. Вводятся необходимые параметры на панели ввода и индикации данных: количество циклов, время паузы, время давления, далее нажимается кнопка «пуск».

Каретка переместит приспособление для сжатия в область измерителя, произойдет замер нулевой плоскости. Далее произойдет автоматическое усреднение данных и на табло выведется значение – это значение будет принято за ноль.

После этого каретка переместит приспособление для сжатия в область для осуществления циклов нагрузки, и далее будет осуществляться цикл нагрузки.

По окончании цикла воздействия на материал (давления), каретка переместит приспособление для сжатия снова в область измерителя и на индикаторе будет высвечиваться величина продавливания, мм (от нулевой отметки). Значение будет выводиться непрерывно либо до нажатия кнопки «стоп» или до восстановления пробы до нулевой отметки (исходного состояния).

Схема устройства представлена на рис. 4.2, 4.3.

Устройство состоит из стола 1 с размещенной на нем кареткой 2, на которой устанавливается приспособление для крепления исследуемого материала 3, механизма для подачи нагрузки, включающий шток 4, приводимый в движение электродвигателем 5 (через редуктор), движущийся с постоянной скоростью под заданной на опорной горизонтальной площадке 6 нагрузкой, измеритель 7, построенный на шаговом двигателе и электронном блоке 8 с панелью ввода и индикации данных, выполненного на микропроцессоре.

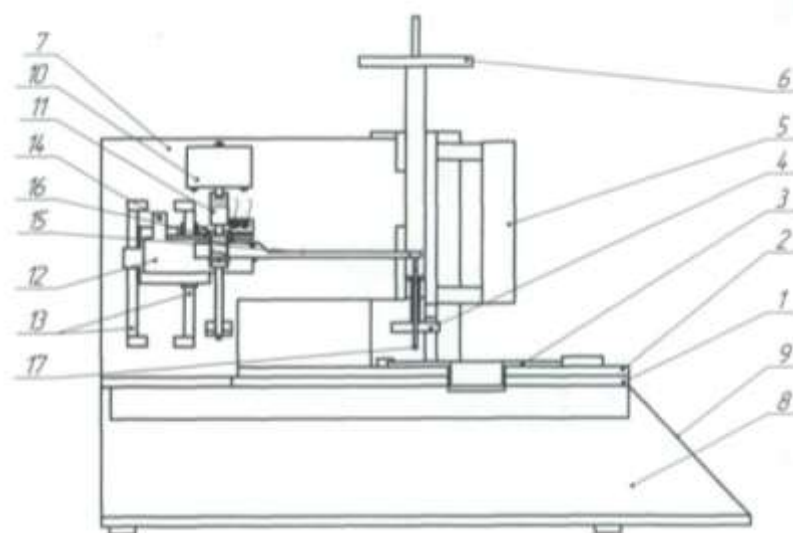


Рис. 4.2. Фронтальный разрез устройства для изучения деформации текстильного материалов при сжатии

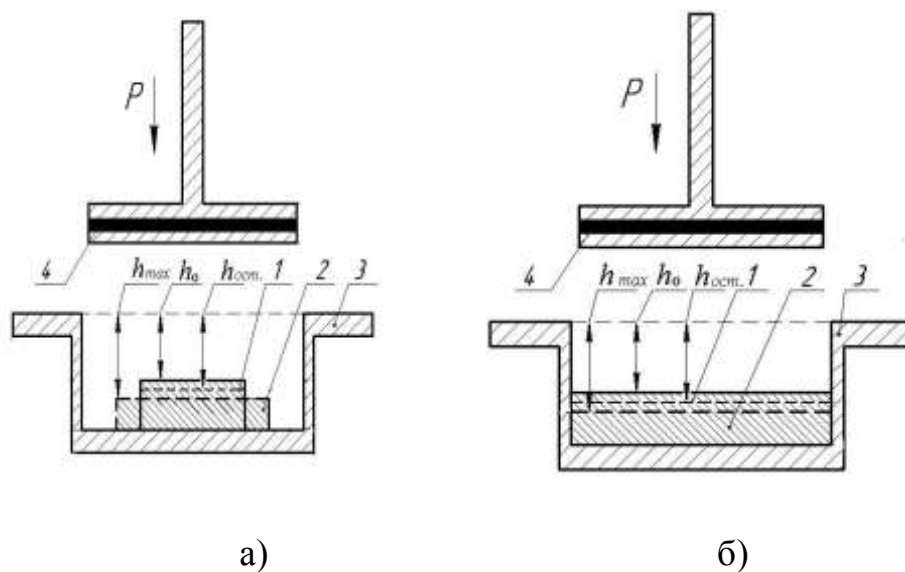


Рис. 4.3. Схема циклического сжатия материалов: а – свободное сжатие; б – стесненное сжатие: 1 – проба до нагрузки; 2 – проба под нагрузкой; 3 – цилиндр; 4 – индентор для сжатия

Устройство для измерения перемещений включает шаговый электродвигатель 9, на оси которого находится ходовой винт 10 и каретка 11,двигающаяся по направляющей 12. На ходовом винте расположена безлюфтовая втулка 13, соединенная с кареткой 11. На каретке также находится флажок с отверстием под дифференциальный фотодатчик 14. Кроме него, на каретке 11 расположен датчик касания к материалу, который представляет собой коромысло 15 с отверстием под дифференциальный фотодатчик зонда 16 и пружинный зонд 17. Коромысло сбалансировано для обеспечения минимального возможного давления на материал. Фотодатчик 16 закреплен неподвижно и является пусковым, то есть от него запускается счетчик счета шагов. Фотодатчик 14 является стоповым датчиком двигателя передвижения каретки, то есть он прекращает счет шагов и останавливает двигатель [115, 116].

Описание работы устройства. Исследуемый образец (пробу), например войлок, укладывается на дно опорной поверхности, представляющей собой жесткий стальной цилиндр $D = 35\text{мм}$, $H = 20\text{ мм}$, который установлен на

каретке (см. рис. 4.3). После подключения устройства к источнику питания каретка 2 устройства для измерения перемещений с датчиком касания и шток-индентор 4 занимают крайнее верхнее положение.

На горизонтальной опорной площадке 6 задают величину нагружения пробы, например 1,5 даН. Затем вводятся необходимые параметры на панели ввода и индикации данных: количество циклов – 100, время нагружения/отдыха– 10 с.

После осуществления заданного количества циклов (100), каретка опускается вниз по направляющим до момента касания пружинного зонда 17 исследуемой пробы и затем производится измерение полученных после нагружения уровня поверхности пробы (см. рис. 4.2). Измерения производятся непрерывно до установления равновесного состояния испытываемого образца.

Внешний вид устройства представлен на рис. 4.4.



Рис. 4.4. Внешний вид устройства для изучения деформации текстильного материалов при сжатии

4.1.2. Оценка погрешностей результатов испытания

Чтобы оценить погрешность оценки деформации ε (%), следует оценить погрешность всех компонентов, входящих в данные уравнения. Абсолютная погрешность непосредственно измеряемой величины $h(t)$ будет включать абсолютную погрешность измерения линейного перемещения индентора, т.е. приборную (систематическую, инструментальную) ошибку, включающую $\delta h(t)_i$, $\delta \Delta h$, δh_{\max} , $\delta h_{\text{ост}}$, ошибку m_x , вызванную свойствами исследуемых объектов.

Абсолютная погрешность непосредственно измеряемой величины $h(t)$ будет иметь вид

$$\delta h = \sqrt{m_x^2 + (\delta h_i(t))^2 + (\delta h_{\max})^2 + (\delta h_{\text{ост}})^2}, \quad (4.1)$$

где m_x – случайная абсолютная погрешность, вызванная неравномерностью строения и составом материала, мм;

$\delta h_i(t)$, δh_{\max} , $\delta h_{\text{ост}}$ – систематическая (приборная) погрешность при непосредственном измерении искомой величины h , мм.

Применение фотодатчиков позволяет обеспечивать постоянную абсолютную приборную погрешность измерительного устройства: $\delta h_i(t) \approx \delta h_{\text{ост}} = 10^{-6}$ м.

Тогда в диапазоне от 2,0 до 25,0 мм абсолютная погрешность результатов измерения искомых величин $h_i(t)$, $h_{\text{ост}}$ будет составлять 10^{-3} мм, а максимальная относительная погрешность – 0,05 %.

Устройство реализует измерения относительно реального «нулевого» положения при фактическом Δh , поэтому величина первоначального провисания Δh не влияет на результаты измерения $h_i(t)$, $h_{\text{ост}}$, и будет учитываться только при измерении максимального продавливания материала. Так как калибровка по Δh осуществляется фотодатчиком, то погрешность этой величины также будет равна $\delta \Delta h(t) = \delta h_i(t) = \delta h_{\text{ост}} = 10^{-6}$ м.

Максимальное значение h_{\max} , мм измеряется с помощью измерительной шкалы с ценой деления C , равной 0,1 мм, поэтому: $\delta h_{\max} = \pm 0,05$ мм.

Уравнение (4.1) можно представить в виде

$$\delta h = \sqrt{m_x^2 + 3(\delta h_i(t))^2 + (\delta h_{\max})^2}. \quad (4.2)$$

Относительная погрешность измеряемой величины h будет равна

$$e_h = \frac{\delta h}{h} = \sqrt{3\left(\frac{\delta h_i(t)}{h_i(t)}\right)^2 + \left(\frac{\delta h_{\max}}{h_{\max}}\right)^2 + \left(\frac{m_x}{x}\right)^2}. \quad (4.3)$$

Учитывая, что $\delta h_i(t)$ равно 10^{-6} м, что практически не влияет на абсолютную погрешность, окончательно следует, что относительная погрешность непосредственно измеряемой величины $h(t)$:

$$e_h = \sqrt{\varepsilon^2(h_{\max}) + \varepsilon^2(m_x)}. \quad (4.4)$$

Далее, чтобы оценить методическую погрешность результатов оценки циклической деформации $\varepsilon_i(\%)$ и ее компонентов, необходимо оценить погрешность, связанную с расчетом косвенных величин $\varepsilon_{ц}(t)$. Абсолютная погрешность $\Delta\varepsilon_{ц}$ будет включать погрешность непосредственно измеряемой величины δh и методическую (расчётную ошибку) Δl , связанную с оценкой исходной толщины материала l_0 , мм и ее изменением ($l_0 - l_{ц}$) в процессе циклического растяжения. Следовательно, общую абсолютную погрешность $\Delta\varepsilon_{ц}$ можно представить в следующем виде

$$\Delta\varepsilon_{ц} \approx \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial h} \Delta h\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial l_0} \Delta l_0\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial l_{ц}} \Delta l_{ц}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial S} \Delta S\right)^2} \quad (4.5)$$

где Δh – абсолютная погрешность измеряемой величины $h(t)$, мм;

Δl_0 – абсолютная погрешность, связанная с влиянием исходной толщины пробы на расчётную величину усредненного значения деформации, мм;

$\Delta l_{ц}$ – абсолютная погрешность, вызываемая изменением первоначальной толщины пробы в условиях многоциклового сжатия, мм;

ΔS – абсолютная погрешность, связанная с аппроксимацией фактического изменения площади пробы при сжатии ΔS :

$$\varepsilon_y = f(h) \approx f(\Delta S). \quad (4.6)$$

Согласно уравнению (4.5) относительная погрешность $e(\varepsilon_{ц})$ при определении косвенной величины циклической деформации $\varepsilon_{ц}$ будет равна:

$$e(\varepsilon_y) \approx \sqrt{(eh)^2 + (el_0)^2 + (el_{ц})^2 + (e\Delta S)^2} \quad (4.7)$$

где eh – относительная погрешность измеряемой величины $h(t)$, мм;

el_0 – относительная погрешность, связанная с влиянием исходной толщины материала на расчётную величину усредненного значения деформации, мм;

$el_{ц}$ – относительная погрешность, вызванная изменением исходной толщины материала при многоцикловом сжатии, мм;

$e\Delta S$ – относительная погрешность, связанная с аппроксимацией фактического изменения площади пробы при сжатии ΔS .

Таким образом, погрешность метода оценки деформации сжатия для материалов толщиной до 25,0 мм включает относительную (приборную) погрешность $eh = 0,2-2,0$ %, относительную случайную погрешность $m_x = 3,1-12,3$ % (формула (4.3)) и относительную методическую погрешность расчета деформации $\Delta\varepsilon_{ц} = 0,5-2,0$ % (формула (4.5)).

4.1.3. Выбор параметров сжатия и разработка методики проведения испытаний

Результатами предварительных испытаний установлены параметры реализации циклического сжатия: рабочие размеры индентора – $D = 30$ мм, пробы для реализации свободного сжатия – $d_1 = 10...25$ мм, стесненного сжатия – $d_2 = 27...30$ мм; величина задаваемой нагрузки на пробу $P_{ц} = 1,5$ даН, время нагрузки $t_n = 5$ с, отдыха $t_0 = 5$ с, период воздействия нагрузки $n = 100$ циклов. Для объективной оценки свойств материалов лабораторные испытания проводятся при постоянных климатических условиях, то есть при

относительной влажности воздуха (60 ± 2) % и температуре (20 ± 2) С° в соответствии с ГОСТ 10681-75 «Материалы текстильные. Климатические условия для кондиционирования и испытания проб и методы их определения» [28]. В этих же условиях проводились испытания.

Для выбора оптимальных параметров испытания были проведены предварительные эксперименты. Характеристика материалов для предварительного эксперимента приведена в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Характеристика объектов для предварительного эксперимента

Название материала	Волокнистый состав, %	Толщина, мм	Поверхностная плотность, г/м ²
1. Полотно холстопршивное, арт. 917518	ВХл – 100	5,1	250,0
2. Полотно холстопршивное, арт. 927522	ВШрс – 85, ВПэф – 15	6,1	200,0
3. Синтепон арт. СК150/300	ВПэф – 100	12,1	140,0
4. Холлфайбер	ВПэф – 100	12,0	130,0
5. Ткань пальтовая арт. 4513	ВШрс – 67, ВНитр – 33	3,1	560,0
6. Драп арт. 3655	ВШрс – 100	5,6	650,0
7. Основовязаное трикотажное полотно	ПрХл – 50, ПрСиб – 50	1,2	261,0
8. Мебельно-декоративный материал «флок»	Основа ВХл – 100, Ворс ВПэф – 100	2,7	325,0

На диаграммах (см. рис. 4.5) представлены экспериментальные кривые релаксации толщины проб при циклическом сжатии. Анализ экспериментальных результатов позволяет оценить обратимую и необратимую деформацию проб в различных условиях сжатия.

Анализ диаграмм на рис. 4.5 показывает, что значение величины полной деформации зависит от продолжительности действия внешнего постоянного усилия сжатия. Чем больше время действия внешнего напряжения, тем выше остаточная деформация в материалах.

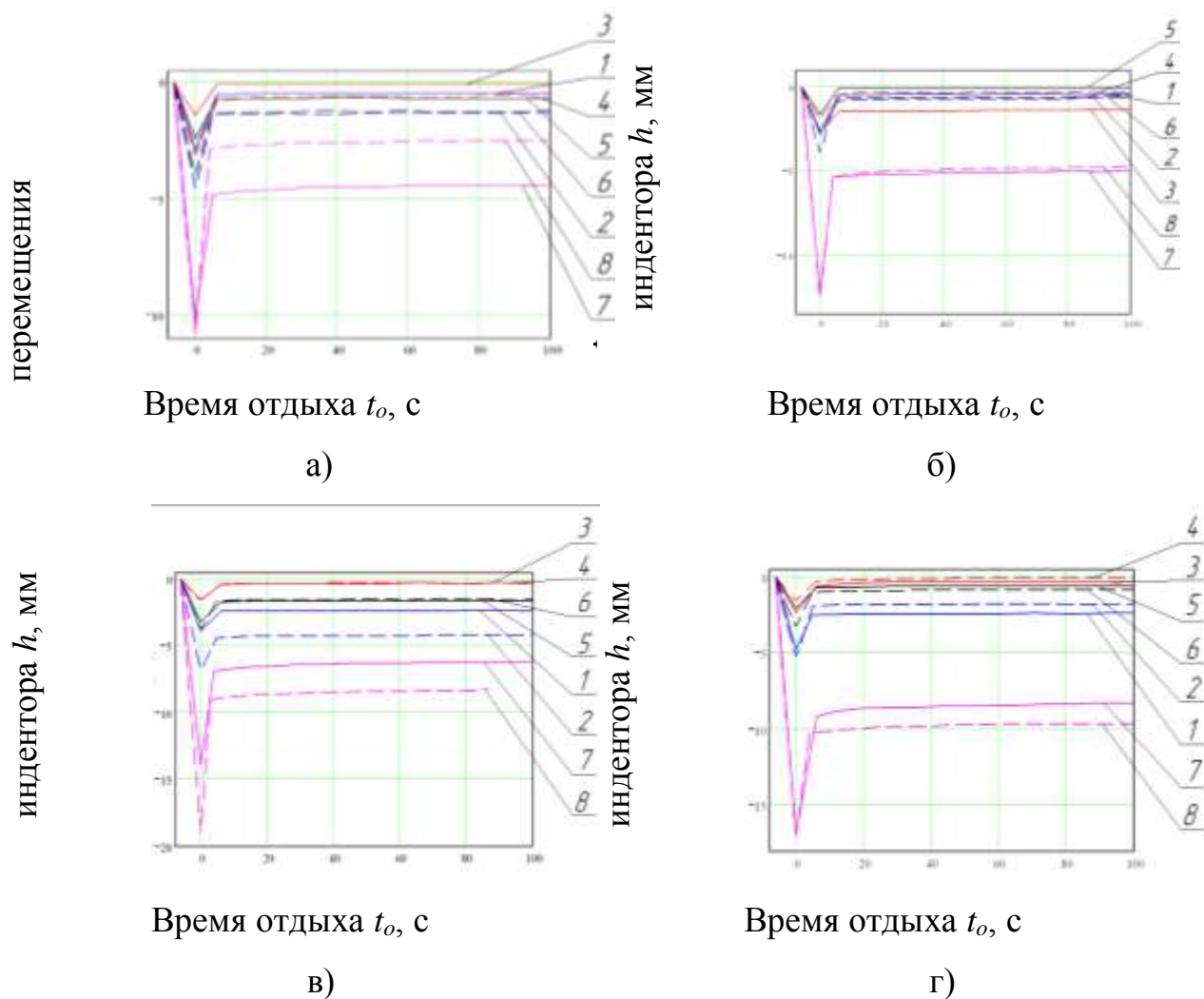


Рис. 4.5. Графики изменения толщины материалов (см. табл. 4.1) в условиях циклического сжатия: $n = 100$ циклов, $t_H/t_o = 5/5$ с:

а – стесненное сжатие; б – свободное сжатие;

в – увлажнение паром (стесненное сжатие);

г – увлажнение паром (свободное сжатие)

Увеличение времени выдержки материала в деформированном состоянии ведет к росту необратимой и обратимой частей полной деформации сжатия. Значительное изменение толщины проб при времени нагружения и отдыха в цикле наблюдается с 1 по 5 с. Увеличение времени воздействия нагрузки и отдыха пробы не приводит к существенному изменению толщины. Таким

образом, наиболее оптимальными с точки зрения рациональности и достаточной информативности о свойствах материалов различных структур и состава в условиях многоциклового сжатия при неопредельных нагрузках рекомендованы следующие режимы испытаний: время нагружения в цикле 5 с, время отдыха 5 с.

Рекомендуемый параметр силового давления – $P_{ц} = 1,5$ даН, так как именно такие нагрузки имитируют условия, близкие к технологическим и эксплуатационным (см. гл. 1).

Результаты экспериментальных исследований показали, что период нагружения 1–100 циклов позволяет адекватно оценить деформацию материалов, различных по составу и структуре [47, 51].

Таким образом наиболее оптимальные параметры испытания, обеспечивающие наименьшие затраты по времени и трудоёмкости испытаний при многоцикловом сжатии: D индентора – 30 мм, d пробы – 20...25 мм; время нагружения/отдыха в цикле сжатия составляло соответственно 5 с., циклическая нагрузка – 1,5 даН. кПа, период нагружения – 100 циклов. Для указанных параметров возможно реализовать давление на пробу 0,01...1,5 кПа позволяющие оценить деформацию материалов, различных структуре и волокнистому составу.

Давление на пробу при стесненном и свободном сжатии рассчитывается по формуле

$$P = P_u / S, \quad (4.9)$$

где P – реализуемое давление при различных условиях сжатия, Па;

P_u – нагрузка на пробу при сжатии, сН;

S – площадь поверхности пробы, см².

Площадь поверхности пробы рассчитывается по формуле

$$S = \pi \cdot (d^2 / 4). \quad (4.10)$$

Сводные результаты параметров при циклическом сжатии материалов, рассчитанные по формуле (4.9), занесены в табл. 4.2.

Параметры для циклического сжатия материалов

Давление, кПа	Сжатие	Диаметр пробы, мм	Нагрузка при сжатии $P_{ц}$, даН							
			0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0
	Стесненное	30,0	0,07	0,14	0,21	0,28	0,35	0,43	0,50	0,57
	Свободное	20,0	0,16	0,32	0,48	0,64	0,80	0,96	1,12	1,27
		15,0	0,28	0,56	0,85	1,13	1,41	1,69	1,98	2,26

Созданное устройство позволяет без разрушения образца в автоматизированном режиме, варьируя количество циклов, время нагружения и отдыха, получать составляющие деформации – обратимую и необратимую и определять их численные характеристики при свободном и стесненном сжатии, а также кинетику изменения деформации при изменении внешних условий в процессе нагружения и отдыха. Устройство позволяет изучать как технологические свойства материалов, так и эксплуатационные характеристики (упругость, формостабильность).

По полученным измерениям определяются основные характеристики сжатия материала.

Общая деформация сжатия и ее компоненты в абсолютных (мм) и относительных (% , доли) величинах соответственно:

– общая:

$$L_{общ} = h_{сж} = h_0 - \Delta h, \quad (4.11)$$

где $h_{сж}$ – значение максимального продавливания пробы, мм;

h_0 – величина максимального продавливания на шкале, мм;

Δh – нулевой уровень поверхности пробы, мм.

– условнообратимая (разница между полной деформацией и последним измерением h_i):

$$L_{обр} = h_{сж} - h_i \text{ (мм);} \quad (4.12)$$

$$\Delta \varepsilon_{обр} = (h_{сж} - h_i) / h_{сж} \text{ (доли);} \quad (4.13)$$

$$\varepsilon_{обр} = (h_{сж} - h_i) / L_0 \text{ (%),} \quad (4.14)$$

$h_{сж}$ – величина максимального продавливания материала, мм;

h_i – последнее значение измерения считывающего устройства, мм.

– условнонеобратимая (остаточная) определяется последним значением измерения h_i в период отдыха пробы:

$$L_{ост} = L_{общ} - L_{обр} = h_i; \quad (4.15)$$

$$\Delta\varepsilon_{ост} = h_i / h_{сж}, \quad (4.16)$$

$$\varepsilon_{ост} = h_i / L_0 (\%), \quad (4.17)$$

$L_{общ}$ – общая деформация;

$L_{обр}$ – условнообратимая часть деформации;

По измеряемым значениям изменения толщины пробы в период сжатия и отдыха строятся экспериментальные кривые релаксации материала. Деформация и ее компоненты рассчитываются в процентах или долях от исходной толщины пробы до сжатия. Исходную толщину пробы определяют (формула 4.16) из результатов измерения нулевого уровня Δh поверхности пробы и предварительно измеренного уровня $H = 20$ мм цилиндрической горизонтальной поверхности приспособления 3 для размещения пробы:

$$L_0 = 20 - \Delta h, \quad (4.18)$$

где Δh – нулевой уровень поверхности пробы, мм.

Рассчитанные значения долей деформации представлены в приложении Г.

На основе результатов выполненных исследований разработана методика испытаний материалов в условиях циклического сжатия (приложение Л).

4.2. Экспериментальные исследования деформации материалов и их систем для одежды при циклическом сжатии

4.2.1. Деформация материалов при изменении параметров циклического сжатия

Сжимающие воздействия и условия сжатия существенным образом влияют на деформацию материалов. Сжатие может быть стесненным или свободным в зависимости от технологического решения. В условиях циклического сжатия свободное сжатие происходит в изделиях где подкладка отлетная. В изделиях, где утепляющий материал соединен с материалом верха и подкладкой по площади (простегиванием) стесненное сжатие [15, 88].

В данном разделе исследованы закономерности изменения деформации объемных нетканых материалов в условиях свободного и стесненного сжатия. Для получения достоверных результатов исследуемые образцы выдерживали 12 часов в нормальных климатических условиях (температура 20 ± 3 °С и относительная влажность 65 ± 5 %) в соответствии с ГОСТ 10681-75 «Материалы текстильные. Климатические условия для кондиционирования проб и методы их определения» [28]. В этих же условиях проводились испытания. Исследовали образцы объемных нетканых материалов (см. гл. 2, табл. 2.1).

Испытания проводили при следующих параметрах циклического сжатия: рабочий размер индентора диаметр $D = 30$ мм, пробы для реализации свободного сжатия $d_1 = 10 \dots 25$ мм, стесненного сжатия $d_2 = 27 \dots 30$ мм; величина задаваемой нагрузки на пробу $P_{ц} = 1,5$ даН, время нагрузки $t_{н} = 5$ с, отдыха $t_{о} = 5$ с, период воздействия нагрузки $n = 100$ циклов. Для указанных параметров возможно реализовать давление на пробу при свободном сжатии – 0,5 кПа и 0,2 кПа при стесненном сжатии.

Анализ результатов оценки деформации сжатия проб после 100 циклов сжатия, представленных на рис. 4.6, показал, что доля необратимой

деформации у образцов из синтетических волокон (№ 6, 7, 8) на 15–20 % меньше, чем у образцов из натуральных волокон (№ 1–5), это объясняется упругими свойствами синтетических волокон. В условиях свободного сжатия доля необратимой деформации у образца № 6 возрастает на 29 %, что связано с особенностями строения синтетических волокон, условиями испытаний и их лучшей восстанавливаемостью в условиях стесненного сжатия.

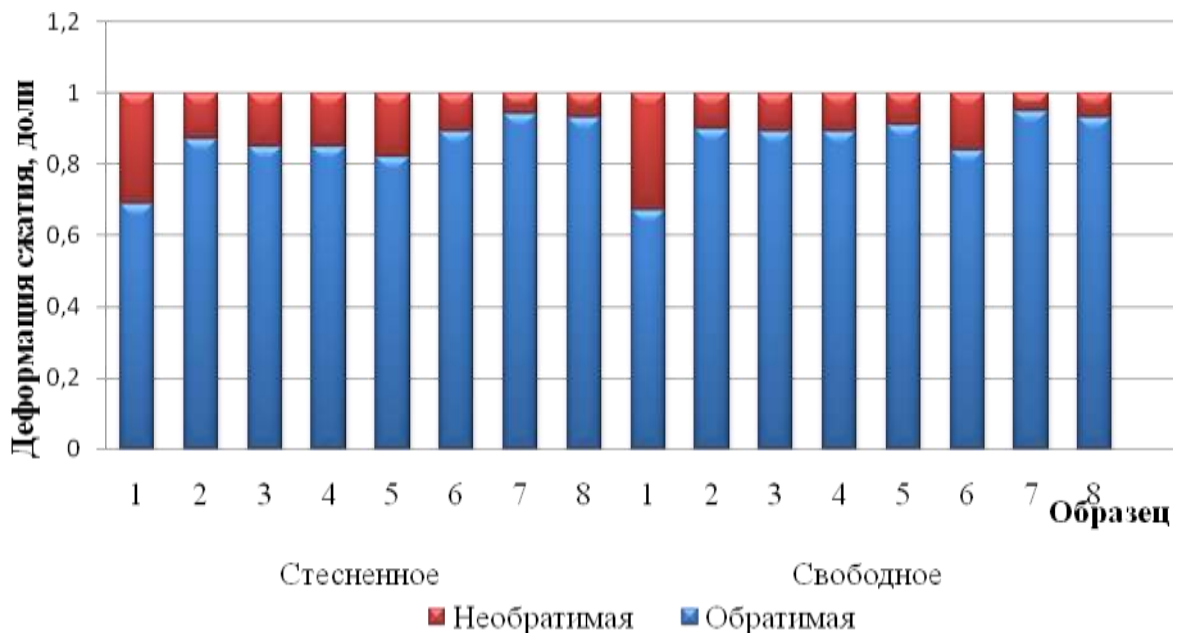


Рис. 4.6. Доли остаточной деформации после 100 циклов сжатия ($P = 1,5$ даН, $t_{\text{нагр}}/t_{\text{отд}} = 5/5$) в условиях циклического сжатия.

Образцы материалов: полотно холстопршивное: 1 – полушерстяное, 2 – хлопчатобумажное; 3 – войлок; шерстипон: 4 – верблюжья шерсть, 5 – овечья шерсть; 6 – тинсулейт; 7 – синтепон; 8 – холлофайбер (см. табл. 2.1)

Наибольшие значения доли необратимой деформации после 100 циклов сжатия проб при стесненном сжатии у нетканых полотен с вложением шерстяных волокон (образцы № 1, 4, 5), что возможно связано с наличием клеевых связей в волокнистом холсте шерстипона и фрикционными свойствами волокон шерсти. Образцы с вложением синтетических волокон (образцы № 6–

8) лучше восстанавливаются в условиях стесненного сжатия, доля необратимой деформации в свободном состоянии возрастает на 15–25 %, это объясняется упругими свойствами синтетических волокон и их лучшей восстанавливаемостью в условиях стесненного состояния.

4.2.2. Исследование деформации материалов при циклическом сжатии после воздействия влажных обработок (стирок)

Механическое давление, воздействие внешних факторов (увлажнение, стирка) влияют на деформацию нетканых материалов. По данным Уральского территориального управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды за последние 10 лет влажность воздуха в осеннее-весенний период составляет 40–45 %, что является весьма важным эксплуатационным фактором для одежды с применением объемных нетканых материалов.

Испытания проб проводили при параметрах указанных в п. 4.2.1.

Для увлажнения проб до $W_{\phi} = 40\%$, выдерживали их 24 часа в кондиционной камере АК-2, затем взвешивали, определяя нормальную массу пробы m_n [28]. Расчет массы пробы влажностью 40 % m_{ϕ} проводили по известной формуле [63]:

$$m_n = m_{\phi} (100 + W_n) / (100 + W_{\phi}). \quad (4.19)$$

После взвешивания пробы увлажняли, помещали в кондиционную камеру и доводили их массу до m_{ϕ} .

Для сохранения влажности проб во время многоцикловых испытаний на сжатие материал помещали в полиэтиленовый пакет, герметично заваренный со всех сторон. Размеры пакета: длина и ширина пакета – 2–2,5 D , где D – диаметр пробы. Результаты оценки деформации проб в кондиционном и влажном состояниях при температуре воздуха 20 °С представлены на рис. 4.7 и в работах [49-51]. Далее исследовали кинетику изменения деформации нетканых материалов после воздействия некоторых эксплуатационных факторов (первая

и вторая стирка) (рис. 4.8). Характеристика материалов представлена в табл. 2.1 (см. гл. 2).

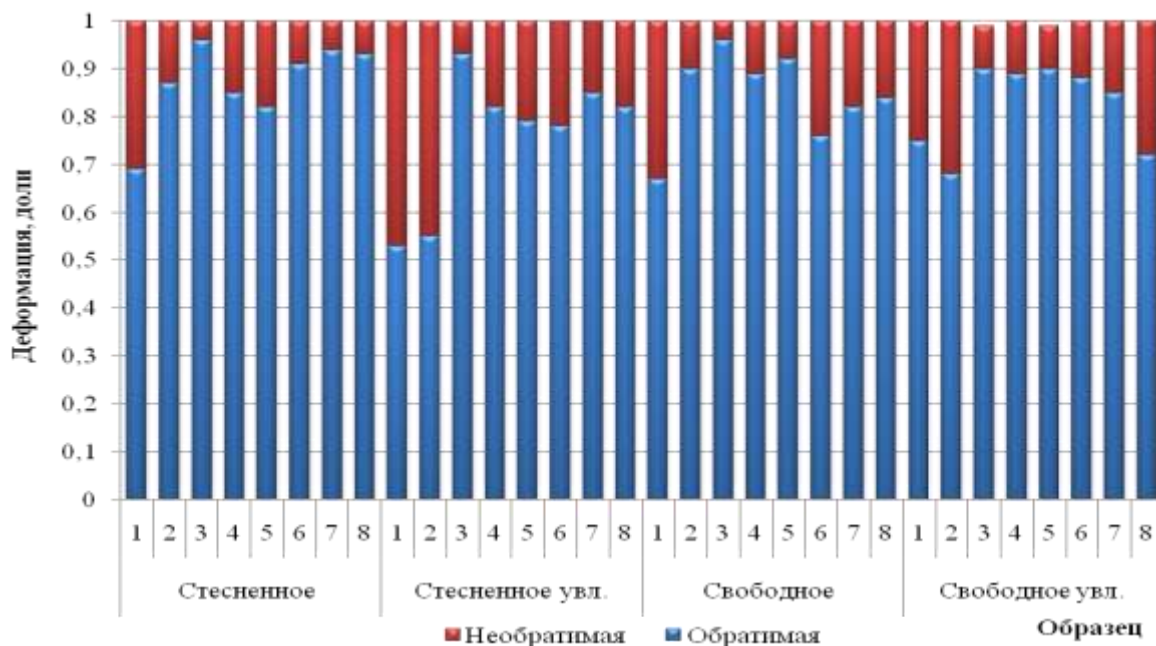


Рис. 4.7. Доли остаточной деформации после 100 циклов сжатия ($P = 1,5$ даН, $t_{\text{нагр}}/t_{\text{отд}} = 5/5$) в условиях циклического сжатия при воздействии влаги. Образцы материалов: полотно холстопршивное: 1 – полушерстяное, 2 – хлопчатобумажное; 3 – войлок; шерстипон: 4 – верблюжья шерсть, 5 – овечья шерсть; 6 – тинсулейт; 7 – синтепон; 8 – холлофайбер (см. табл. 2.1)

Анализ диаграммы на рис. 4.7 показывает, что после 100 циклов сжатия в стесненном состоянии увлажнение существенным образом влияет на значение деформации исследуемых объектов. Доля необратимой деформации – у хлопчатобумажного и полушерстяного ватинов (образец № 1, 2) при увлажнении возрастает на 35–39 %, это объясняется волокнистым составом и структурой данных материалов. У материалов из синтетических волокон (образцы № 6–8) доля необратимой деформации увеличивается на 25–30 %. Наименьшее влияние воздействия влаги на величину необратимой деформации наблюдается у образца № 3, что связано с более плотной структурой войлока, по сравнению с другими пробами.

В условиях свободного сжатия во влажном состоянии, у образцов из натуральных волокон (образцы № 1–5) доля необратимой деформации меньше на 15–29 %, чем в стесненном состоянии. Это объясняется условиями испытания.

В целом, после 100 циклов стесненного и свободного сжатия видно, что при воздействии влаги величина остаточной деформации возрастает, поэтому, если предполагается эксплуатация в районах с повышенной влажностью воздуха или обильных осадков, то следует более тщательно подходить к выбору материалов верха, так как они защищают объемные нетканые утеплители от воздействия влаги.

Результаты исследования деформации материалов в условиях циклического сжатия после 1-й и 2-й стирок представлены на диаграмме рис. 4.8.

Анализ результатов оценки деформации сжатия проб материалов № 1–8 после эксплуатационных воздействий (1-я, 2-я стирка) (рис. 4.8) показывает, что после второй стирки как при свободном, так и при стесненном сжатии доля необратимой деформации у образцов из синтетических волокон (образцы № 6–8) увеличивается на 19–28 %, у образцов из натуральных волокон (образцы № 1–5) на 10–20 %, это связано с тем, что у объемных нетканых полотен исходные непрочные межструктурные связи существенно изменяются при стирках. Результаты экспериментальных исследований показали, что на деформацию нетканых материалов влияет: воздействие внешних факторов (влаги и стирки); вида сжатия: стесненное или свободное.

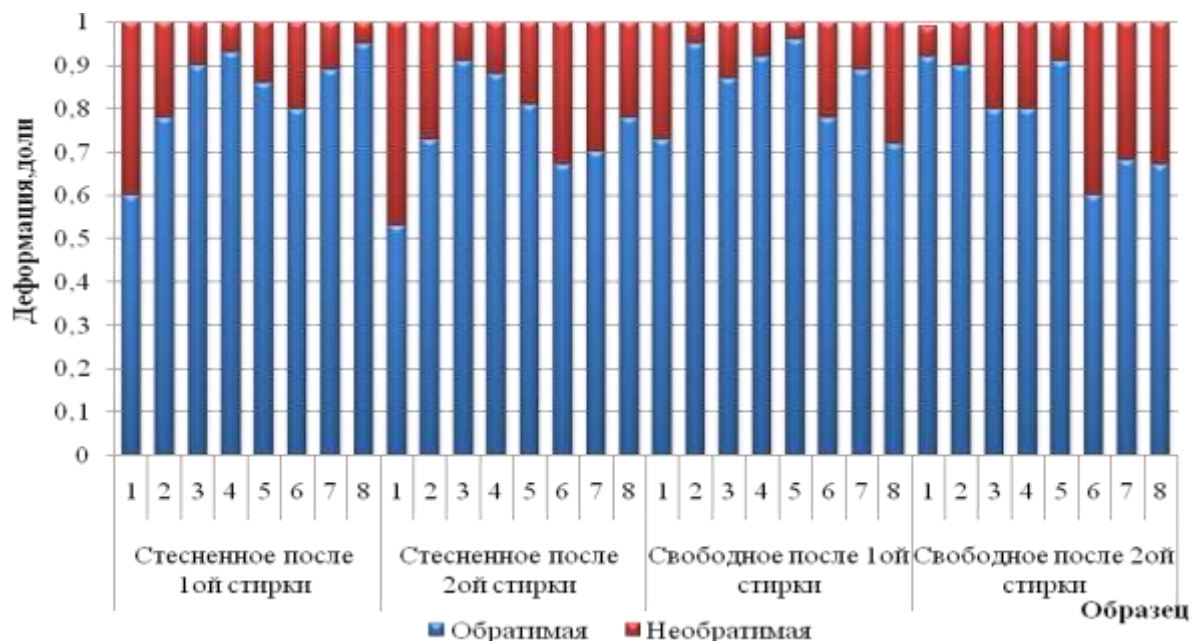


Рис. 4.8. Доли остаточной деформации после 100 циклов сжатия ($P = 1,5$ даН, $t_{\text{нагр}}/t_{\text{отд}}=5/5$) в условиях циклического сжатия после стирок.

Образцы материалов: полотно холстопршивное: 1 – полушерстяное, 2 – хлопчатобумажное; 3 – войлок; шерстипон: 4 – верблюжья шерсть, 5 – овечья шерсть; 6 – тинсулейт; 7 – синтепон; 8 – холлофайбер (см. табл. 2.1)

4.2.3. Экспериментальные исследования деформации систем материалов при воздействии циклического сжатия и влаги

В работе были исследованы закономерности изменения деформации пакетов нетканых материалов при воздействии циклического сжатия и внешних факторов (влаги, стирка), различных параметрах сжатия (стесненное, свободное сжатие). В качестве пакетов исследовались трехслойные и двухслойные комплексные материалы, скрепленные физико-химическим и механическим способом, характеристика пакетов материалов представлена в табл. 4.3, 4.4. Испытания образцов проводили при параметрах, указанных в п. 4.2.1 и 4.2.2 (см. приложение Г).

Характеристика материалов входящих в пакет

Утепляющий материал	Условное обозначение	Структура и волокнистый состав	Поверхностная плотность, г/м ²	Толщина, мм
Синтепон СК150/300	C ₁	Термоскрепленное полотно из волокон полиэфира	240	4,8
Синтепон СК150/300	C ₂	Термоскрепленное полотно из волокон полиэфира	100	1,2
Синтепон СК150/300	C ₃	Термоскрепленное полотно из волокон полиэфира	200	3,6
Подкладочный материал	T ₁	ВПэф полотняное переплетение	215	0,32
Подкладочный материал	T ₂	ВХл полотняное переплетение	210	0,29
Подкладочный материал	T ₃	ВХл – 50, Вис – 50 саржевое переплетение	105	0,13

Таблица 4.4

Характеристика пакетов нетканых утепляющих материалов

№ образца	Составляющие пакета	Условное обозначение пакета	Способ получения	Толщина, мм	Поверхностная плотность, г/м ²	Ширина, см
1	Синтепон, ткань верха	C ₁ T ₁	Термоскрепленный	5,2	245	140
2	Синтепон, ткань верха	C ₁ T ₂	Термоскрепленный	5,1	243	140
3	Ткань верха, синтепон,	T ₃ C ₂ T ₃	Сварной	1,5	115	140

	ткань верха					
4	Синтепон, ткань верха	C ₃ T ₁	Прошивной	4,0	210	140

Анализ результатов после 100 циклов сжатия пакетов материалов (рис. 4.9) показал, что в условиях свободного сжатия систем материалов доля необратимой деформации изменяется незначительно, кроме образцов № 3, 4 (30 – 40 %) увеличение доли необратимой деформации данных пакетов материалов возможно вследствие потери прочности сварных соединений при увлажнении, что наглядно представлено на рис. 4.9, однако при увлажнении в условиях стесненного сжатия доля необратимой деформации данных образцов увеличивается на 15-25 % по сравнению с аналогичными результатами в условиях свободного сжатия, это объясняется условиями испытаний.

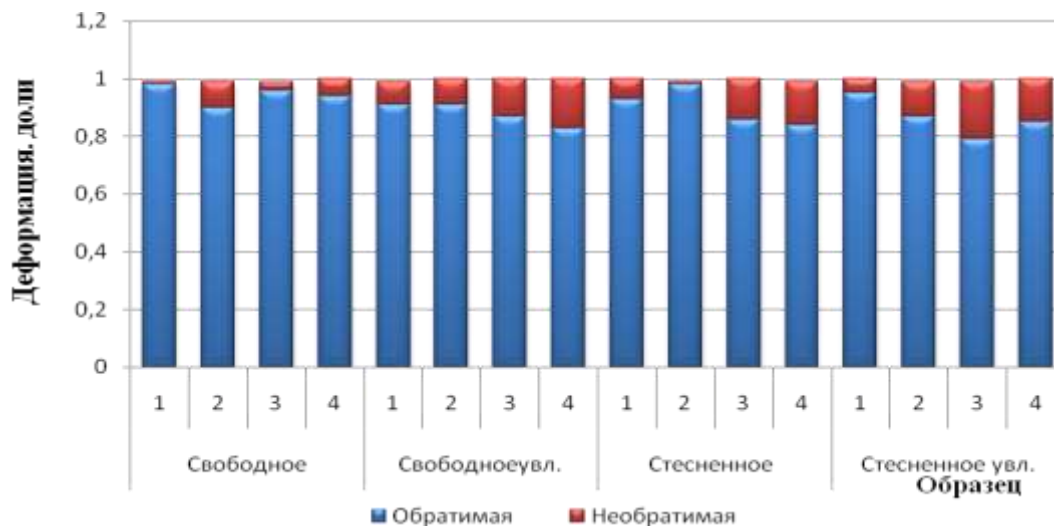


Рис. 4.9. Доли остаточной деформации после 100 циклов сжатия

($P = 1,5$ даН, $t_{\text{нагр}}/t_{\text{отд}} = 5/5$) в условиях циклического сжатия.

Образцы материалов: 1 – система материалов № 1, 2 – система материалов № 2, 3 – система материалов № 3, 4 – система материалов № 4 (см. табл. 4.6)

При сравнительном анализе пакетов нетканых полотен (рис. 4.10) видно, что после второй стирки в условиях стесненного сжатия доля необратимой деформации существенным образом возрастает у образцов № 3, 4 (30 – 40 %), это объясняется структурой и волокнистым составом данных образцов. После 2-ой стирки в условиях стесненного сжатия у образцов № 2, 3 более высокие упругие свойства по сравнению с аналогичными результатами в условиях свободного сжатия, что связано с особенностями строения синтетических волокон, входящих в волокнистую смесь.

Анализ результатов экспериментальных исследований показал, что компоненты полной деформации материалов – обратимая и необратимая – существенным образом зависят от комплекса факторов. Таким образом, деформация материалов в условиях циклического сжатия зависит от многих факторов: величины давления, количества циклов сжатия, климатических условий (влажность, тепло), вида сжатия (стесненное, свободное),

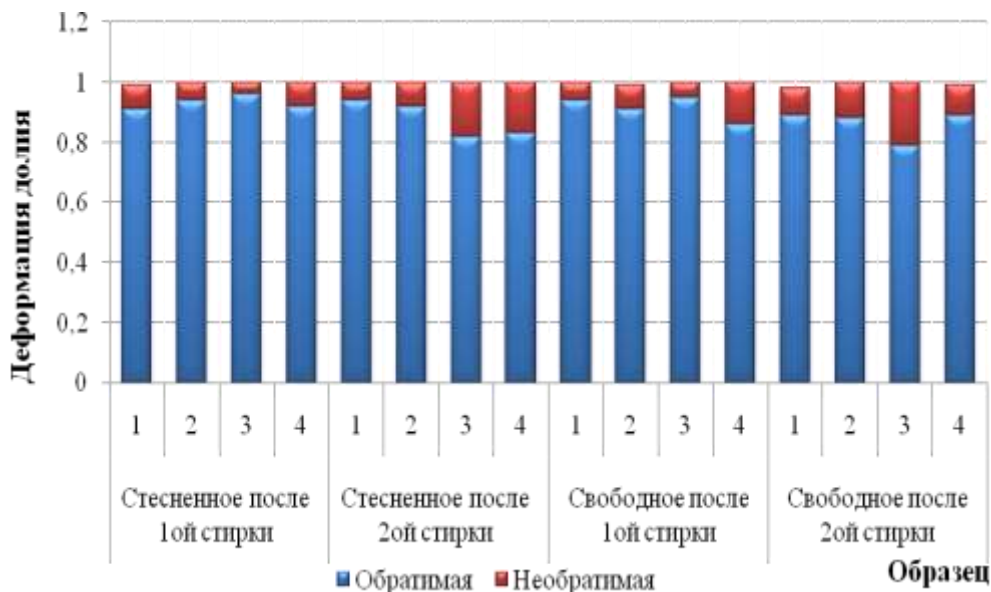


Рис. 4.10. Доли остаточной деформации после 100 циклов сжатия ($P = 1,5$ даН, $t_{нагр}/t_{отд} = 5/5$) в условиях циклического сжатия.

Образцы материалов: 1 – система материалов № 1, 2 – система материалов № 2, 3 – система материалов № 3, 4 – система материалов № 4 (см. табл. 4.6)

4.3. Исследование влияния деформации объемных нетканых материалов при циклическом сжатии на теплофизические свойства материалов

Способность материалов обеспечивать теплозащитные свойства одежды в эксплуатации определяется тепловым сопротивлением и рядом других показателей. В известных теоретических и экспериментальных исследованиях установлено, что тепловое сопротивление существенным образом зависит от толщины материалов [9].

Для обеспечения теплозащитных свойств одежды используются в основном объемные нетканые материалы различной структуры и способа получения. Изменение теплофизических свойств указанных материалов в производстве и эксплуатации одежды в основном обусловлено изменением их толщины при воздействии внешних циклических сжимающих усилий [83].

Испытания проб материалов в условиях циклического сжатия проводились на разработанном приборе [115]; оценка теплового сопротивления тестируемых материалов после циклического сжатия на – приборе ПТС-225, в соответствии с ГОСТ 20489-75 «Материалы для одежды. Метод определения суммарного теплового сопротивления» и расчетным способом [10] по формуле

$$R=h/\lambda \quad (4.17)$$

где λ – эффективный коэффициент теплопроводности материала, Вт/(м К);

h – толщина материала, м.

Коэффициент теплопроводности различных текстильных материалов изменяется в диапазоне 0,033 до 0,070 Вт/(мл) [10].

Для исследования влияния многоциклового сжатия на теплофизические свойства утепляющих прокладочных материалов, были выбраны нетканые утепляющие материалы, широко применяемые в производстве одежды осенне-весеннего и зимнего сезонов носки разного назначения (характеристика которых представлена в гл. 2, табл. 2.1). По результатам оценки толщины

объектов после 100, 200, 200, 300, 400 циклов сжатия (приложение К, табл. К1) определили тепловое сопротивление материалов на приборе ПТС-225 и расчетным способом [63, 36]. Результаты представлены на диаграмме рис. 4.15 и занесены в табл. 4.5.

Таблица 4.5

Теплофизические свойства материалов после циклического сжатия

Материал	Тепловое сопротивление, м ² К/Вт				
	период, циклы				
	0	100	200	300	400
Полотно нетканое холстопршивное арт. 927622	0,143	0,115	0,104	0,099	0,096
Шерстипон (Вверблюжья шерсть – 60 %)	0,285	0,241	0,220	0,208	0,208
Синтепон СК150/300	0,199	0,163	0,160	0,155	0,155
Тинсулейт Р 150	0,303	0,261	0,253	0,240	0,237
Показатели теплового сопротивления материалов после циклического сжатия (на приборе ПТС-225)					
Полотно нетканое холстопршивное арт. 927622	0,119	0,100	0,090	0,083	0,083
Шерстипон (верблюжья шерсть – 60 %)	0,314	0,266	0,240	0,228	0,220
Синтепон СК150/300	0,153	0,140	0,133	0,128	0,125
Тинсулейт Р 150	0,294	0,240	0,240	0,238	0,234

Данные табл. 4.5 показывают, что наибольшее изменение теплового сопротивления после 400 циклов сжатия наблюдается у ватина и шерстипона (27 – 32 %), у высокообъемных термоскрепленных образцов материалов (синтепон, тинсулейт) тепловое сопротивление после 400 циклов сжатия изменяется меньше (18 – 22 %) это объясняется волокнистым составом, плотностью и высокой пористостью данных объемных термоскрепленных материалов.

Из графика (рис. 4.11) видно, что после 100 циклов происходит наибольшее изменение теплофизических свойств, затем процесс стабилизируется.

Сравнительный анализ данных на диаграмме рис.4.11 показал согласованность результатов, полученных на приборе ПТС-225 и по уравнению (4.17), относительная погрешность – не более 10...12 %.

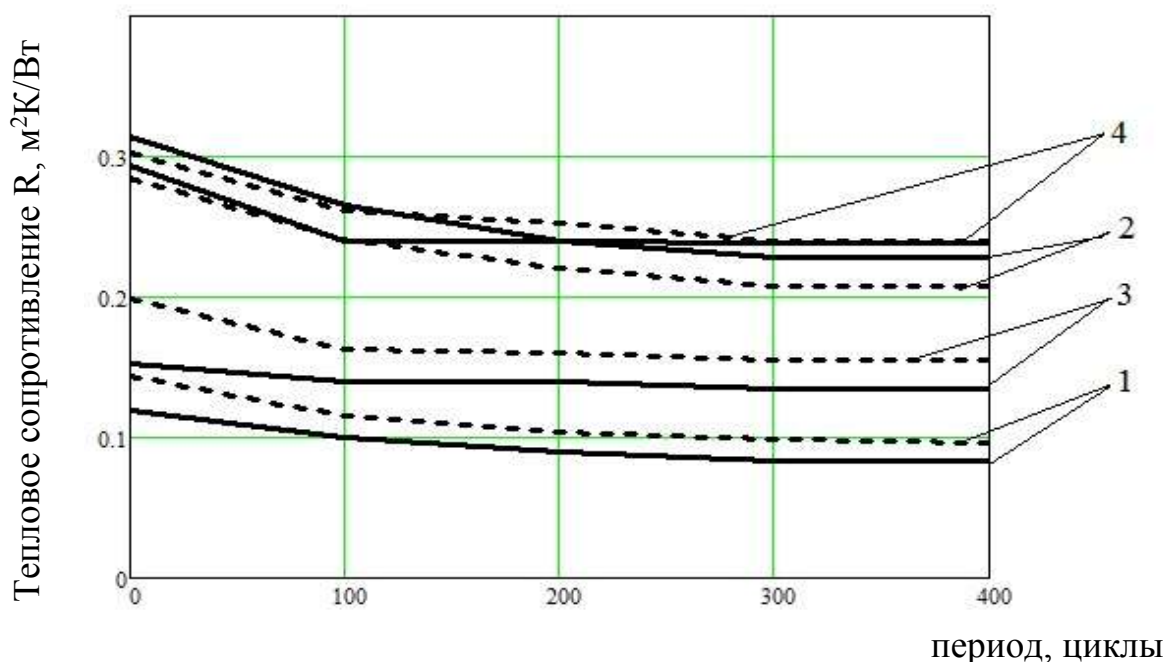


Рис. 4.11. Зависимость теплового сопротивления от толщины, сплошной и пунктирной линией обозначены соответственно результаты оценки теплового сопротивления на приборе ПТС-225 и по формуле (4.17).

Образцы материалов: 1 – тинсулейт, 2 – шерстипон, 3 – синтепон, 4 – ватин

Из экспериментальных данных видно, что уменьшение толщины исследуемых объектов приводит к снижению теплового сопротивления. Недооценка влияния изменения толщины материалов на теплофизические свойства приводит к искажению реальной величины теплового сопротивления утепляющих нетканых материалов при эксплуатации [64]. Применяемые нетканые материалы для утепляющей одежды должны обладать достаточно высокими упругими свойствами при сжатии. При проектировании теплозащитной одежды следует выбирать технологические операции с учетом влияния сжимающих воздействий (применять минимальное количество швов, применение клеевых или сварочных методов соединения).

Так как одежда представляет собой некий барьер между человеком и окружающей средой, то большое внимание уделяется эргономическим показателям качества. Обеспечение наименьшего физиологического напряжения и комфортности одежды достигается за счет постоянства параметров независимо от внешних и внутренних условий. В данном случае речь идет о микроклимате пододежного пространства. Поддержание требуемых параметров обеспечивается применяемыми материалами и конструкцией изделия. Суммарное тепловое сопротивление определяет теплозащитные свойства материалов при эксплуатации. Несмотря на то, что отсутствуют конкретные нормативные данные по тепловому сопротивлению одежды, можно с уверенностью сказать, что снижение значений теплового сопротивления влечет за собой снижение комфортности изделий.

Выводы по четвертой главе

1. Разработан новый метод и устройство для определения деформации текстильных материалов при сжатии, позволяющий в автоматическом режиме задавать параметры испытаний, измерять условные составляющие деформации проб (патент № 144579 U1, МПК G01N 3/08).

2. Установлены оптимальные параметры многоциклового циклического сжатия нетканых материалов, обеспечивающие объективную оценку деформационных характеристик при эксплуатации и производстве.

3. Преимущество разработанного метода сжатия не только в автоматическом режиме реализации испытаний, измерений с помощью фотодатчиков, а также в возможности оценки исходных и конечных значений толщины в одинаковых условиях, что является особенно важным для материалов швейной отрасли, в реализации разных условий сжатия: стесненное или свободное; в разных климатических условиях (влага, тепло); применение различных по форме съемных наконечников индентора.

4. Указанные достоинства обеспечивают с одной стороны объективность и точность измерения показателей, с другой – позволяют изучать сжимаемость и оценивать динамику изменения данного показателя при различных задаваемых внешних факторах, тем самым существенно расширять научные знания о свойствах объемных материалов для одежды.

5. Анализ результатов экспериментальных исследований показал, что свойства нетканых материалов и пакетов из них при сжатии изменяются неоднозначно, зависят от следующих факторов: волокнистого состава, структуры входящих в пакет материалов, параметров деформирования. Кроме того, поведение пакетов из нетканых материалов зависит от образуемых или изменяющимися при сжатии внешними связями между структурными элементами материалов и их систем.

6. Экспериментально доказано, что воздействие многоцикловых сжимающих усилий приводит к потере теплофизических свойств нетканых объемных утеплителей.

Глава 5. РАЗРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ДЕФОРМАЦИИ ОБЪЕМНЫХ НЕТКАНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ОДЕЖДЫ В УСЛОВИЯХ ЦИКЛИЧЕСКОГО СЖАТИЯ

Для улучшения качества оценки показателей свойств объемных нетканых материалов необходимы методы и средства комплексной оценки характеристик деформации в условиях циклического сжатия [53, 57]. В настоящее время в основном применяются методы и средства предназначенные для тканей и вязанных полотен [см. гл.1, п.п. 1.4]. Указанное выше существенно снижает качество и объективность оценки свойств нетканых полотен.

Наиболее перспективны и значимы методики оценки показателей качества материалов в условиях циклического сжатия, позволяющие моделировать воздействие различных внешних факторов производства и эксплуатации. На основе закономерностей изменения свойств исследуемых объектов при сжатии разработана методика прогнозирования показателей сжимаемости нетканых материалов. Методика на базе разработанного устройства [115] позволяет реализовать комплексный подход к оценке характеристик деформации полотен в условиях циклического сжатия.

Разработаны количественные градации объемных нетканых материалов по показателям сжимаемости, позволяющие обеспечить рациональную переработку материалов в качественные швейные изделия с заданными свойствами.

5.1. Выбор показателей сжимаемости для оценки деформации материалов

Во время эксплуатации изделия испытывают внешнее силовое давление, приводящее к сжатию материалов. Применяющиеся в изделиях осеннего и зимнего ассортимента утепляющие нетканые материалы при воздействии внешнего силового давления изменяют толщину. Многократное сжатие

материалов может сопровождаться накоплением в них остаточных деформаций. Наиболее интенсивное изменение первоначальной толщины материалов наблюдается в течение первых 50 дней эксплуатации изделия [42]. Для объективной оценки прогнозирования поведения объемных нетканых материалов в условиях производства и эксплуатации необходимы такие показатели, которые бы объективно отражали свойства материалов при многоцикловом сжатии.

В работе [88] показано, что косвенные показатели свойств, при действии сжимающих усилий (твердость, предел прочности), методы и средства их определения пригодны в основном твердых, монолитных материалов и не могут объективно отражать изменение деформации объемных нетканых материалов.

Основным показателем свойств объемных нетканых материалов при циклическом сжатии является деформация, для её измерения необходимы показатели толщины материалов до и после сжатия.

Деформация сжатия – возникает в материале при воздействии внешнего силового давления, направленного перпендикулярно к материалу и состоит из трех частей: быстрообратимая (условно упругая), медленнообратимая (условно эластическая) и остаточная (условно пластическая). Быстрообратимую и медленнообратимую части деформации объединяют под общим названием обратимая [88]. Обратимая часть полной деформации изменяется во времени и обусловлена обратимыми изменениями связей, накапливаемыми во времени [66]. Обратимая часть полной деформации характеризует способность материалов восстанавливать форму после сжимающих воздействий.

Остаточная деформация появляется в материале в следствии необратимых изменений связей. Остаточная (необратимая) деформация прогнозирует показатели надежности готовых изделий (изменение геометрических размеров), а также показатели теплофизических свойств [88].

Величина деформации объемных нетканых материалов и пакетов из них зависит от действующей силы и упругих свойств волокон входящих в состав полотна.

Как уже отмечалось, деформации сжатия зависит от величины изменения толщины материалов до и после воздействия сжимающих усилий и характеризуется показателями сжимаемости.

Сжимаемость – изменение геометрических свойств (толщина) при действии внешнего силового давления. Характеризуется разностью между толщиной до сжатия и толщиной после воздействия сжимающих усилий. Обратным свойством сжимаемости является – упругость, т.е. способность материала сопротивляться сжимающей нагрузке. Упругость, в свою очередь, обеспечивает формоустойчивость и теплозащитные свойства.

Полную деформацию и остаточную можно характеризовать сжимаемостью и упругостью соответственно.

Показатели сжимаемости материалов при сжатии позволяют адекватно отражают поведение материалов в результате воздействия сжимающих усилий.

5.2. Сравнительный анализ деформации материалов при циклическом сжатии в лабораторных условиях и при эксплуатации изделий

Для оценки достоверности экспериментальных данных (см. гл. 4, п 4.2) необходимо установить соответствие полученных значений деформации реальному поведению материалов после эксплуатации.

В процессе эксплуатации нетканые материалы подвергаются внешним механическим воздействиям, величина которых не превышает 5 – 10 % от разрушающих.

Топография распределения нагрузок и деформаций в верхней одежде неравномерна. Во время эксплуатации данных изделий наибольшее изменение толщины при воздействии сжимающих усилий наблюдается в верхних частях

спинки, деталей переда и на участках плотного прилегания изделия к фигуре человека [42]. Небольшие по величине (10 – 20 % от предельных значений), но циклически повторяющиеся, внешние силовые воздействия могут приводить к возникновению остаточных деформаций на этих участках.

Для исследования поведения в эксплуатации утепляющих прокладочных материалов была изготовлена опытная партия женских утепляющих курток полуприлегающего силуэта 44 - 46 размера, включающая 8 изделий. Данный объем партии изделий обусловлен трудностями организации и высокой стоимостью изготовления изделий. Эксплуатация изделий проводилась в течение 8-ми месяцев, что составляет 2 осенне-весенних сезона в Уральском федеральном округе, группой студентов кафедры «Проектирование и технология изделий сервиса» филиала ФГБОУ ВПО «ЮУрГУ» (НИУ) в г. Златоусте в соответствии с методикой [95]. Студентам были выданы куртки, изготовленные с применением объемного нетканого материала. Периодически у студентов изымалось по два изделия, производился осмотр и измерение толщины. Опытная партия подвергалась регулярному осмотру и уходу в соответствии с инструкцией по эксплуатации изделий из применяемых материалов: основной – плащевая ткань с гидрофобной пропиткой (артикул 3279), утепляющий – объемный утеплитель (синтепон) (артикул СК 150/300), подкладка – ткань шелковая, артикул 32014. Характеристика материалов, составляющих пакет изделия при эксплуатации, представлена в табл. 5.1. Для измерения толщины материала из партии изделий изымалось по два изделия через каждые 2, 4, 6, 8 месяцев носки. Далее готовились пробы материала для испытания, полученные на различных топографических участках изделия (локоть, плечо, верхняя часть спинки и полочки). За окончательный результат измерения толщины материала после эксплуатации принимали среднее значение данного показателя по всем топографическим участкам.

Изменение толщины фиксировалось в специальных картах наблюдений. Остаточная деформация выбрана критерием прогнозирования показателей качества при эксплуатации изделий. Для измерения остаточной деформации

изделия выбран верхний участок деталей переда и спинки, которые в носке подвергаются наибольшей деформации.

Таблица 5.1

Характеристика материалов пакета изделия для эксплуатационной носки

Название материала	Волокнистый состав, %	Толщина, мм	Поверхностная плотность, г/м ²	Условное обозначение
Синтепон арт. СК150/300	ВПэф-100	7,7	130,0	С1
Ткань плащевая	Вхл-40 ВПэф-60	0,45	104	Т1
Ткань подкладочная	НВис-100	0,10	75	Т2
Пакет	ВПэф НВис Вхл	8,4	320	Т1С1Т2

Остаточную деформацию $\varepsilon_{\text{ост}}$ пакета материалов после эксплуатации определяли путем линейного измерения как разность между толщиной до носки h_0 и толщиной того же участка после носки h_1 (см. Приложение К, табл. К2). Остаточную деформацию определяли как среднюю по измерениям 5 участков (см. табл. 5.2) по формуле

$$\varepsilon_{\text{ост}} = (h_0 - h_1) / h_0, \quad (5.1)$$

где h_0 , h_1 – толщина пакета до эксплуатации и после эксплуатации соответственно, мм.

Остаточную деформацию $\Delta h_{\text{ост}}$ пакета материалов после многоциклового сжатия на разработанном устройстве определяли по формуле

$$\Delta h_{\text{ост}} = (\delta_0 - \delta_{\text{ц}}) / \delta_0, \quad (5.2)$$

где δ_0 , $\delta_{\text{ц}}$ – толщина пробы до циклов сжатия, после циклического сжатия и отдыха соответственно, мм.

Далее исследовали пакет материалов (см. табл. 5.1) в лабораторных условиях. Подготовка проб и проведение испытаний проходили согласно ГОСТ 13587-77 [29]. Относительная ошибка опытов составила – 8...12 %, коэффициент корреляции составил 0,72... 0,84 (Приложение К). Параметры и

условия сжатия: D индентора = 30 мм, d пробы = 25 мм; время нагружения/отдыха в цикле сжатия соответственно 5 с., период нагружения – 100...400 циклов.

Результаты оценки деформации материалов в условиях циклического сжатия после лабораторных испытаний и эксплуатации представлены в табл. 5.2.

Таблица 5.2

Деформация пакета материалов после циклического сжатия

Материал	Остаточная деформация $\varepsilon_{ост}$ (%)			
	Количество циклов сжатия, n			
после лабораторных испытаний				
Пакет №1 (табл. 5.2)	100	200	300	400
	10,12	14,41	18,19	22,22
после эксплуатации				
Пакет №1 (табл. 5.2)	период, месяцы			
	2	4	6	8
	13,74	19,51	25,35	28,64

Анализ результатов показал, что наибольшее увеличение остаточной деформации материалов пакета изделия происходит в первые 50 - 60 дней носки, затем процесс накопления остаточной деформации замедляется. Изменение остаточной деформации материалов при эксплуатации изделий наглядно показана на графике (рис. 5.1).

При помощи экстраполяции экспериментальных данных были получены уравнения изменения величины необратимой деформации во время эксплуатации и при лабораторных испытаниях (рис. 5.1, табл. 5.3.).

Таблица 5.3

Аналитические уравнения остаточной деформации при эксплуатации (носки) и лабораторных испытаниях

Материал	Эксплуатационная носка	R^2	Лабораторные испытания	R^2
Пакет №1 (табл. 5.2)	$y_1 = 11,54e^{0,117x}$	0,958	$y_2 = 11,73e^{0,441x}$	0,981

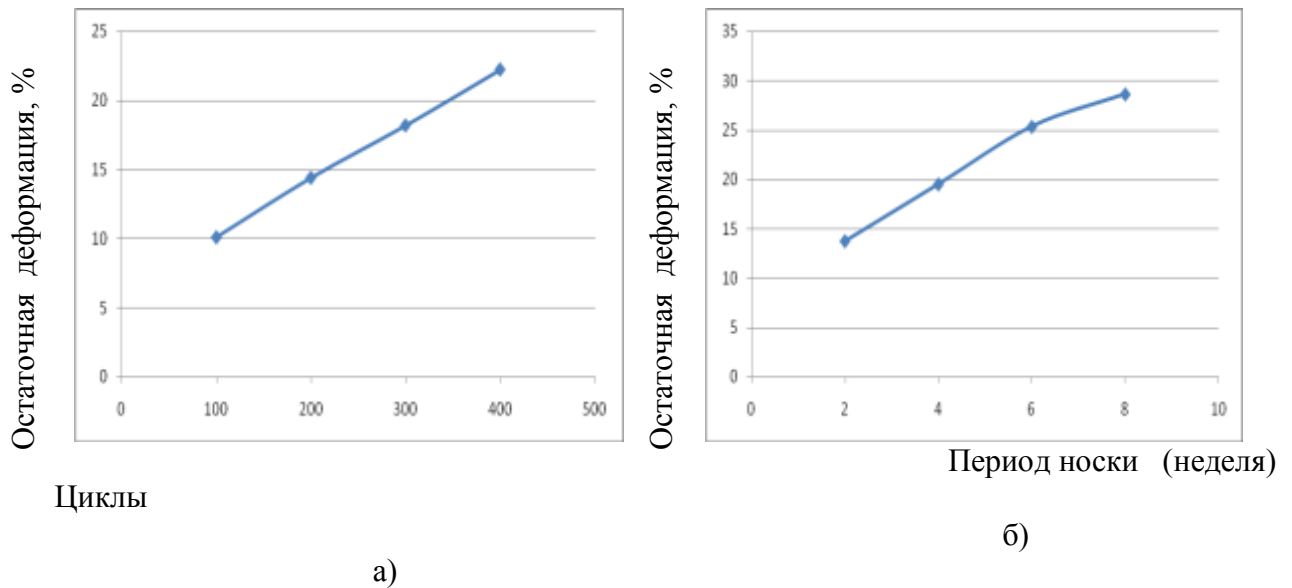


Рис. 5.1 Остаточная деформация пакета материалов при циклическом сжатии (а) и эксплуатации (б).

Приравнивая уравнения y_1 и y_2 (табл. 5.3), логарифмируя их, выразили связь между днями носки и циклами испытания образцов на приборе:

$$11,54 e^{0,117x_{\text{дни}}} = 11,73 e^{0,441x_{\text{циклы}}}$$

$$\ln(e^{0,117x_{\text{дни}}}) = \ln(e^{0,441x_{\text{циклы}}}),$$

$$x_{\text{дни}} = 14,7 x_{\text{циклы}}.$$

Для прогнозирования деформации при эксплуатации можно принять величину коэффициента подобия, равную 15. Для определения периода эксплуатации изделий до заданной остаточной деформации необходимо количество циклов испытания на приборе разделить на 15. Таким образом, методика оценки деформации в условиях циклического сжатия позволяет прогнозировать изменение деформации изделий в период эксплуатации и важнейшие качественные характеристики (формостабильность, теплозащитные свойства).

5.3. Разработка методики прогнозирования деформации объемных нетканых материалов для рационального подбора пакетов материалов для одежды

Задача данного раздела работы заключалась в разработке методики прогнозирования деформации объемных нетканых материалов, обеспечивающих возможность проведения испытаний, приближенных к реальным условиям основных этапов жизненного цикла материалов, а именно: производственным и эксплуатационным.

Преимущество разработанного устройства для реализации циклического сжатия не только в автоматическом режиме реализации испытаний, измерений с помощью фотодатчиков, но также в возможности оценки деформации при различных условиях сжатия (стесненное или свободное) и внешней среды (влаги, тепло), применении отличающихся по форме съемных наконечников индентора. Указанные достоинства обеспечивают с одной стороны объективность и точность измерения показателей, с другой – позволяют изучать сжимаемость и оценивать динамику изменения данного показателя при различных задаваемых внешних факторах.

Разработана методика комплексной оценки показателей свойств объемных нетканых материалов для прогнозирования их поведения в условиях производства и эксплуатации. Сущность методики заключается в использовании показателей, характеризующих деформацию нетканых материалов в условиях циклического сжатия: предельная сжимаемость, циклическая сжимаемость, показатели сжимаемости (технологичности).

Предельную сжимаемость материала C , мм, в условиях циклического сжатия можно определить из формулы

$$C = L_0 - L_{сж} = h_{сж}, \quad (5.2)$$

где L_0 – толщина пробы до сжатия, мм;

$L_{сж}$ – толщина пробы под воздействием циклической нагрузки, мм;

$h_{сж}$ – величина максимального продавливания материала, мм.

Учитывая релаксационный характер изменения толщины во время нагрузки и отдыха, более объективной характеристикой сжимаемости, на наш взгляд, будет циклическая (остаточная) сжимаемость материала, определяемая в период отдыха пробы после циклов сжатия (при установлении релаксационного равновесия). В главе 4 экспериментально установлено, что период релаксационного равновесия (то есть период, после которого продолжение циклов сжатия не приводит к существенному изменению остаточной деформации материала) составляет 100 циклов сжатия.

Циклическая сжимаемость C_u определялась после 100 циклов стесненного сжатия величиной (обратимой) остаточной деформации (%) (см. пп. 4.1.3, формула 4.17) или толщиной пробы (мм) по формуле

$$C_u = L_0 - L_u = h_i, \quad (5.3)$$

где L_0 – толщина пробы до сжатия, мм;

L_u – толщина материала после воздействия периода сжатия, мм;

h_i – последнее измерение величины деформации сжатия пробы в период отдыха, мм.

Характеризует свойства материалов для одежды при циклическом сжатии и прогнозирует показатели надежности (изменение размеров), теплофизических свойств изделий, рассчитанные значения данного показателя представлены в табл. 5.4.

Показатели сжимаемости C_1 и C_2 характеризуют технологические свойства материалов и позволяют выбирать наиболее оптимальные методы обработки деталей и узлов изделия (отлетная или неотлетная подкладка, увлажнение и т.д.), а также способы ухода за изделиями при эксплуатации.

Показатели сжимаемости C_1 и C_2 , определяются толщиной пробы при небольшом количестве (до 10) циклов в условиях свободного и стесненного сжатия или в кондиционном и влажном состоянии [88].

В качестве базового показателя сжимаемости берется показатель C_1 который рассчитывается по полученным экспериментальным данным

исследования деформации в условиях циклического свободного сжатия в кондиционных условиях (см. гл. 4):

$$C_1 = 100 (\delta_0 - \delta_{сж}) / \delta_0, \quad (5.4)$$

где $\delta_0, \delta_{сж}$ – толщина пробы до сжатия, при сжатии соответственно, мм.

Показатель сжимаемости C_2 сравнивается с базовым показателем C_1 и в зависимости от технологических операций формования, прессования, выбора конструкции изделия, условий обработки определяется по формуле (5.4) по результатам испытания проб в кондиционном или влажном состояниях, стесненного или свободного сжатия соответственно.

Для градации материалов по показателям сжимаемости и удобства прогнозирования их свойств предложен коэффициент начальной ($K_{сж}$) сжимаемости:

$$K_{сж} = C_2 / C_1. \quad (5.5)$$

Кроме того, можно оценивать показатели сжимаемости C_1 и C_2 , сочетая и комбинируя условия испытаний предложить рекомендации, которые учитывались бы при выборе технологических операций, методов обработок, конструктивных решений для конкретных моделей изделий.

Коэффициент начальной сжимаемости $K_{сж}$ и показатель циклической (остаточной) сжимаемости $C_{ц}$ позволяют комплексно прогнозировать поведение объемных нетканых материалов при производстве и эксплуатации.

Пример результатов показателей сжимаемости группы исследуемых объектов в кондиционном состоянии в условиях стесненного и свободного сжатия соответственно представлены в табл. 5.4.

Таблица 5.4

Показатели сжимаемости материалов

Материал	Условия сжатия (10 циклов)		Коэффициент начальной сжимаемости и $K_{сж}$	Показатель циклической сжимаемости (после 100 циклов сжатия), % $C_{ц}$
	Свободное	Стесненное		
	$C_1, \%$	$C_2, \%$		
1	41,0	56,0	1,32	19,6

2	21,0	31,0	1,4	15,5
3	28,0	21,0	0,74	10,3
4	22,0	23,0	1,06	23,1
5	21,0	22,0	1,03	27,3
6	32,0	27,0	0,79	20,3
7	42,0	16,0	0,42	24,5
8	22,0	10,0	0,60	27,3

Анализ результатов таблицы 5.4. показал, что пробы материалов обладают лучшей восстанавливаемостью в условиях стесненного сжатия при значении $K_{сж} < 1$, в условиях свободного сжатия при значении $K_{сж} > 1$, следовательно основываясь на значении показателя $K_{сж}$, можно давать рекомендации по выбору технологических обработок (отлетная или не отлетная подкладка, конструктивные решения).

Сравнительная оценка величины $K_{сж}$ для исследованных проб материалов показала, что у образцов № 1, 2, 4, 5 значение данного показателя составило от 1,0...1,5, это объясняется упругими свойствами натуральных волокон, входящих в состав образцов и их лучшей восстанавливаемостью в условиях свободного сжатия. Для данных образцов рекомендуется выбирать прямой, свободный силуэт, небольшое количество конструктивных членений, подкладка отлетная. Для образцов № 3, 6-8 величина $K_{сж}$ составила от 0,4...0,8, что объясняется упругими свойствами синтетических волокон, входящих в состав образцов и их лучшей восстанавливаемостью в условиях стесненного сжатия. Следовательно, для образцов № 3, 6-8 рекомендуется выбирать полуприлегающий прямой силуэт малого, среднего объема, простегивание, неотлетной подклад.

Показатель циклической сжимаемости $C_{ц}$, позволяет прогнозировать качество готового изделия, а также прогнозировать показатели надежности изделий (изменение размеров, внешнего вида).

На основе разработанной методики по показателю циклической сжимаемости $C_{ц}$, установлена градация исследованных утепляющих нетканых материалов по группам сжимаемости (табл. 5.5).

Группы сжимаемости исследуемых объектов

Показатель	Группа сжимаемости	
	1 – средняя (нетканые полотна, скрепленные механическим способом)	2 – высокая (нетканые полотна, полученные, физико-химическим способом)
Циклическая (остаточная) сжимаемость после 100 циклов сжатия $S_c, \%$	10...20	Более 20
Образцы материалов	1, 2, 3 (холстопршивные, иглопробивные, валяльные)	4, 5, 6, 7,8 (Синтепон, холофайбер, тинсулейт, шерстипон)

На основе групп сжимаемости материалов разработаны рекомендации для рационального выбора материалов швейного производства верхней одежды (см. табл. 5.6).

Применение методики позволило разработать практические рекомендации по проектированию конкретных моделей изделия (силуэтные варианты); определить рациональные способы выполнения технологических операций и прогнозировать условия ухода и эксплуатации готовых изделий.

Таблица 5.6

Рекомендации по практическому применению исследуемых материалов

Группа сжимаемости	Рекомендации по выбору		
	материалов	формы. силуэта	способа ухода и хранения
1	В качестве утепляющего материала для мужских и женских п/пальто	Полуприлегающий прямой силуэт малого, среднего объема, подкладка отлетная	Хим. чистка, хранение и сушка в расправленном виде
2	В качестве утепл. материала мужских	Полуприлегающий прямой силуэт	Хим. чистка, хранение и сушка в

	и женских курток, комбинезонов, жилетов	малого, среднего объема, простегивание, подкладка не отлетная	расправленном виде
--	---	---	--------------------

Выводы по пятой главе

1. Экспериментально-аналитически установлена достаточно тесная связь характера (кинетики) изменения деформации исследованных объектов при эксплуатации изделий и в лабораторных условиях при циклическом сжатии материалов, коэффициент корреляции составил 0,72... 0,84. Методом экстраполяции экспериментальных данных найдены функциональные зависимости, описывающие изменение деформации исследованных объектов в эксплуатационной носке и в лабораторных условиях при циклическом сжатии. Установлен коэффициент подобия между периодами носки изделий и циклами сжатия в лабораторных условиях, значение которого составляет 15.

2. Предложен комплекс показателей сжимаемости материалов, характеризующих деформацию материалов при эксплуатации и производстве: циклическая сжимаемость, показатели сжимаемости (технологичности), коэффициент начальной. Разработана методика оценки указанных показателей при циклическом сжатии на разработанном устройстве.

3. Разработана новая методика комплексной оценки показателей сжимаемости нетканых утепляющих материалов для прогнозирования их поведения при производстве и эксплуатации одежды. На основе экспериментальных исследований деформации объектов в условиях циклического сжатия разработана градация утепляющих нетканых объемных материалов на две группы сжимаемости (1 – средняя, 2 – высокая).

4. Разработаны практические рекомендации для швейного производства по рациональному выбору объемных утепляющих нетканых материалов в пакет изделия, технологической обработке, условиям эксплуатации одежды.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

1. На основе анализа и систематизации информации выявлено отсутствие стандартных унифицированных методов оценки деформации нетканых материалов в условиях циклического сжатия, что затрудняет рациональный выбор материалов в пакет одежды.

2. Предложена математическая модель деформации объемных нетканых материалов при циклическом сжатии, позволяющая прогнозировать параметры производства и эксплуатации нетканых материалов, при которых материалы остаются в упругом состоянии.

3. Разработано новое устройство для исследования деформации нетканых материалов, позволяет создавать условия сжатия, соответствующие условиям при производстве и эксплуатации одежды, обеспечивающее достоверность результатов оценки деформации нетканых материалов и пакетов материалов для изделий.

4. Разработан новый метод определения составляющих полной деформации нетканых материалов при циклическом сжатии. Погрешность между расчетными и экспериментальными значениями деформации изменяется в пределах 5–18,0 %, что говорит о достаточном соответствии теоретических расчетов экспериментальным данным.

5. Разработана новая методика комплексной оценки показателей сжимаемости нетканых утепляющих материалов для прогнозирования их поведения при производстве и эксплуатации одежды. На основе экспериментальных исследований деформации объектов в условиях циклического сжатия разработана градация утепляющих нетканых объемных материалов на две группы сжимаемости (1 – средняя, 2 – высокая).

6. Разработаны практические рекомендации для швейного производства по рациональному выбору объемных утепляющих нетканых материалов в пакет изделия, технологической обработке, условиям эксплуатации одежды.

7. Экспериментально-аналитически установлена достаточно тесная связь характера (кинетики) изменения деформации исследованных объектов при

эксплуатации изделий и в лабораторных условиях при циклическом сжатии материалов, коэффициент корреляции составил 0,72... 0,84. Методом экстраполяции экспериментальных данных найдены функциональные зависимости, описывающие изменение деформации исследованных объектов в эксплуатационной носке и в лабораторных условиях при циклическом сжатии. Установлен коэффициент подобия между периодами носки изделий и циклами сжатия в лабораторных условиях, значение которого составляет 15.

8. Результаты экспериментальных и аналитических исследований апробированы и получили положительную оценку на швейных предприятиях Челябинской области.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абрамов, В.Ф., Костылева, В.В., Литвин, Е.В. Соколов, И.В., Татарчук И.Р., Фукин, В.А. Технологические процессы производства изделий легкой промышленности. Ч. I. /Под общей редакцией проф., д.т.н. Фукина, В.А. /: - М.: Московский государственный университет дизайна и технологии, 2003. – 572 с.
2. Адлер, Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю.П. Адлер, Е.В. Маркова, Ю.В. Грановский. – М.: Изд-во Наука, 1971. – 281 с.
3. Александрова, Ю.Н. Разработка способов регулирования структуры и свойств волокнистых нетканых материалов: дисс. канд. ... техн. наук: 05.17.06 / Александрова Юлия Николаевна. – М.: МГУДТ, 2008. – 174 с.
4. Балясов, П.Д. Сжатие текстильных волокон в массе и технология текстильного производства: моногр. / П.Д. Балясов. – М.: Легкая индустрия, 1975. –176 с.: ил.
5. Барабанов, Г.Л., Физико-механические способы производства нетканых материалов и валяльно-войлочных изделий / Г. Л. Барабанов, Е. Н. Бершев, Г. П. Смирнов, Ю. Я. Тюменев. – М.: Изд-во Легпромбытиздат, 1994. – С. 118-169.
6. Бартон, А., Эдхолм, О. Человек в условиях холода / А. Бартон, О. Эдхолм. – М.: Изд-во Иностранная литература, 1957. – 333 с.
7. Бекмурзаев, Л.А., Назаренко, Е.В., Алейникова О.А. Новое направление в проектировании пуховой одежды / Л.А. Бекмурзаев, Е.В. Назаренко, О.А. Алейникова // Швейная промышленность. – 2006. – № 2. – С. 48-49.
8. Бершев, Е.Н. Нетканые текстильные полотна: справоч. пособие / Е.Н. Бершев, Г.П. Смирнов, Б.В. Заметта, Ю.П. Назаров. – М.: Изд-во Легпромбытиздат, 1987. – 129 с.
9. Бессонова, Н.Г. Теплофизические свойства материалов для изделий легкой промышленности: монография / Н.Г. Бессонова, А.П. Жихарев. – М.: Изд-во ИИЦ МГУДТ, 2007 – 118 с.

10. Бессонова, Н.Г. Влияние давления на тепловое сопротивление утепляющих материалов для одежды / Н.Г. Бессонова, А.П. Жихарев // Швейная промышленность. – 2005. – № 1. – С. 41-42,

11. Бирюков, А.А., Смирнова, Г.А., Сафронов, Л.М. Централизованные подготовительно-раскройные производства в легкой промышленности / А.А.Бирюков, Г.А.Смирнова, Л.М.Сафронов. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1981. – 96 с.

12. Богомолов, К.Л. Сжатие объемных прокладочных материалов: анализ и разработка моделей / К.Л. Богомолов // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. – 1993. – № 5. С. 72-77.

13. Бринк, И.Ю. Закономерности кинетики сжатия объемного несвязного утеплителя / И.Ю. Бринк, С.Н. Сергеенко, А.С. Рукавишников // Известия высших учебных заведений «Технология текстильной промышленности». – №4. – 2007. – С. 69-74.

14. Бринк, И.Ю. Особенности кинетики сжатия объемного несвязного утеплителя / И.Ю. Бринк, С.Н. Сергеенко, А.С. Рукавишникова // Известия высших учебных заведений «Технология текстильной промышленности». – 2007. – №3. – С. 99-103.

15. Бузов, Б.А. Материаловедение в производстве изделий легкой промышленности (швейное производство): учебник для студентов вузов / Б.А. Бузов, Н.Д. Алыменкова. – М.: ИЦ Академия, 2010. – 448 с.

16. Бурдюков, А.В. Механическая технология производства нетканых материалов / А.В. Бурдюков, Г.Н.Петухов. – М.: Изд-во Легпромбытиздат, 1989. – 336 с.

17. Бурибаева, И.Н. Проектирование и моделирование технологии иглопробивных нетканых материалов с целью прогнозирования и оптимизации их физико-механических характеристик: дисс. ... канд. техн. наук: 05.19.02 / Бурибаева Ирина Николаевна. – М.: Московский государственный текстильный университет им. А.Н. Косыгина, 2007. – 178 с.

18. Бурмистров, А.Г. Компьютерный комплекс «RELAX» для оценки качества материалов / А.Г. Бурмистров // Кожевенно-обувная промышленность. – 1998. – № 1. – С. 17-19.

19. Вайншенкер, В.А., Бернштейн М.Х. Влияние толщины и длины химических волокон и метода их формирования на свойства иглопробивных нетканых материалов / В.А. Вайншенкер, М.Х. Берштейн // Текстильная промышленность. – 1970. – № 9. – С. 3 - 10.

20. Виноградов, Ю.С. Математическая статистика и ее применение в текстильной и легкой промышленности / Ю.С. Виноградов. – М.: Изд-во Легкая индустрия, 1970.– 312с.

21. Гензер, М.С. Производство нетканых материалов: учебное пособие для вузов / М.С. Гензер. – М.: Изд-во Легкая и пищевая промышленность, 1982. – 248 с.

22. Геннель, Л.С. Склеивание термопластов механохимическим способом / Л.С. Геннель, В.А. Вакула, Р.Ф. Лошкин // Пластические массы. – 1981. – № 12. –С. 36–37.

23. Герасимова, Н.А. Эффективность применения тлеющего разряда для совершенствования клеевой технологии / Н.А. Герасимова, В.Е. Кузмичев // Совершенствование и проектирование изготовления одежды: сб. научн. тр. – Иваново: ИвТИ, 1989. – С. 23–27.

24. Гоголева, Н.С. Анализ рынка утеплителей в России и за рубежом / Н.С. Гоголева, Ю.Я. Тюменев, Г.К. Мухамеджанов // Электронное периодическое издание «Сервис в России и зарубежом». Выпуск 1 (39). – 2013, с.4-11 http://old.rguts.ru//electronic_journal/number39/contents.

25. Головтеева, А.А. Практикум по технологии кожи и меха. Легкая и пищевая промышленность /А.А. Головтеева. – М.: Легпромбытиздат, 1982. – 248 с.

26. Горчакова, В.М. Исследование вязкоупругих свойств волокнистых материалов, пропитанных дисперсиями полимеров: дис. ... канд. хим. наук. – М.: МИТХТ, 1968. - 127 с.

27. Горчакова, В.М. Исследование теплового сопротивления комбинированного нетканого материала из коротковолокнистых отходов / В.М. Горчакова, С.Г. Дульнев, Е.И. Кузнецова, Т.Е. Волощик // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. –1995. –№ 5. – С. 66-69.

28. ГОСТ 10681-75 Материалы текстильные. Климатические условия для кондиционирования проб и методы их определения. – М.: Издательство стандартов, 1975. – 30 с.

29. ГОСТ 13587-77 Полотна нетканые и изделия штучные нетканые правила приемки и метод отбора проб. – М.: Издательство стандартов, 1977. – 4с.

30. ГОСТ 14253-83 Полотна холстопрошивные обтирочные. Технические условия. – М.: Издательство стандартов, 1983. – 5с.

31. ГОСТ 4.34-84 Система показателей качества продукции. Полотна нетканые и штучные нетканые изделия бытового назначения. Номенклатура показателей. – М.: Издательство стандартов, 1984. – 7 с.

32. ГОСТ 15902.3.-79. Полотна текстильные нетканые. Методы определения прочности. – М.: Издательство стандартов, 1980. – 10 с.

33. ГОСТ 16430-83 Полотна нетканые. Термины и определения. – М.: Издательство стандартов, 1983. – 5 с.

34. ГОСТ 19008-93 Ватины холстопрошивные хлопчатобумажные. Общие технические условия. – М.: Издательство стандартов, 1994. – 7с.

35. ГОСТ 18273-89 Ватины холстопрошивные шерстяные. Общие технические условия. – М.: Издательство стандартов, 1989. – 6 с.

36. ГОСТ 20489-75 «Материалы для одежды. Метод определения суммарного теплового сопротивления». – М.: Издательство стандартов, 1986. – 11 с.

37. ГОСТ 30157.1 – 95 Полотна текстильные. Методы определения изменения размеров после мокрых обработок или химической чистки. Режимы обработок. – ИПК Издательство стандартов, 2001. – 10 с.

38. ГОСТ 6418-81 Войлок технический грубошерстный и детали из него для машиностроения. Технические условия. – М.: Издательство стандартов, 1987. – 13 с.

39. ГОСТ 6418-81 Войлок технический грубошерстный и детали из него для машиностроения. Технические условия. – М.: Издательство стандартов, 1987. – 13 с.

40. ГОСТ Р 8.736-2011 Государственная система обеспечения единства измерений. измерения прямые многократные. Методы обработки результатов измерений. основные положения. – М.: Госстандарт России: Изд-во стандартов, 2012 – 9 с.

41. Гордиенко, А.Я. Исследование деформации ткани при растяжении / А.Я Гордиенко, А.Н. Герасимова// Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 1970. - № 5. – С. 47-51.

42. Гущина, К.Г. Эксплуатационные свойства материалов для одежды и методы оценки их качества: справочник / К.Г. Гущина, С.А. Беляева, Е.Я. Командрикова. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1984. – 312 с.

43. Давыдов, А.Ф. Разработка классификации нетканых утепляющих материалов и анализ стандарта ГОСТ Р 12.4.236-2007 «Система стандартов безопасности труда. Одежда специальная для защиты от пониженных температур. Технические требования» /А.Ф. Давыдов, О.О. Колесников //Информационный портал ЛегПромБизнес, «Текстиль». – 2010. – №1. – С. 4-6.

44. Давыдов, А.Ф., Елазали, Е.И. Российский рынок нетканых утеплителей / А.Ф. Давыдов, Е.И. Елазали // Информационный портал ЛегПромБизнес, «Рабочая одежда». – 2001. – №3. – С. 4-7.

45. Дедов, А.В. Массоперенос в волокнистых высокопрочных полимерных системах: дис. ... д-ра техн. наук: 02.00.06 / Дедов Александр Васильевич. – М.: МГУП им. Федорова, 2014. – 351 с.

46. Денежкина, О.А. Разработка методов оценки и исследование изменения линейных размеров эластичных тканей: дис. ... канд. техн. наук: 05.19.01 / Денежкина Ольга Александровна. – Кострома: КГТУ, 2005. – 160 с.

47. Дерябина А.И. Deformation of fibrous materials in the way of the cyclical compression / А.И. Дерябина, Л.Н. Лисиенкова // Ежемесячный научный журнал "Евразийский Союз Ученых". – 2014. – №1. – С. 54-57.

48. Дерябина, А.И. Моделирование процесса деформации материалов в условиях циклического сжатия / А.И. Дерябина // Материалы международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы современной науки: взгляд молодых». – Челябинск: ЮУрГУ, 2015. – С. 98-103.

49. Дерябина, А.И. Stability of shape prediction for light industry products / А.И. Дерябина. Л.Н. Лисиенкова // Материалы международной научно-практической конференции «Проблемные аспекты, пути решения в современной науке». – Краков. 2012. – С. 6-10.

50. Дерябина, А.И. Анализ деформации нетканых материалов при циклическом сжатии / А.И. Дерябина, Л.Н. Лисиенкова // В сборнике: НАУКА ЮУрГУ материалы 66-й научной конференции (Электронный ресурс). – 2014. – С. 1205-1209.

51. Дерябина, А.И. Исследование деформации волокнисто-сетчатых материалов методом циклического сжатия / А.И. Дерябина, Л.Н. Лисиенкова // Известия высших учебных заведений «Технология текстильной промышленности». 2013. – №1. – С. 32-36.

52. Дерябина, А.И. Исследование деформации волокнисто-сетчатых материалов при циклическом сжатии / А.И. Дерябина, Л.Н. Лисиенкова, Е.А. Кирсанова, Г.Э. Махарашвили // Дизайн и технологии. – М.: МГУДТ, 2013. – № 35 (77). – С. 64-66.

53. Дерябина, А.И. Моделирование деформации волокнисто-сетчатых материалов при циклическом сжатии / А.И. Дерябина, Л.Н. Лисиенкова О.Ю. Тарасова // Известия высших учебных заведений «Технология текстильной промышленности». – 2015. – №3. – С. 32-36.

54. Дерябина, А.И. Моделирование процесса деформации нетканых материалов в условиях циклического сжатия / А.И. Дерябина, Л.Н. Лисиенкова // Всероссийская научно-практическая конференции с международным

участием «Современные аспекты гуманитарных, экономических и технических наук. Теория и практика». – Омск: ОГИС, 2015. – Вып. 1. – С. 134-136.

55. Дерябина, А.И. Прогнозирование свойств нетканых материалов для одежды в условиях циклического сжатия / А.И. Дерябина, Л.Н. Лисиенкова // Сборник научных трудов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Проблемы и перспективы развития легкой промышленности и сферы услуг». – Челябинск: ЮУрГУ, 2015. – Вып. 1. – С. 46-48.

56. Дерябина, А.И. Прогнозирование формоустойчивости материалов для изделий легкой промышленности / А.И. Дерябина, Л.Н. Лисиенкова // Наука ЮУрГУ: материалы 65-й научной конференции. Секции технических наук: в 2 т. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2013. – Т.2. – 440 с.

57. Дерябина, А.И. Разработка метода оценки свойств материалов для одежды при циклическом сжатии / А.И. Дерябина, Л.Н. Лисиенкова // Совершенствование процесса организации услуг и технологий в индустрии моды и красоты: Материалы X межвузовская научно-практическая конференция студентов и аспирантов "Молодёжь, наука, творчество-2012": межвузовский сб. науч. тр. – Омск: ОГИС, 2012. – С. 94–95.

58. Дерябина, А.И. Разработка методики оценки свойств волокнистых материалов в условиях циклического сжатия / А.И. Дерябина, Л.Н. Лисиенкова // Международная научно-практическая конференция «Инновационные технологии производства товаров, повышение качества и безопасности продукции легкой промышленности», посвященная 55-летию Алматинского технологического университета. – Алма-Ата: АТУ, 2012. – С. 78-80.

59. Дивеева, О.В. и др. Скрепление волокнистых холстов в утепляющих нетканых полотнах / О.В. Дивеева, А.Н. Семенова, Н.А. Лебедева // Текстильная промышленность. – 1994. – №7-8. – С. 42-43

60. Ермилова, И.А. Нетканые материалы: учебное пособие / И.А. Ермилова, Е.В. Ермилова. – СПб.: Изд-во СПБТЭИ, 1998. – 21 с.

61. Жагрина, И.Н. Разработка метода и исследование деформационных свойств систем материалов обуви: дис. ... канд. техн. наук: 05.19.01 / Жагрина Инна Николаевна. – М.: МГАЛП, 1998. – 22 с.

62. Жихарев, А.П. Материаловедение в производстве изделий легкой промышленности: учебное пособие для студ. высш. учеб. заведений / А.П. Жихарев, Д.Г. Петропавловский, С.К. Кузин, В.Ю. Мишаков. – М.: Академия, 2004. – 448 с

63. Жихарев, А.П. Практикум по материаловедению в производстве изделий легкой промышленности: учебное пособие для студ. высш. учеб. заведений / А.П. Жихарев, Б.Я. Краснов, Д.Г. Петропавловский. – М.: Академия, 2004. – 464 с.

64. Жихарев, А.П. Развитие научных основ и разработка методов оценки качества материалов для изделий легкой промышленности при силовых, температурных и влажностных воздействиях: дис ... д-ра. техн. наук: 05.19.01 / Жихарев Александр Павлович. – М.: МГУДТ, 2005. – 374 с.

65. Журков, С.Н. Кинетическая концепция прочности твердых тел / С.Н. Журков // Вестник АН СССР – 1968, № 3, С. 46 – 52.

66. Завзятый, В.И., Шеромова, И.А., Кушнарера, В.А., Железняков, А.С. Исследование релаксации напряжения текстильных материалов при фиксированной деформации / В.И. Завзятый, И.А. Шеромова, В.А. Кушнарера, А.С. Железняков // Швейная промышленность – 2011. – №4. – С.50-52.

67. Зубчанинов, В.Г. Основы теории упругости пластичности. Учебник для ВУЗов / В.Г. Зубчанинов. – М.: Изд-во «Высшая школа», 1990 – 368 с.

68. Зыбин, А.Ю. Двухосное растяжение материалов для верха обуви / А.Ю. Зыбин. – М.: Изд-во Легкая индустрия, 1974. – 120 с.

69. Иглопробивной нетканый материал из полиамидных волокон / Бычкова Н.А., Гусев В.Е., Баранова Г.Л. и др. // Текстильная промышленность. 1984. – №21. – С. 32-35.

70. Исследования в области соединения деталей одежды: сб. науч. тр. / под ред. П.П. Кокеткина. – М.: ЦНИИШП, 1983. – 51 с.

71. Каплун, А.Б. ANSYS в руках инженера: Практическое руководство. Изд. 2-е, испр / А.Б. Каплун, Е.М. Морозов, М.А. Олферьев – М.: Изд-во Едиториал УРСС, 2004. – 272 с.
72. Киселев, А.М. Математическое моделирование процесса сжатия волокнистых материалов в массе / А.М. Киселев // Известия ВУЗов. Технология текстильной промышленности. – 2010. – №5 (326). – С. 14-17.
73. Киселев, А.М. Моделирование структуры и деформационных свойств волокнистых холстов: дис. ... канд. техн. наук: 05.19.01 / Киселев Андрей Михайлович. – Кострома: КГТУ, 2012. – 141 с.
74. Киселев, С.В. Деформационные свойства нетканых материалов / С.В. Киселев // Сборник трудов аспирантов и докторантов "Дни науки 2005". – СПб.: Изд-во СПбГУТД. – 2005. – с. 45-48.
75. Киселев, С.В. Исследование и прогнозирование ползучести иглопробивных нетканых материалов: дисс. ... канд. техн. наук: 05.19.01 / Киселев Сергей Владимирович. – СПб.: СПбГУТД, 2007. – 166 с.
76. Козлов, В.П. Основы интенсификации швейных процессов./ Козлов В.П.. – М.: Легкомпромбытиздат, 1988. – 168 с.
77. Койтова, Ж.Ю. Разработка новых методов оценки и исследование свойств пушно-меховых полуфабрикатов дис. ... д-ра техн. наук: 05.19.01 / Койтова Жанна Юрьевна. – Спб.: СПбГУТД, 2004. – 429 с.
78. Колесников, П.А. Теплозащитные свойства одежды /П.А. Колесникова. – М.: Изд-во Легкая индустрия, 1965. – 345 с.
79. Колтунова, М.А. Ползучесть и релаксация / М.А. Колтунова. – М.: «Высшая школа», 1976 – 277 с.
80. Копачевская, Н.В. Разработка технологии нетканых термоскрепленных полотен с повышенными физико-механическими свойствами: дисс. ... канд. техн. наук: 05.19.02 / Копачевская Надежда Владимировна. – М.: Московский государственный текстильный университет им. А.Н. Косыгина, 2006. – 199 с.

81. Косова, Р.А. Зависимость свойств иглопробивных нетканых материалов от длины и толщины перерабатываемых волокон / Р.А. Косова // Текстильная пром-сть. 1967. – № 2. – С. 23 - 29.

82. Кокеткин, П.П. Одежда: технология – техника, процессы – качество. – М.: Изд. МГУДТ, 2001 – 560 с.

83. Кукин, Г.Н. Текстильное материаловедение: учебник для вузов / Г.Н. Кукин, А.Н. Соловьев. – М.: Легкая индустрия, 1967. – Ч. 3. – 302 с.

84. Куличенко, А.В. Разработка моделей и экспериментальных методов изучения воздухопроницаемости текстильных материалов: дис. ... д-ра техн. наук: 05.19.01 / Куличенко Анатолий Васильевич. – СПб.: СПГУДТ, 2005. – 340 с.

85. Куприянов, М.П. Деформационные свойства кожи для верха обуви / М.П. Куприянов. – М.: Легкая индустрия, 1969. – 248 с.

86. Лебедева, Н.П. Влияние эксплуатационных воздействий на свойства параарамидных нитей технического назначения: дисс. ... канд. техн. наук: 05.19.01 / Лебедева Наталья Павловна. – СПб.: СПГУДТ, 2007. – 239с.

87. Лисиенкова (Паршина), Л.Н. Разработка и исследование способов повышения качества соединений деталей швейных изделий специального назначения из материалов полиамидной группы: автореферат дис. ... канд. техн. наук / Л.Н. Лисиенкова (Паршина). – М.: РЭА им. Г.В. Плеханова, 1992. – 225 с.

88. Лисиенкова, Л.Н. Развитие теории и методов исследования деформационных свойств материалов для одежды при воздействии технологических и эксплуатационных факторов: дис. ... д-ра техн. наук: 05.19.01. / Лисиенкова Любовь Николаевна. – М.: МГУДТ, 2010. – 223 с.

89. Лисиенкова, Л.Н. Исследование деформационных свойств материалов для одежды методом циклического сжатия / Л.Н. Лисиенкова, Е.А. Кирсанова // Известия вузов. Серия «Технология текстильной промышленности». – 2010. – № 3. – С. 25 – 28.

90. Лоран, П. Ж. Аппроксимация и оптимизация / П.Ж. Лоран. – М.: Изд-во Мир, 1975. – С. 496.
91. Макаров, А. Г. Разработка компьютерных технологий моделирования физико-механических свойств текстильных материалов сложного строения: дис. ... д-ра техн. наук: 05.19.01 / Макаров Авинир Геннадьевич. – СПб.: СПбГУТД, 2005. – 331 с.
92. Мартин, Е. Модель эксплуатационного показателя одежного материала / Е. Мартин; пер. с нем. – М.: ВЦП, 1986. – 10 с.
93. Масленников, К.Н. Химические волокна: Словарь-справочник. / К.Н. Масленников под ред. А.А. Конкина. – М.: Изд-во Химия, 1973. – 1987 с.
94. Мгалоблишвили, М.Г. Разработка ассортимента и оценка эксплуатационных свойств иглопробивных нетканых материалов декоративного назначения. дис. ... канд. техн. наук: 05.19.01/ Мгалоблишвили, М.Г. – Л.: ЛИТЛП им. С.М. Кирова, 1985. – 202 с.
95. Методические указания по совершенствованию организации и проведение опытной носки швейных изделий. – М.: Изд-во ЦНИИТЭИлегпром. – 1986. – 29 с.
96. Методы компьютерных вычислений для физиков: Методическое пособие / В.Б. Пикулев. – П.: Изд-во ГОУ ВПО «ПетрГУ», 2004. – 230 с.
97. Мишаков, В.Ю. Развитие научно-методических основ разработки и методов исследования антимикробных и защитных материалов на нетканых волокнистых носителях: дисс. ... д-ра. техн. наук: 05.19.01 / Мишаков Виктор Юрьевич. – М.: Московский государственный университет дизайна и технологии, 2008. – 270 с.
98. Модестова, Т.А. Деформация равноплотных тканей при одноосном растяжении / Т.А. Модестова // Известия вузов. Серия «Технология текстильной промышленности». – 1965. – № 1. – С. 16-23.
99. Мохирева, И.А. Исследование потребительских свойств иглопробивных нетканых материалов из вторичного сырья: дисс. ... канд. техн. наук: 05.19.08 / Мохирева Ирина Аркадьевна. – ДГАЭиП, 2000. – 203 с.

100. Мухамеджанов, Г. К. «О классификации и терминологии нетканых материалов» / Г.К. Мухамеджанов // «Рабочая одежда». – 2007. – № 4. – С. 31-35 .

101. Мухамеджанов, Г. К., Российский рынок нетканых утеплителей. Состояние, проблемы и перспективы / Г.К. Мухамеджанов // Информационный портал ЛегПромБизнес, «Рабочая одежда». – 2013. – №1. – С. 6-8.

102. Назаренко, Е.В. Исследование и разработка теплозащитной одежды с перо-пуховым утеплителем с вертикальным простегиванием: дис. ... канд. техн. наук: 05.19.04 / Назаренко Елена Владимировна. – Шахты, ЮРГУЭС, 2006. – 174 с.

103. Назаров, Ю.П. Влияние длины волокон на прочность и неровноту по прочности иглопробивных нетканых материалов / Ю.П. Назаров // Текстильная промышленность. –1973. –№2. – С. 23-39.

104. Назаров, Ю.П. Нетканые текстильные материалы / Ю.П. Назаров, В.М. Афанасьев. – М.: Легпромбытиздат, 1987. –278с.

105. Нанотехнологии в текстильной промышленности: от «холлофайбера» к «нанофайберу» // ООО Издательская фирма «Текстильная промышленность». – 2007. – № 11. – С. 24–25.

106. Наполнитель «холлофайбера» – синтетическая перина // ООО Издательская фирма «Текстильная промышленность». – 2007. – № 6. – С. 6 –8.

107. Нетканый материал, изготовленный без прошивной нити. / Алавердян Г.Ш., Ерзинкян С.Я., Израелян В.П. и др. // Текстильная пром-сть. –1995. –№9, 10. – С. 37.

108. Носов, М.П. Динамическая усталость полимерных нитей / М.П. Носов. – К.: Изд-во Государственное издание технической литературы, 1963 – 196 с.

109. Перепелкин, К.Е. Структура и свойства волокон / К.Е. Перепелкин. – М.: Химия, 1985. – 412 с.

110. Пасекова, Т. Е. Исследование и расчет пакетов теплозащитной одежды с объемными несвязными утеплителями: дис. ... канд. техн. наук: 05.19.04 / Пасекова Татьяна Евгеньевна. – Шахты, Южно-Российский государственный университет экономики и сервиса, 2001. – 185 с.

111. Пат. № 206399 (ГДР). Способ изготовления волокнистых наполнителей из синтетических высокомолекулярных полимеров. МКИ Д – 06.11.81.

112. Пат. № 2715996 (ФРГ). Устройство для изготовления искусственного пуха. МКИ В 68 1, 1983.

113. Пат. № 2829599 (ФРГ). Слоистый материал для защитной одежды и способ его получения. МКИ Д - 06, №10, 1980.

114. Пат. № 2937280 (ФРГ). Теплоизолирующий материал. МКИ Д-06, № 8, 1981.

115. Патент на полезную модель Российская Федерация № 144579 U1, МПК G01N 3/08 Устройство для определения деформации текстильных материалов при сжатии [Текст]/ А.И. Дерябина, Л.Н. Лисиенкова, Е.А. Трофимов, Ю.С. Мязина – Заявка № 2014115352/28; заявл. 16.04.2014; опубл. 27.08.2014.

116. Патент Российская Федерация № 2354953 С2, МКИ G01N 3/08 Устройство для определения деформационных свойств кожи и подобных ей гибких материалов [Текст]/ Е.В. Баранова, Л.Н. Лисиенкова, В.И. Стельмашенко, А.В. Саламатин. – Заявка № 2007114927; заявл. 20.04.07; опубл. 10.05.09; Бюлл. № 13.

117. Петров, И.Н., Андросов, В.Ф. Ассортимент, свойства и применение нетканых материалов / И.Н. Петров. В.Ф. Андросов. – М.: Изд-во Легпромбытиздат, 1991. – 207 с.

118. Production of fibrous materials fabrics by the Freudenberg group //Freudenberg. Freudenberg erhogte Vliesstoff-Weltumsatz //Test.-Prax. int. 1994. – Vol. 49, Jsr2 9. – С. 548.

119. Пузанова, Н.В. Нетканые материалы в России. Анализ состояния и перспективы / Н.В. Пузанова // СтройПРОФИль. – 2001. – № 10.

120. Разработка и создание нового ассортимента нетканых текстильных материалов бытового и технологического назначения. Л.: ЛИТЛП, им. С.М. Кирова, 1989. - 109 с.

121. Разумеев, К.Э. Модельные методы изучения деформации текстильных материалов / К.Э. Разумеев, Б.В. Юдин, А.В. Разбродин // Швейная промышленность. – 2008. – №2. – С.36-38.

122. Савостицкий, А.В., Меликов, Е.Х., Куликова, И.А. Технология швейных изделий /А.В. Савостицкий, Е.Х. Меликов, И.А. Куликова. – М.: Изд-во легкая индустрия, 1971. – 598 с.

123. Севостьянов, А.Г. Моделирование технологических процессов / А.Г. Севостьянов, П.А. Севостьянов. – М.: Изд-во «Легкая и пищевая промышленность», 1984. – 511 с.

124. Седов, Л.И. Механика сплошной среды / Л.И. Седов. – М.: Изд-во Наука, 1970. 1 т – 482 с, 2 т – 568 с.

125. Серебрякова, И.Н. Исследование механических свойств нетканых полотен / И.Н. Серебрякова, К.А. Дубовицкий, А.Е. Поляков, Т.П. Бордовская, Е.М. Максимова // Известия высших учебных заведений «Технология текстильной промышленности». – 2012. – №3. – С. 8-11.

126. Серебрякова, Л. А. Формирование и оценка потребительских свойств иглопробивных нетканых материалов из вторичного сырья различного назначения: дисс. ... д-ра. техн. наук: 05.19.08 / Серебрякова Людмила Андреевна. – М.: Московский государственный текстильный университет им. А.Н. Косыгина. 2004. – 180 с.

127. Смит, Т.Л. Эмпирические уравнения для вязкоупругих характеристик и вычисления релаксационных спектров / Т.Л. Смит. – М.: Изд-во Мир, 1974. – 270 с.

128. Смолейчук, И.М. Исследование и прогнозирование некоторых деформационных свойств иглопробивных нетканых материалов из вторичного

сырья: дис. ... канд. техн. наук: 05.19.08 / Смолейчук Ирина Матвеевна. – ВГАЭУ., 1997. – 210 с.

129. Соколов В.Н. Научно-технические основы технологического резания в легкой промышленности: диссертация ... д-ра технических наук: 05.02.13 / Соколов Владимир Николаевич. – М.: МГУДТ, 2006.- 392 с.

130. Соловьев, А.Н. Оценка и прогнозирование качества текстильных материалов / А.Н. Соловьев, С.М. Кирюхин. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1984. – 215 с.

131. Стельмашенко, В.И. Материалы для одежды и конфекционирование: учебник для студ. Высш. Учеб. Заведений / В.И. Стельмашенко, Т.В. Розарёнова. – М.: Издательский центр «Академия», 2008. – 320 с.

132. Стельмашенко, В.И. Методы и средства исследования в процессах оказания услуг / В.И. Стельмашенко, Н.В. Воронцова, Т.Н. Шушунова. – М.: Изд-во «Форум», 2007. – 384 с.

133. Стокозенко, В.Г. Нетканые материалы. Вчера, сегодня, завтра Текст. /В. Г. Стокозенко, С. М. Губина //Снабженец. 2006. — № 28 (527). — С. 1 -6.

134. Сухарев, М.И. Материаловедение / М.И Сухарев. – М.: Легкая индустрия, 1973. – 265 с.

135. Тихомиров В.Б. Планирование и анализ эксперимента / В.Б. Тихомиров. – М.: Изд-во Легкая индустрия, 1974. – 262с.

136. Тихомиров, В.Б. Химическая технология производства нетканых материалов / В.Б. Тихомиров. – М.: Изд-во Легкая индустрия, 1969. – 134 с.

137. Тюменев, Ю.Я. Анализ потребительских свойств утеплителей для рабочей и туристской одежды/ Ю.Я. Тюменев, Г.К. Мухамеджанов, Н.С. Гоголева // Электронное периодическое издание «Сервис в России и зарубежом». Выпуск 1 (39). – 2013, с. 19-25 http://old.rguts.ru//electronic_journal/number39/contents.

138. Тюменев, Ю. Я. Актуальные вопросы терминологии, классификации и оценки качества нетканых материалов / Ю. Я. Тюменев, Г. К. Мухамеджанов //Актуальные проблемы и направления развития материаловедения изделий

сервиса, текстильной и легкой промышленности: научное издание / под ред. канд. техн. наук, проф. Ю. Я. Тюменева, ФГОУ ВПО «РГУТиС». М., 2010. 300 с. С. 263–273.

139. Устинова Е.Т. Проблемы технологии нетканых текстильных материалов, изготавливаемых склеиванием волокнистых систем / Е.Т. Устинова, С.С. Воюцкий // Текстильная промышленность. – 1963. – №9. – С. 3-10.

140. Федосеева Л.С. Влияние структуры на некоторые физико-механические свойства клееных нетканых материалов. дис. канд. техн. наук. Л., 1967.- 168 с.

141. Филатова, Н.С. Ассортимент утепляющих материалов и требования к их качеству /Н.С. Филатова // Научно-исследовательские труды МКИ. – 1980. – С. 164 -167.

142. Фирма по изготовлению нетканых материалов. Kimberly Clark Corporation // Nonwovens ltd. – 1991. – Vol. 22, № 9. – С. 46, 48.

143. Фомин, Ю.Г. Влияние усилий сжатия на деформацию тканей / Ю.Г. Фомин, Л. Удвал, Т.П. Туцкая // Научный альманах. Спецвыпуск «Текстильная промышленность». – 2007. – № . – № 4 – С. 40–42.

144. Фомченкова, Л.Н. Нетканые материалы бытового назначения на отечественном рынке / Л.Н. Фомченкова // Текстильная промышленность. – 2007. – № 11. – С. 14–18

145. Херл Дж. Механика нитей и нетканых материалов //Тканые конструкционные композиты /Под. ред. Т.- В. Чу и Ф. Ко Пер. с англ. М.: Мир, 1991. – 55 с.

146. Цобкалло, Е. С. Характеристики механических свойств деформированных волокнистых материалов, методы их оценки и прогнозирования: дисс. ... д-ра. техн. наук: 05.19.01 / Цобкалло Екатерина Сергеевна. – СПб.: СПбГУТД, 2002. – 468 с.

147. Чадова, Т.В. Исследование влияния волокнистого состава и структуры на физико-механические свойства композиционных нетканых

материалов: дисс. ... канд. техн. наук: 05.16.06 / Чадова Татьяна Владимировна. – ДВПИ., 2004. – 220 с.

148. Шишигина, А.Ю. Разработка оптимальных условий выработки холстопрощивных нетканых полотен с заданными структурными характеристиками: дисс. ... канд. техн. наук: 05.19.02 / Шишигина Анна Юрьевна. – М.: Московский государственный текстильный университет им. А.Н. Косыгина, 2004. – 180 с.

149. Шишов, И.П. Исследование свойств клееных утепляющих нетканых материалов / И.П. Шишов, А.Н. Семенова, Н.А. Лебедев // Текстильная промышленность. – 1995. – № 11. с. – 42 - 43.

150. Юдин, Б.В. Результаты экспериментального исследования одноцикловых характеристик компонентов деформации при сжатии массы волокон-наполнителей стеганых одеял и подушек / Б.В. Юдин, К.Э. Разумеев // Швейная промышленность. – 2009. – № 2. – С. 38-41.

151. Mrozenrusra H., Swiderski T. Nowe wyroby włokninowe o zastosowaniu technicznym z d Wuskkadnikavych wolkien folijwych. // Przegląd Włokienniczy. 1985. – №1. – P. 45 - 49.

152. Greyson M. Encyclopedia of composite materials and components, Wiley&Sons, USA, 1983.

153. Gunesoglu S., Meric B, & Gunesoglu C. Thermalcontact properties of 2-yarn fleece knittedfabrics Fibresand // Textiles in Eastern Europe – 2005, № 13. P. 46 – 50.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Таблица А.1

Результаты исследований многоцикловых характеристик при сжатии (кондиционные усл.)

№	Параметры сжатия: $P_u = 1,5$ даН, $n = 100$ циклов; $t_n/t_o = 5/5$ с											
	свободное		стесненное		свободное		стесненное		свободное		стесненное	
	t,сек	h,мм	t,сек	h,мм	t,сек	h,мм	t,сек	h,мм	t,сек	h,мм	t,сек	h,мм
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	Полотно нетканое холстопршивное, арт. 927622				Полотно нетканое холстопршивное, арт. 917618				Войлок (ГОСТ 6418-81)			
1	0,03	0,05	1,27	0,03	0,05	0,61	0,06	1,27	0,05	1,08	0,05	1,57
2	0,15	0,16	1,27	0,17	0,16	0,58	0,17	1,24	0,15	1,05	0,15	1,52
3	0,24	0,27	1,23	0,29	0,27	0,59	0,29	1,23	0,24	1,03	0,25	1,52
4	0,37	0,38	1,25	0,40	0,38	0,58	0,40	1,25	0,34	1,03	0,35	1,50
5	0,47	0,46	1,22	0,51	0,49	0,58	0,51	1,24	0,44	1,02	0,45	1,50
6	0,54	0,60	1,24	0,63	0,60	0,57	0,62	1,24	0,53	1,01	0,54	1,48
7	0,68	0,76	1,23	0,75	0,70	0,57	0,74	1,23	0,63	1,02	0,64	1,48
8	0,79	0,81	1,22	0,85	0,81	0,57	0,85	1,22	0,73	1,01	0,74	1,49
9	0,89	0,92	1,23	0,97	0,92	0,57	0,97	1,23	0,83	1,01	0,84	1,48
10	1,00	1,03	1,22	1,05	1,03	0,58	1,08	1,22	0,92	1,01	0,94	1,47
11	1,10	1,16	1,23	1,20	1,14	0,57	1,20	1,32	1,02	0,99	1,04	1,47
12	1,24	1,25	1,22	1,31	1,25	0,56	1,31	1,22	1,12	1,01	1,14	1,46
13	1,31	1,35	1,22	1,42	1,35	0,56	1,42	1,22	1,21	0,87	1,24	1,47
14	1,41	1,46	1,25	1,49	1,46	0,58	1,54	1,22	1,31	0,89	1,33	1,46
15	1,52	1,49	1,21	1,65	1,57	0,56	1,65	1,28	1,41	1,00	1,43	1,46
16	1,63	1,68	1,25	1,77	1,68	0,57	1,77	1,21	1,50	0,99	1,53	1,46
17	1,73	1,79	1,22	1,76	1,79	0,56	1,88	1,25	1,60	0,99	1,62	1,44
18	1,83	1,83	1,22	1,88	1,89	0,56	1,98	1,22	1,70	0,93	1,73	1,45
19	1,87	1,99	1,24	2,03	2,00	0,55	2,11	1,32	1,79	1,12	1,83	1,48
20	2,04	2,03	1,22	1,99	2,11	0,56	2,22	1,22	1,89	0,87	1,93	1,45
	Шерстипон (ВПэф – 40 верблюжья шерсть – 60)				Шерстипон (ВПэф – 40 овечья шерсть – 60)				Тинсулейт (Россия)			
1	0,05	3,45	0,04	6,09	0,05	3,48	0,04	3,07	0,03	4,46	0,04	5,45
2	0,16	3,39	0,11	6,03	0,14	3,43	0,13	3,02	0,10	4,37	0,13	5,39
3	0,27	3,40	0,18	6,02	0,24	3,42	0,22	2,96	0,16	4,31	0,22	5,40
4	0,38	3,39	0,26	5,99	0,34	3,40	0,30	2,95	0,22	4,28	0,30	5,39
5	0,49	3,37	0,33	5,99	0,43	3,38	0,39	2,93	0,28	4,25	0,39	5,37
6	0,60	3,34	0,41	5,98	0,53	3,37	0,47	2,92	0,35	4,22	0,47	5,34
7	0,71	3,40	0,48	5,98	0,62	3,36	0,56	2,91	0,41	4,20	0,56	5,40
8	0,81	3,33	0,55	5,97	0,72	3,34	0,64	2,90	0,47	4,16	0,64	5,33
9	0,92	3,34	0,63	5,96	0,81	3,33	0,73	2,87	0,53	4,20	0,73	5,34
10	1,03	3,30	0,70	5,96	0,91	3,32	0,81	2,88	0,59	4,16	0,81	5,30
11	1,14	3,32	0,77	5,98	1,00	3,30	0,90	2,88	0,65	4,14	0,89	5,32
12	1,25	3,30	0,85	5,94	1,10	3,29	0,99	2,87	0,72	4,12	0,98	5,30
13	1,35	3,32	0,92	5,95	1,19	3,28	1,09	2,88	0,78	4,12	1,06	5,29
14	1,46	3,32	0,95	5,95	1,29	3,30	1,29	2,88	0,84	4,11	1,15	5,32
15	1,57	3,31	1,07	5,94	1,39	3,28	1,39	2,87	0,90	4,10	1,23	5,31
16	1,68	3,31	1,14	5,93	1,48	3,30	1,50	2,88	0,96	4,10	1,32	5,31
17	1,79	3,30	1,21	5,93	1,58	3,28	1,60	2,88	1,02	4,09	1,40	5,30
18	1,92	3,30	1,29	5,94	1,67	3,29	1,70	2,88	1,08	4,10	1,49	5,30
19	2,01	3,30	1,36	5,93	1,77	3,26	1,81	2,88	1,14	4,06	1,57	5,30
20	2,11	3,30	1,43	5,94	1,86	3,26	1,92	2,88	1,20	4,03	1,65	5,30

№	Параметры сжатия: $P_{ц} = 1,5$ даН, $n = 100$ циклов; $t_{и}/t_{о} = 5/5$ с											
	свободное		стесненное		свободное		стесненное		свободное		стесненное	
	t,с	h,мм	t,с	h,мм	t,с	h,мм	t,с	h,мм	t,с	h,мм	t,с	h,мм
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	Синтепон (СК150/300)				Холлофайбер (ООО «Термопол» Россия (г. Москва)				Комплексный материал С ₁ Т ₁ (см.табл. 4.5)			
1	0,03	1,37	0,04	3,07	0,03	2,63	0,05	1,27	0,05	1,80	0,05	1,06
2	0,16	1,37	0,14	3,03	0,15	2,60	0,15	1,21	0,17	1,83	0,16	1,02
3	0,26	1,36	0,24	2,96	0,26	2,57	0,24	1,19	0,25	1,83	0,27	1,04
4	0,37	1,36	0,34	2,95	0,36	2,56	0,34	1,18	0,35	1,82	0,38	1,02
5	0,49	1,34	0,42	2,93	0,46	2,66	0,42	1,17	0,45	1,79	0,44	1,01
6	0,60	1,37	0,54	2,92	0,56	2,60	0,54	1,17	0,55	1,81	0,60	1,02
7	0,71	1,35	0,63	2,91	0,67	2,59	0,64	1,15	0,62	1,81	0,71	1,03
8	0,81	1,35	0,75	2,90	0,77	2,56	0,74	1,14	0,74	1,80	0,82	1,02
9	0,89	1,33	0,83	2,89	0,87	2,49	0,85	1,14	0,86	1,81	0,93	1,02
10	1,03	1,33	0,92	2,88	0,86	2,56	0,93	1,15	0,96	1,80	1,04	1,01
11	1,14	1,35	1,02	2,88	1,08	2,58	1,03	1,14	1,06	1,79	1,15	1,01
12	1,19	1,32	1,12	2,87	1,16	2,57	1,13	1,15	1,16	1,78	1,26	1,04
13	1,35	1,32	1,21	2,88	1,28	2,54	1,23	1,15	1,23	1,77	1,37	1,03
14	1,44	1,30	1,31	2,88	1,34	2,56	1,32	1,13	1,37	1,77	1,48	1,00
15	1,53	1,30	1,41	2,87	1,49	2,56	1,42	1,11	1,47	1,70	1,59	1,03
16	1,66	1,32	1,50	2,88	1,59	2,56	1,52	1,11	1,54	1,75	1,72	1,02
17	1,79	1,31	1,60	2,88	1,69	2,57	1,62	1,11	1,65	1,76	1,81	1,00
18	1,90	1,31	1,72	2,88	1,79	2,58	1,71	1,12	1,76	1,76	1,92	1,01
19	2,03	1,32	1,80	2,88	1,87	2,56	1,81	1,13	1,85	1,74	2,03	1,00
20	2,11	1,32	1,89	2,88	2,01	2,57	1,91	1,11	1,97	1,71	2,14	0,97
№	Комплексный материал С ₁ Т ₂ (см.табл. 4.5)				Комплексный материал Т ₃ С ₂ Т ₃ (см.табл. 4.5)				Комплексный материал С ₃ Т ₁ (см.табл. 4.5)			
1	0,03	1,32	0,07	1,27	0,06	0,50	0,03	1,52	0,06	11,08	0,04	10,08
2	0,15	1,24	0,15	1,21	0,15	0,46	0,16	1,51	0,14	11,02	0,13	10,02
3	0,25	1,23	0,25	1,19	0,26	0,46	0,25	1,50	0,24	10,80	0,22	9,80
4	0,35	1,25	0,35	1,18	0,36	0,46	0,38	1,50	0,34	10,69	0,30	9,69
5	0,48	1,22	0,45	1,17	0,45	0,48	0,49	1,50	0,43	10,10	0,39	9,65
6	0,55	1,24	0,55	1,17	0,56	0,46	0,60	1,49	0,53	9,93	0,47	9,56
7	0,64	1,23	0,64	1,15	0,66	0,45	0,71	1,50	0,62	9,82	0,56	9,49
8	0,74	1,26	0,74	1,14	0,75	0,45	0,81	1,48	0,72	9,80	0,65	9,48
9	0,84	1,23	0,84	1,23	0,87	0,45	0,92	1,50	0,81	9,74	0,73	9,44
10	0,94	1,19	0,94	1,15	0,95	0,46	1,03	1,50	0,91	9,74	0,81	9,46
11	1,04	1,23	1,12	1,14	1,09	0,45	1,14	1,48	1,00	9,69	0,89	9,40
12	1,09	1,22	1,14	1,15	1,18	0,44	1,25	1,45	1,10	9,69	0,95	9,38
13	1,24	1,22	1,24	1,23	1,25	0,46	1,35	1,46	1,19	9,68	1,06	9,33
14	1,34	1,22	1,34	1,13	1,38	0,44	1,46	1,47	1,29	9,68	1,15	9,33
15	1,44	1,21	1,44	1,11	1,47	0,44	1,58	1,47	1,39	9,65	1,23	9,08
16	1,53	1,23	1,49	1,17	1,59	0,44	1,66	1,46	1,48	9,70	1,32	9,02
17	1,63	1,22	1,63	1,11	1,69	0,46	1,79	1,47	1,58	9,58	1,40	9,80
18	1,73	1,26	1,69	1,12	1,79	0,43	1,90	1,46	1,67	9,66	1,49	9,69
19	1,79	1,21	1,83	1,18	1,89	0,45	2,01	1,45	1,77	9,70	1,57	9,65
20	1,93	1,22	1,93	1,23	1,99	0,44	2,13	1,47	1,83	9,58	1,65	9,59

Результаты исследований многоциклового характера при сжатии
(после первой стирки)

№	Параметры сжатия: $P_{сж} = 1,5$ даН, $n = 100$ циклов, $t_w/t_o = 5/5$ с											
	свободное		стесненное		свободное		стесненное		свободное		стесненное	
	t,с	h,мм	t,с	h,мм	t,с	h,мм	t,с	h,мм	t,с	h,мм	t,с	h,мм
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	Полотно нетканое холстопрощивное, арт. 927622				Полотно нетканое холстопрощивное, арт. 917618				Войлок (ГОСТ 6418-81)			
1	0,03	2,12	0,07	1,60	0,07	1,69	0,05	1,22	7	1,46	0,05	1,66
2	0,16	2,10	0,15	1,59	0,16	1,68	0,17	1,21	0,15	1,37	0,15	1,62
3	0,25	2,06	0,26	1,56	0,27	1,63	0,29	1,24	0,24	1,32	0,25	1,63
4	0,37	2,06	0,36	1,56	0,38	1,69	0,40	1,21	0,34	1,32	0,35	1,63
5	0,47	2,05	0,46	1,55	0,49	1,66	0,51	1,19	0,44	1,33	0,45	1,65
6	0,58	2,07	0,56	1,53	0,60	1,66	0,63	1,21	0,53	1,31	0,54	1,63
7	0,64	2,04	0,59	1,54	0,69	1,66	0,74	1,19	0,63	1,31	0,64	1,62
8	0,77	2,04	0,76	1,53	0,81	1,67	0,82	1,18	0,73	1,30	0,74	1,62
9	0,89	2,04	0,87	1,53	0,92	1,66	0,97	1,16	0,79	1,29	0,84	1,61
10	1,03	2,03	0,97	1,54	1,03	1,68	1,08	1,20	0,92	1,26	0,95	1,62
11	1,09	2,03	1,03	1,53	1,14	1,64	1,20	1,19	1,02	1,28	1,04	1,61
12	1,21	2,01	1,18	1,53	1,22	1,66	1,31	1,18	1,12	1,26	1,14	1,59
13	1,31	2,02	1,19	1,52	1,35	1,66	1,55	1,13	1,21	1,26	1,24	1,54
14	1,41	2,02	1,38	1,54	1,39	1,66	1,54	1,17	1,29	1,25	1,33	1,54
15	1,49	2,04	1,48	1,55	1,56	1,67	1,65	1,18	1,41	1,25	1,43	1,60
16	1,64	2,01	1,59	1,51	1,68	1,68	1,79	1,17	1,50	1,24	1,53	1,59
17	1,73	2,01	1,72	1,51	1,79	1,64	1,88	1,16	1,60	1,24	1,63	1,60
18	1,84	2,00	1,74	1,50	1,88	1,64	1,99	1,18	1,70	1,28	1,73	1,60
19	1,89	2,00	1,89	1,50	2,00	1,64	2,11	1,17	1,79	1,25	1,83	1,57
20	2,04	1,99	1,99	1,49	2,09	1,64	2,22	1,15	1,89	1,23	1,93	1,57
№	Шерстипон (ВПЭф – 40 верблюжья шерсть – 60)				Шерстипон (ВПЭф – 40 овечья шерсть – 60)				Тинсулейт (Россия)			
1	0,07	8,18	0,06	6,09	0,06	5,24	0,04	7,18	0,03	2,39	0,04	8,01
2	0,16	8,20	0,11	6,03	0,14	4,99	0,13	7,99	0,10	2,34	0,13	7,86
3	0,27	8,17	0,18	6,02	0,24	5,14	0,22	7,20	0,15	2,31	0,22	7,80
4	0,38	8,22	0,26	5,99	0,34	5,14	0,30	7,14	0,22	2,30	0,30	7,77
5	0,49	8,12	0,34	5,99	0,38	5,10	0,39	7,09	0,28	2,27	0,39	7,73
6	0,63	8,11	0,41	5,98	0,53	5,08	0,45	7,08	0,35	2,26	0,47	7,70
7	0,71	8,08	0,48	5,98	0,62	5,07	0,56	7,11	0,41	2,26	0,56	7,70
8	0,79	8,04	0,55	5,97	0,72	5,04	0,64	7,04	0,47	2,23	0,64	7,66
9	0,92	8,05	0,63	5,96	0,79	5,05	0,73	7,05	0,53	2,23	0,73	8,01
10	1,03	8,11	0,73	5,96	0,89	5,07	0,81	7,03	0,59	2,28	0,81	7,68
11	1,21	8,07	0,77	5,98	1,00	5,05	0,90	7,05	0,65	2,23	0,89	7,65
12	1,24	8,10	0,85	5,94	1,13	5,07	0,99	7,07	0,73	2,22	0,98	7,66
13	1,36	8,09	0,92	5,95	1,19	5,05	1,09	7,05	0,78	2,20	1,06	7,68
14	1,41	8,08	0,99	5,95	1,27	4,98	1,29	6,88	0,84	2,21	1,15	7,64
15	1,57	8,09	1,07	5,94	1,39	5,03	1,39	7,03	0,90	2,22	1,23	7,65
16	1,68	8,06	1,14	5,93	1,48	5,03	1,50	7,03	0,96	2,24	1,32	7,68
17	1,69	8,07	1,21	5,93	1,46	5,02	1,60	7,02	1,03	2,23	1,40	7,72
18	1,87	8,10	1,27	5,94	1,67	5,00	1,70	7,12	1,08	2,22	1,49	7,63
19	1,09	8,11	1,36	5,93	1,73	5,03	1,81	7,03	1,14	2,24	1,57	7,60
20	2,11	8,07	1,43	5,94	1,81	5,01	1,92	7,03	1,20	2,20	1,65	7,77

№	Параметры сжатия: $P_{ц} = 1,5$ даН, $n = 100$ циклов; $t_{н}/t_{о} = 5/5$ с											
	свободное		стесненное		свободное		стесненное		свободное		стесненное	
	t,с	h,мм	t,с	h,мм	t,с	h,мм	t,с	h,мм	t,с	h,мм	t,с	h,мм
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	Синтепон (СК150/300)				Холлофайбер (ООО «Термопол» Россия (г. Москва))				Комплексный материал С ₁ Т ₁ (см.табл. 4.5)			
1	0,07	2,54	0,05	2,71	0,07	3,07	0,05	2,10	0,07	1,37	0,05	2,06
2	0,16	2,54	0,14	2,64	0,15	3,02	0,15	2,09	0,15	1,32	0,16	2,03
3	0,27	2,52	0,24	2,64	0,26	2,98	0,24	2,06	0,25	1,32	0,27	1,98
4	0,38	2,53	0,34	2,62	0,36	2,98	0,34	2,05	0,35	1,30	0,38	1,96
5	0,49	2,44	0,44	2,61	0,46	2,97	0,44	2,07	0,45	1,31	0,49	1,95
6	0,60	2,52	0,54	2,63	0,56	2,98	0,54	2,04	0,55	1,31	0,60	1,96
7	0,69	2,48	0,63	2,59	0,67	2,96	0,64	2,04	0,66	1,30	0,71	1,94
8	0,81	2,46	0,73	2,60	0,77	2,96	0,74	2,04	0,79	1,29	0,82	1,92
9	0,92	2,44	0,83	2,55	0,87	2,94	0,83	2,03	0,86	1,26	0,93	1,92
10	1,03	2,43	0,92	2,56	0,97	2,97	0,93	2,03	0,96	1,28	1,04	1,92
11	1,14	2,42	1,02	2,54	1,08	2,94	1,03	2,01	1,06	1,26	1,15	1,95
12	1,25	2,42	1,12	2,59	1,18	2,96	1,13	2,02	1,16	1,26	1,26	1,98
13	1,42	2,42	1,21	2,54	1,26	2,93	1,23	2,02	1,26	1,25	1,37	1,94
14	1,46	2,45	1,31	2,53	1,38	2,92	1,32	2,00	1,36	1,25	1,45	1,92
15	1,54	2,44	1,41	2,51	1,49	2,93	1,42	2,01	1,48	1,24	1,59	1,92
16	1,68	2,41	1,51	2,52	1,63	2,93	1,53	2,01	1,56	1,24	1,70	1,94
17	1,81	2,40	1,60	2,54	1,69	2,92	1,62	2,00	1,66	1,28	1,81	1,92
18	1,90	2,41	1,70	2,50	1,79	2,94	1,71	2,00	1,80	1,25	1,92	1,91
19	2,03	2,39	1,80	2,49	1,90	2,93	1,81	1,99	1,86	1,23	2,03	1,93
20	2,09	2,40	1,89	2,50	2,00	2,95	1,91	2,10	1,96	1,37	2,14	1,91
№	Комплексный материал С ₁ Т ₂ (см.табл. 4.5)				Комплексный материал Т ₃ С ₂ Т ₃ (см.табл. 4.5)				Комплексный материал С ₃ Т ₁ (см.табл. 4.5)			
1	0,07	1,79	0,03	1,88	0,07	1,28	0,05	1,69	0,05	10,06	0,03	9,08
2	0,15	1,78	0,15	1,76	0,15	1,26	0,16	1,68	0,14	10,02	0,13	9,02
3	0,25	1,80	0,25	1,74	0,26	1,26	0,27	1,70	0,28	9,80	0,22	8,80
4	0,35	1,83	0,35	1,72	0,36	1,24	0,38	1,73	0,34	9,69	0,30	8,69
5	0,45	1,80	0,45	1,73	0,46	1,22	0,49	1,70	0,43	9,10	0,39	8,65
6	0,55	1,80	0,55	1,70	0,56	1,26	0,60	1,70	0,53	8,93	0,47	8,56
7	0,59	1,79	0,64	1,70	0,66	1,22	0,71	1,69	0,62	8,82	0,56	8,49
8	0,74	1,81	0,74	1,69	0,66	1,24	0,81	1,71	0,72	8,80	0,64	8,48
9	0,84	1,80	0,84	1,68	0,87	1,25	0,92	1,70	0,81	8,74	0,73	8,44
10	0,88	1,79	0,94	1,67	0,97	1,24	1,03	1,69	0,91	8,74	0,81	8,45
11	1,04	1,81	1,04	1,69	1,07	1,22	1,14	1,61	1,00	8,69	0,89	8,40
12	1,14	1,79	1,14	1,69	1,20	1,24	1,25	1,69	1,10	8,69	0,98	8,38
13	1,24	1,79	1,24	1,67	1,28	1,24	1,35	1,59	1,19	8,68	1,06	8,33
14	1,34	1,80	1,34	1,68	1,42	1,24	1,46	1,70	1,29	8,68	1,15	8,33
15	1,44	1,80	1,44	1,67	1,48	1,24	1,57	1,70	1,39	8,65	1,23	8,08
16	1,53	1,79	1,53	1,68	1,58	1,25	1,68	1,59	1,48	8,70	1,32	8,02
17	1,63	1,81	1,63	1,66	1,72	1,21	1,79	1,51	1,58	8,58	1,40	8,80
18	1,69	1,79	1,73	1,67	1,81	1,22	1,90	1,59	1,67	8,65	1,49	8,69
19	1,83	1,79	1,83	1,66	1,89	1,24	2,01	1,69	1,77	8,70	1,57	8,65
20	1,89	1,80	1,93	1,66	1,92	1,26	2,11	1,70	1,86	8,58	1,65	8,56

Результаты исследований многоцикловых характеристик при сжатии (после второй стирки)

№	Параметры сжатия: $P_{ц} = 1,5$ даН, $n = 100$ циклов; $t_w/t_o = 5/5$ с											
	свободное		стесненное		свободное		стесненное		свободное		стесненное	
	t,с	h,мм	t,с	h,мм	t,с	h,мм	t,с	h,мм	t,с	h,мм	t,с	h,мм
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	Полотно нетканое холстопршивное, арт. 927622				Полотно нетканое холстопршивное, арт. 917618				Войлок (ГОСТ 6418-81)			
1	0,07	1,69	0,07	0,44	0,07	2,39	0,06	1,22	0,03	0,53	0,05	2,64
2	0,16	1,65	0,15	0,37	0,16	2,34	0,17	1,21	0,15	0,52	0,15	2,64
3	0,26	1,64	0,26	0,38	0,27	2,31	0,29	1,24	0,24	0,50	0,25	2,62
4	0,29	1,64	0,36	0,37	0,38	2,30	0,40	1,21	0,34	0,50	0,35	2,61
5	0,47	1,64	0,46	0,36	0,49	2,27	0,51	1,19	0,44	0,49	0,45	2,59
6	0,62	1,63	0,62	0,36	0,58	2,26	0,63	1,21	0,55	0,49	0,55	2,59
7	0,68	1,64	0,67	0,33	0,70	2,26	0,74	1,19	0,63	0,50	0,64	2,60
8	0,80	1,63	0,77	0,34	0,81	2,24	0,85	1,18	0,73	0,48	0,74	2,55
9	0,89	1,61	0,87	0,32	0,92	2,23	0,97	1,18	0,83	0,45	0,84	2,56
10	1,00	1,60	0,97	0,30	1,03	2,28	1,08	1,20	0,89	0,48	0,94	2,54
11	1,10	1,61	1,08	0,32	1,14	2,24	1,20	1,19	1,02	0,46	1,04	2,55
12	1,21	1,60	1,18	0,35	1,27	2,22	1,31	1,18	1,12	0,46	1,14	2,54
13	1,29	1,60	1,32	0,32	1,35	2,20	1,42	1,17	1,21	0,44	1,24	2,53
14	1,41	1,60	1,38	0,30	1,45	2,21	1,54	1,17	1,31	0,46	1,33	2,51
15	1,52	1,61	1,48	0,32	1,57	2,22	1,65	1,18	1,41	0,48	1,43	2,52
16	1,59	1,61	1,61	0,30	1,72	2,24	1,77	1,17	1,48	0,46	1,53	2,54
17	1,73	1,60	1,69	0,31	1,79	2,23	1,88	1,16	1,60	0,48	1,63	2,50
18	1,78	1,59	1,79	0,29	1,89	2,22	1,99	1,18	1,68	0,46	1,73	2,49
19	1,94	1,61	1,91	0,31	2,03	2,24	2,11	1,17	1,79	0,45	1,83	2,50
20	2,04	1,58	2,00	0,30	2,11	2,20	2,22	1,15	1,89	0,46	1,93	2,64
№	Шерстипон (ВПЭф – 40 верблюжья шерсть – 60)				Шерстипон (ВПЭф – 40 овечья шерсть – 60)				Тинсулейт (Россия)			
1	0,03	2,90	0,04	3,64	0,07	3,76	0,04	2,52	0,03	7,30	0,04	6,24
2	0,16	2,80	0,11	3,51	0,14	3,72	0,13	2,48	0,10	7,21	0,13	6,16
3	0,27	2,76	0,18	3,49	0,24	3,71	0,22	2,44	0,16	7,19	0,22	6,14
4	0,38	2,76	0,26	3,47	0,34	3,71	0,30	2,40	0,22	7,15	0,30	6,10
5	0,49	2,75	0,33	3,46	0,43	3,73	0,39	2,38	0,28	7,13	0,39	6,05
6	0,58	2,73	0,41	3,43	0,53	3,70	0,47	2,40	0,35	7,10	0,47	6,07
7	0,71	2,72	0,48	3,44	0,62	3,70	0,56	2,36	0,41	7,08	0,56	6,09
8	0,81	2,72	0,55	3,40	0,72	3,70	0,64	2,35	0,45	7,06	0,64	6,05
9	0,92	2,72	0,63	3,40	0,78	3,71	0,73	2,36	0,53	7,08	0,73	6,05
10	1,03	2,70	0,70	3,38	0,91	3,72	0,81	2,34	0,59	7,08	0,81	6,06
11	1,14	2,72	0,75	3,39	1,00	3,70	0,90	2,33	0,65	7,00	0,89	6,02
12	1,32	2,72	0,85	3,38	1,10	3,69	0,99	2,33	0,72	6,97	0,98	6,05
13	1,35	2,72	0,92	3,38	1,19	3,72	1,09	2,36	0,75	6,99	1,06	5,99
14	1,46	2,70	0,99	3,36	1,29	3,69	1,29	2,36	0,84	7,00	1,15	5,99
15	1,62	2,68	1,07	3,37	1,42	3,68	1,39	2,35	0,90	6,78	1,23	5,99
16	1,68	2,70	1,14	3,32	1,48	3,68	1,50	2,33	0,96	6,89	1,32	5,99
17	1,79	2,72	1,21	3,32	1,58	3,69	1,60	2,32	1,02	6,98	1,40	5,96
18	1,88	2,71	1,29	3,33	1,67	3,68	1,70	2,32	1,08	7,10	1,49	5,92
19	2,01	2,71	1,36	3,31	1,82	3,69	1,81	2,32	1,14	6,99	1,57	6,02
20	2,11	2,72	1,43	3,33	1,86	3,67	1,92	2,32	1,20	6,89	1,65	6,01

№	Параметры сжатия: $P_{\text{ц}} = 1,5$ даН, $n = 100$ циклов; $t_{\text{н}}/t_{\text{о}} = 5/5$ с											
	свободное		стесненное		свободное		стесненное		свободное		стесненное	
	t,с	h,мм	t,с	h,мм	t,с	h,мм	t,с	h,мм	t,с	h,мм	t,с	h,мм
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	Синтепон (СК150/300)				Холлофайбер (ООО «Термопол» Россия (г. Москва))				Комплексный материал С ₁ Т ₁ (см.табл. 4.5)			
1	0,07	0,72	0,05	2,04	0,07	0,84	0,05	1,48	0,05	1,25	0,05	0,22
2	0,16	0,69	0,14	2,05	0,16	0,84	0,15	1,46	0,15	1,21	0,16	0,21
3	0,27	0,62	0,24	2,08	0,24	0,83	0,24	1,44	0,25	1,23	0,27	0,17
4	0,38	0,62	0,32	2,04	0,36	0,80	0,34	1,41	0,36	1,26	0,38	0,18
5	0,47	0,64	0,42	2,02	0,46	0,79	0,44	1,42	0,42	1,14	0,49	0,18
6	0,66	0,63	0,54	2,02	0,56	0,78	0,56	1,40	0,55	1,16	0,60	0,19
7	0,71	0,62	0,63	2,00	0,67	0,78	0,66	1,40	0,66	1,16	0,71	0,19
8	0,81	0,66	0,72	2,00	0,76	0,79	0,74	1,40	0,76	1,12	0,82	0,18
9	0,88	0,62	0,83	2,00	0,92	0,75	0,83	1,39	0,86	1,12	0,93	0,18
10	1,03	0,60	0,92	1,98	0,97	0,74	0,93	1,39	0,92	1,12	1,04	0,18
11	1,14	0,61	1,02	1,99	1,08	0,75	1,02	1,38	1,06	1,12	1,15	0,22
12	1,27	0,62	1,12	1,98	1,20	0,74	1,13	1,37	1,16	1,12	1,26	0,18
13	1,35	0,60	1,21	1,99	1,28	0,71	1,23	1,36	1,26	1,07	1,35	0,19
14	1,52	0,57	1,31	1,98	1,42	0,71	1,32	1,36	1,32	1,10	1,48	0,18
15	1,57	0,63	1,41	1,97	1,49	0,74	1,42	1,39	1,45	1,07	1,59	0,18
16	1,68	0,57	1,51	1,97	1,56	0,71	1,52	1,37	1,52	1,08	1,70	0,17
17	1,79	0,58	1,60	1,96	1,69	0,69	1,62	1,37	1,66	1,09	1,81	0,17
18	1,89	0,57	1,72	1,98	1,79	0,60	1,71	1,38	1,76	1,08	1,92	0,18
19	2,01	0,57	1,82	1,96	1,88	0,63	1,81	1,38	1,86	1,07	2,03	0,20
20	2,11	0,56	1,89	1,96	2,00	0,64	1,91	1,35	1,94	1,07	2,14	0,20
№	Образец №10				Образец №11				Образец №12			
1	0,07	2,93	0,05	2,70	0,07	2,10	0,06	2,59	0,03	6,24	0,04	9,08
2	0,15	2,90	0,15	2,66	0,16	2,04	0,17	2,58	0,14	6,16	0,13	9,02
3	0,25	2,89	0,25	2,63	0,27	1,97	0,29	2,59	0,24	6,14	0,22	8,80
4	0,35	2,86	0,35	2,62	0,38	1,94	0,40	2,57	0,34	6,10	0,30	8,69
5	0,45	2,84	0,45	2,60	0,49	1,90	0,51	2,58	0,43	6,08	0,39	8,65
6	0,55	2,84	0,55	2,61	0,60	1,86	0,63	2,57	0,53	6,07	0,47	8,56
7	0,64	2,80	0,64	2,63	0,70	1,84	0,74	2,56	0,62	6,09	0,56	8,49
8	0,74	2,83	0,74	2,57	0,81	1,80	0,85	2,55	0,72	6,05	0,64	8,48
9	0,92	2,80	0,84	2,56	0,92	1,76	0,97	2,54	0,81	6,05	0,73	8,44
10	0,93	2,79	0,94	2,58	1,03	1,73	1,08	2,50	0,91	6,06	0,81	8,45
11	1,04	2,78	1,04	2,57	1,14	1,72	1,20	2,48	1,00	6,02	0,89	8,40
12	1,14	2,77	1,14	2,55	1,32	1,71	1,31	2,53	1,10	6,02	0,98	8,38
13	1,24	2,75	1,24	2,59	1,35	1,67	1,42	2,54	1,19	5,99	1,03	8,33
14	1,34	2,76	1,34	2,56	1,46	1,63	1,54	2,49	1,29	5,99	1,15	8,33
15	1,52	2,70	1,43	2,54	1,57	1,60	1,65	2,50	1,39	5,99	1,23	8,08
16	1,53	2,67	1,53	2,53	1,68	1,57	1,77	2,52	1,48	5,99	1,32	8,02
17	1,63	2,56	1,63	2,53	1,81	1,57	1,88	2,45	1,58	5,96	1,40	8,80
18	1,73	2,66	1,73	2,52	1,89	1,54	1,99	2,40	1,67	5,92	1,49	8,69
19	1,88	2,50	1,83	2,54	2,00	1,52	2,11	2,52	1,77	6,02	1,57	8,65
20	2,01	2,49	1,93	2,52	2,11	1,53	2,22	2,40	1,86	6,01	1,65	8,56

Результаты исследований многоцикловых характеристик при сжатии (во влажном состоянии)

№	Параметры сжатия: $P_{ц} = 1,5$ даН, $n = 100$ циклов; $t_w/t_o = 5/5$ с											
	свободное		стесненное		свободное		стесненное		свободное		стесненное	
	t,с	h,мм	t,с	h,мм	t,с	h,мм	t,с	h,мм	t,с	h,мм	t,с	h,мм
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	Полотно нетканое холстопршивное, арт. 927622				Полотно нетканое холстопршивное, арт. 917618				Войлок (ГОСТ 6418-81)			
1	0,07	0,44	0,05	2,93	0,05	0,42	0,06	0,93	0,05	2,70	0,05	0,53
2	0,16	0,37	0,15	2,88	0,16	0,42	0,17	0,93	0,15	2,66	0,15	0,52
3	0,26	0,38	0,26	2,83	0,27	0,41	0,29	0,92	0,24	2,63	0,25	0,50
4	0,37	0,37	0,36	2,79	0,38	0,41	0,40	0,90	0,34	2,62	0,35	0,50
5	0,47	0,36	0,46	2,76	0,49	0,40	0,51	0,92	0,44	2,60	0,45	0,49
6	0,58	0,37	0,56	2,74	0,60	0,40	0,63	0,90	0,53	2,61	0,54	0,47
7	0,72	0,33	0,67	2,68	0,70	0,41	0,74	0,89	0,63	2,63	0,64	0,50
8	0,79	0,34	0,77	2,64	0,81	0,41	0,85	0,87	0,73	2,57	0,74	0,48
9	0,89	0,32	0,87	2,64	0,92	0,41	1,02	0,88	0,83	2,56	0,84	0,48
10	1,00	0,30	0,97	2,60	1,03	0,41	1,08	0,89	0,92	2,57	0,94	0,48
11	1,10	0,32	1,08	2,56	1,14	0,40	1,20	0,90	1,02	2,57	1,04	0,46
12	1,18	0,37	1,18	2,53	1,25	0,40	1,31	0,85	1,12	2,55	1,14	0,46
13	1,31	0,32	1,28	2,51	1,35	0,41	1,42	0,88	1,21	2,59	1,24	0,44
14	1,41	0,30	1,38	2,48	1,46	1,38	1,54	0,87	1,31	2,56	1,33	0,46
15	1,52	0,32	1,48	2,46	1,57	0,38	1,72	0,84	1,41	2,54	1,43	0,48
16	1,62	0,30	1,59	2,43	1,68	0,40	1,77	0,85	1,50	2,53	1,53	0,46
17	1,73	0,31	1,69	2,37	1,77	0,38	1,88	0,86	1,60	2,53	1,63	0,47
18	1,85	0,29	1,79	2,35	1,89	0,38	1,89	0,85	1,70	2,52	1,73	0,46
19	1,94	0,31	1,89	2,30	2,00	0,37	2,04	0,85	1,79	2,54	1,83	0,45
20	2,02	0,30	2,00	2,30	2,11	0,38	2,10	0,85	1,89	2,52	1,93	0,46
№	Шерстипон (ВПЭф – 40 верблюжья шерсть – 60)				Шерстипон (ВПЭф – 40 овечья шерсть – 60)				Тинсулейт (Россия)			
1	0,07	2,90	0,04	2,67	0,07	3,76	0,04	2,93	0,05	7,30	0,04	6,24
2	0,16	2,80	0,11	2,66	0,14	3,72	0,13	2,88	0,10	7,21	0,13	6,16
3	0,27	2,76	0,18	2,65	0,24	3,71	0,22	2,83	0,16	7,19	0,22	6,14
4	0,38	2,76	0,26	2,64	0,34	3,71	0,30	2,79	0,22	7,15	0,30	6,10
5	0,49	2,75	0,33	2,60	0,43	3,73	0,39	2,76	0,28	7,13	0,39	6,08
6	0,60	2,73	0,41	2,59	0,53	3,70	0,47	2,74	0,35	7,10	0,47	6,07
7	0,71	2,72	0,48	2,58	0,62	3,70	0,56	2,68	0,45	7,08	0,56	6,09
8	0,88	2,72	0,55	2,57	0,72	3,70	0,64	2,64	0,47	7,06	0,64	6,05
9	0,95	2,72	0,63	2,54	0,78	3,71	0,73	2,64	0,53	7,08	0,73	6,05
10	1,03	2,70	0,70	2,54	0,91	3,72	0,81	2,60	0,59	7,08	0,81	6,06
11	1,14	2,72	0,77	2,55	1,00	3,70	0,90	2,56	0,65	7,00	0,89	6,02
12	1,32	2,72	0,85	2,53	1,10	3,69	0,99	2,53	0,72	6,97	0,98	6,02
13	1,35	2,72	0,92	2,50	1,23	3,72	1,09	2,51	0,82	6,99	1,06	5,99
14	1,46	2,75	0,99	2,49	1,29	3,69	1,29	2,48	0,84	7,00	1,15	5,99
15	1,57	2,68	1,07	2,48	1,39	3,68	1,39	2,46	0,90	6,78	1,23	5,99
16	1,72	2,70	1,14	2,47	1,52	3,68	1,50	2,43	0,96	6,89	1,32	5,99
17	1,75	2,72	1,21	2,47	1,58	3,69	1,60	2,37	1,02	6,98	1,40	5,96
18	1,90	2,71	1,29	2,47	1,67	3,68	1,70	2,35	1,08	7,10	1,49	5,92
19	2,11	2,71	1,36	2,45	1,82	3,69	1,81	2,30	1,14	6,99	1,57	6,02
20	2,22	2,72	1,43	2,44	1,86	3,67	1,92	2,30	1,20	6,89	1,65	6,01

Окончание таблицы А.4

№	Параметры сжатия: $P_{ш} = 1,5$ даН, $n = 100$ циклов; $t_w/t_o = 5/5$ с											
	свободное		стесненное		свободное		стесненное		свободное		стесненное	
	t,с	h,мм	t,с	h,мм	t,с	h,мм	t,с	h,мм	t,с	h,мм	t,с	h,мм
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	Синтепон (СК150/300)				Холлофайбер (ООО «Термопол» Россия (г. Москва))				Комплексный материал С ₁ Т ₁ (см.табл. 4.5)			
1	0,07	0,72	0,07	1,87	0,07	0,84	0,05	0,84	0,07	0,22	0,05	1,13
2	0,16	0,69	0,14	1,75	0,15	0,84	0,15	0,84	0,15	0,21	0,16	1,10
3	0,27	0,64	0,24	1,72	0,26	0,83	0,24	0,83	0,25	0,17	0,27	1,09
4	0,38	0,62	0,34	1,71	0,36	0,80	0,34	0,80	0,35	0,18	0,38	1,11
5	0,49	0,62	0,44	1,69	0,46	0,79	0,44	0,79	0,45	0,18	0,49	1,08
6	0,60	0,63	0,54	1,67	0,56	0,78	0,54	0,78	0,55	0,19	0,60	1,07
7	0,71	0,60	0,63	1,66	0,67	0,78	0,64	0,78	0,66	0,19	0,71	1,05
8	0,81	0,60	0,73	1,66	0,77	0,79	0,74	0,79	0,76	0,18	0,82	1,01
9	0,88	0,62	0,83	1,66	0,90	0,75	0,83	0,75	0,90	0,18	0,93	1,00
10	1,03	0,60	0,95	1,65	0,97	0,74	0,93	0,74	0,96	0,18	1,04	0,99
11	1,14	0,61	1,02	1,60	1,08	0,75	1,03	0,75	1,06	0,22	1,15	0,99
12	1,25	0,60	1,12	1,59	1,18	0,74	1,13	0,74	1,16	0,18	1,26	0,98
13	1,35	0,60	1,21	1,58	1,32	0,71	1,23	0,71	1,26	0,19	1,37	0,97
14	1,52	0,58	1,31	1,60	1,38	0,70	1,32	0,70	1,42	0,18	1,48	0,96
15	1,57	0,60	1,50	1,57	1,49	0,74	1,42	0,74	1,46	0,18	1,59	0,98
16	1,68	0,57	1,51	1,62	1,61	0,70	1,52	0,70	1,56	0,17	1,70	0,97
17	1,79	0,58	1,68	1,56	1,69	0,69	1,62	0,69	1,66	0,17	1,81	0,95
18	1,88	0,58	1,70	1,55	1,79	0,68	1,71	0,68	1,80	0,18	1,92	0,96
19	2,18	0,57	1,78	1,56	1,88	0,65	1,81	0,65	1,86	0,20	2,03	0,94
20	2,20	0,56	1,89	1,55	2,00	0,64	1,91	0,64	2,01	0,20	2,14	0,90
№	Комплексный материал С ₁ Т ₂ (см.табл. 4.5)				Комплексный материал Т ₃ С ₂ Т ₃ (см.табл. 4.5)				Комплексный материал С ₃ Т ₁ (см.табл. 4.5)			
1	0,07	1,13	0,05	0,98	0,07	2,02	0,05	2,10	0,05	7,63	0,04	9,08
2	0,15	1,12	0,15	0,94	0,15	1,95	0,16	2,04	0,14	7,38	0,13	9,02
3	0,25	1,11	0,25	0,93	0,26	1,92	0,27	1,97	0,24	7,32	0,22	8,80
4	0,35	1,10	0,35	0,91	0,36	1,90	0,38	1,94	0,34	7,25	0,30	8,69
5	0,45	1,00	0,45	0,90	0,46	1,90	0,49	1,90	0,43	7,23	0,39	8,65
6	0,55	0,99	0,55	0,90	0,56	1,91	0,60	1,86	0,53	7,20	0,47	8,56
7	0,64	0,98	0,64	0,90	0,72	1,89	0,71	1,84	0,62	7,18	0,56	8,49
8	0,74	0,97	0,74	0,90	0,77	1,92	0,81	1,80	0,72	7,14	0,64	8,48
9	0,90	0,96	0,84	0,89	0,87	1,88	0,92	1,76	0,81	7,14	0,73	8,44
10	0,94	0,97	0,94	0,87	0,97	1,91	1,03	1,73	0,91	7,12	0,81	8,35
11	1,04	0,98	1,04	0,87	1,07	1,89	1,14	1,72	1,00	7,06	0,89	8,30
12	1,14	0,97	1,14	0,86	1,20	1,90	1,25	1,71	1,10	7,03	0,98	8,28
13	1,24	0,97	1,24	0,85	1,28	1,86	1,35	1,67	1,19	7,00	1,06	8,23
14	1,34	0,98	1,34	0,85	1,38	1,89	1,46	1,63	1,29	6,99	1,15	8,23
15	1,52	0,98	1,44	0,84	1,48	1,88	1,57	1,60	1,39	7,00	1,23	8,18
16	1,53	0,95	1,53	0,83	1,62	1,90	1,68	1,57	1,48	6,97	1,32	8,23
17	1,63	0,95	1,63	0,83	1,69	1,86	1,79	1,57	1,58	6,94	1,40	8,40
18	1,73	0,97	1,73	0,82	1,79	1,85	1,90	1,54	1,67	6,94	1,49	8,49
19	1,85	0,96	1,83	0,80	1,90	1,86	2,01	1,52	1,77	6,91	1,57	8,35
20	2,01	0,94	1,93	0,83	1,99	1,84	2,11	1,53	1,86	6,91	1,65	8,36

Объём выборки

```
n := rows(ReadData)  n = 15
```

$$A := \begin{bmatrix} n & \sum_{i=1}^n \ln(X_i) & \sum_{i=1}^n X_i \\ \sum_{i=1}^n \ln(X_i) & \sum_{i=1}^n (\ln(X_i))^2 & \sum_{i=1}^n (X_i \cdot \ln(X_i)) \\ \sum_{i=1}^n X_i & \sum_{i=1}^n (\ln(X_i) \cdot X_i) & \sum_{i=1}^n (X_i)^2 \end{bmatrix} \quad B := \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^n \ln(Y_i) \\ \sum_{i=1}^n (\ln(Y_i) \cdot \ln(X_i)) \\ \sum_{i=1}^n (\ln(Y_i) \cdot X_i) \end{bmatrix}$$

$$A = \begin{pmatrix} 15 & -7.889 & 11.8 \\ -7.889 & 16.632 & -0.574 \\ 11.8 & -0.574 & 12.357 \end{pmatrix} \quad B = \begin{pmatrix} 10.341 \\ -5.615 \\ 8.054 \end{pmatrix}$$

```
xSerch := A-1 · B
```

$$xSerch = \begin{pmatrix} 0.68494 \\ -0.01282 \\ -0.00292 \end{pmatrix}$$

```
a := exSerch1
```

```
b := xSerch2
```

```
c := xSerch3
```

Коэффициенты при
неизвестных

```
a = 1.984
```

```
b = -0.013
```

```
c = -0.003
```

График функции $F(x) := a \cdot x^b \cdot e^{c \cdot x}$

```
start := min(X)  начало отрезка
```

```
end := max(X)  конец отрезка
```

```
h := 0.01  шаг
```

```
x := start, start + h.. end
```

Построим графики степенной и логарифмической функции

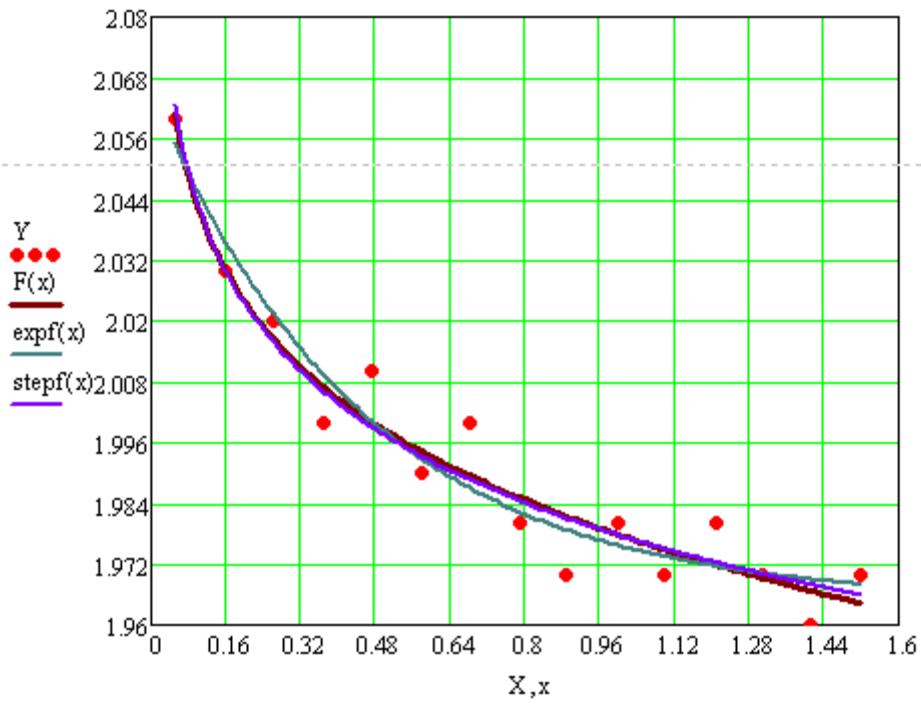
$$g := \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix}$$

```
EXP := expfit(X, Y)
```

```
STEP := pwrfit(X, Y, g)
```

```
expf(x) := EXP1 · eEXP2 · x + EXP3
```

```
stepf(x) := STEP1 · xSTEP2 + STEP3
```



Сумма квадратов отклонения прологарифмированной функции

$$S_{\text{log}} := \sum_{i=1}^n (F(X_i) - Y_i)^2 \quad S = 0.000615$$

+

Сумма квадратов отклонения экспоненциальной функции

$$S_{\text{exp}} := \sum_{i=1}^n (\expf(X_i) - Y_i)^2 \quad S = 0.000678$$

Сумма квадратов отклонения степенной функции

$$S_{\text{step}} := \sum_{i=1}^n (\text{stepf}(X_i) - Y_i)^2 \quad S = 0.000627$$

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Алгоритм решения уравнения $y=ax^b e^{cx}$ с помощью программного обеспечения MathCAD

Справка

Исходные данные должны храниться в одной папке с файлом .xmsd (данный файл MathCAD), значения записаны в формате: каждая пара значений записывается в новой строке через пробел или tab. Формат файла - текстовый (.txt - можно заполнить через блокнот).

Если файл находится в другой папке, то необходимо прописать полный путь к нему (Пример D:\Документы\Образы\data.txt)

Указываем, что нумерация массивов должна начинаться с 1 (как нам привычно)

ORIGIN := 1

Чтение из файла `Имя_файла := "data.txt"`

Функция чтения из файла

`ReadData := READPRN(Имя_файла)`

Для работы с X и Y выделяем их в отдельные массивы

`X := ReadData <1>` берём первый столбец

`Y := ReadData <2>` берём второй столбец

	X		Y			
ReadData =	1		2			
	1		2.98			
	2		2.99			
	3		3.01			
	4		3.02			
	5		3.05			
	6		3.04			
	7		3.06			
	8		3.06			
	9		3.13			
	10		3.18			

	1
X =	1.03
	0.92
	0.81
	0.71
	0.6
	0.49
	0.38
	0.27
	0.16
	0.05

	1
Y =	2.98
	2.99
	3.01
	3.02
	3.05
	3.04
	3.06
	3.06
	3.13
	3.18

Объём выборки

$n := \text{rows}(\text{ReadData})$ $n = 10$ Определяется количеством считанных строк в ReadData

Формируем матрицы A и B

$$A := \begin{bmatrix} n & \sum_{i=1}^n \ln(X_i) & \sum_{i=1}^n X_i \\ \sum_{i=1}^n \ln(X_i) & \sum_{i=1}^n (\ln(X_i))^2 & \sum_{i=1}^n (X_i \cdot \ln(X_i)) \\ \sum_{i=1}^n X_i & \sum_{i=1}^n (\ln(X_i) \cdot X_i) & \sum_{i=1}^n (X_i)^2 \end{bmatrix} \quad B := \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^n \ln(Y_i) \\ \sum_{i=1}^n (\ln(Y_i) \cdot \ln(X_i)) \\ \sum_{i=1}^n (\ln(Y_i) \cdot X_i) \end{bmatrix}$$

Матрицы A и B с подставленными значениями

$$A = \begin{pmatrix} 10 & -8.936 & 5.42 \\ -8.936 & 15.923 & -2.28 \\ 5.42 & -2.28 & 3.913 \end{pmatrix} \quad B = \begin{pmatrix} 11.156 \\ -10.136 \\ 5.991 \end{pmatrix}$$

Матрица неизвестных

$x\text{Serch} := A^{-1} \cdot B$	Выделяем коэффициенты	Кoeffициенты при неизвестных
$x\text{Serch} = \begin{pmatrix} 1.1083 \\ -0.01651 \\ -0.01373 \end{pmatrix}$	$a := e^{x\text{Serch}_1}$ $b := x\text{Serch}_2$ $c := x\text{Serch}_3$	$a = 3.029$ $b = -0.017$ $c = -0.014$

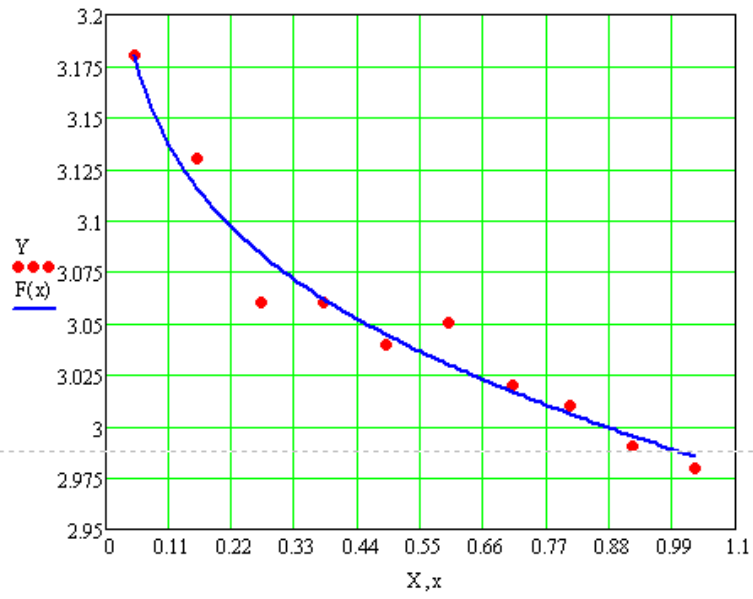
График функции $F(x) := a \cdot x^b \cdot e^{c \cdot x}$

$\text{start} := \min(X)$ определяем начало отрезка как наименьшее значение X

$\text{end} := \max(X)$ конец отрезка, наибольшее значение X

$h := 0.01$ шаг

$x := \text{start}, \text{start} + h.. \text{end}$



Сумма квадратов отклонения

$$S_{\text{кв}} = \sum_{i=1}^n (F(X_i) - Y_i)^2 \quad S = 0.0013$$

Приложение Г
Таблица Г1

Основные статистические характеристики оценки толщины проб в условиях циклического сжатия

Циклы	Результат измерения толщины элементарной пробы, мм										Средний результат, мм	Выборочн. среднев. отклонение, мм	Коэффициент вариации, %	Случайная погрешность	
														абсолютная, мм	относительная, %
Ватин холстопршивной арт. 927622															
0	4,76	4,83	4,82	4,84	4,81	4,85	4,82	4,84	4,83	4,89	4,83	0,03	0,68	0,55	11,44
100	4,06	4,0	4,12	3,90	4,05	3,91	4,06	4,0	3,91	4,06	4,01	0,02	0,55	0,45	10,48
Ватин холстопршивной арт. 9276226															
0	3,01	2,91	2,90	2,87	2,84	2,86	2,82	2,85	2,80	2,81	2,83	0,05	0,88	0,72	11,19
100	2,01	1,83	1,92	1,89	1,91	1,85	1,88	1,89	1,83	1,93	1,93	0,03	0,68	0,55	10,44
Войлок (Россия)															
0	5,98	5,99	6,00	5,99	6,00	6,01	6,02	6,00	6,01	6,02	6,00	0,01	0,33	0,27	6,68
100	5,75	5,74	5,73	5,74	5,75	5,76	5,75	5,76	5,75	5,75	5,76	0,01	0,29	0,23	8,53
Шерстипон: ВПэф – 40%; Верблюжья шерсть – 60%															
0	24,59	24,48	24,49	24,45	24,39	24,54	24,41	24,40	24,47	24,40	24,44	0,13	0,91	0,74	7,76
100	23,46	23,49	23,46	23,48	23,47	23,49	23,48	23,46	23,47	23,46	23,46	0,01	0,37	0,30	8,54
Шерстипон: ВПэф – 40%; Овечья шерсть – 60%															
0	14,93	14,94	14,88	14,93	14,82	14,95	14,81	14,95	14,73	14,93	14,89	0,08	0,85	0,69	7,78
100	12,93	13,10	12,77	13,10	13,00	12,90	12,87	12,92	12,71	12,88	12,91	0,13	1,15	0,94	8,58
Тинсулейт (Россия) P 150															
0	15,79	15,85	15,75	15,87	15,76	15,90	15,85	15,78	15,88	15,86	15,83	0,05	0,58	0,47	5,14
100	13,83	14,10	13,77	14,10	14,00	13,80	13,67	13,82	13,71	13,68	13,72	0,13	1,15	0,94	7,58
Синтепон арт. СК150/300															
0	7,63	7,69	7,61	7,63	7,62	7,65	7,68	7,83	7,84	7,89	7,76	0,11	0,93	0,74	9,87
100	6,57	6,48	6,51	6,47	6,39	6,59	6,43	6,40	6,47	6,63	6,49	0,09	0,91	0,73	7,96
Холлофайбер															
0	11,93	12,10	11,87	12,10	12,14	11,90	11,87	11,92	11,71	12,10	11,97	0,13	1,15	0,94	8,58
100	9,19	9,25	9,15	9,27	9,16	9,30	9,25	9,18	9,28	9,26	9,26	0,05	0,58	0,47	5,14

Изменение толщины и деформации проб после 100 циклов сжатия материалов при циклической нагрузке 1,5 даН, времени нагружения и отдыха пробы цикле по 5 с

Образец материала	Сжатие	Предварит. обработка	Толщина проб, мм			Деформация после сжатия				
			до сжатия δ_0	при сжатии $\delta_{сж}$	после отдыха $\delta_{ц}$	полная, % ($\times 10^2$)		необратимая, доли		
			Количество циклов сжатия							
			–	1	100	1	100	100		
Ватин полушерстяной арт. 927622	Стесненное	–	4,8	4,11	4,0	0,29	0,58	0,31		
		увл.	5,7	3,5	2,97	0,39	0,63	0,10		
	Свободное	–	4,7	4,3	4,1	0,26	0,44	0,14		
		увл.	5,8	4,07	3,97	0,48	0,62	0,31		
Ватин полушерстяной арт. 9276226	Стесненное	–	2,8	2,5	1,93	0,11	0,21	0,10		
		увл.	3,0	2,93	1,43	0,67	0,93	0,19		
	Свободное	–	2,6	2,51	1,97	0,39	0,46	0,17		
		увл.	2,9	2,12	1,27	0,5	0,81	0,32		
Войлок (Россия)	Стесненное	–	6,0	5,91	5,76	0,04	0,20	0,15		
		увл.	6,6	6,13	5,82	0,04	0,31	0,16		
	Свободное	–	5,9	5,53	5,0	0,03	0,27	0,11		
		увл.	6,5	6,3	5,63	0,03	0,34	0,19		
Шерстипон ВПэф – 40 Верблюжья шерсть – 60	Стесненное	–	24,4	23,87	23,46	0,25	0,24	0,13		
		увл.	18,6	18,4	17,9	0,33	0,30	0,19		
	Свободное	–	24,2	23,83	23,2	0,23	0,22	0,13		
		увл.	19,3	18,31	18,8	0,31	0,31	0,13		
Шерстипон ВПэф – 40 Овечья шерсть – 60	Стесненное	–	14,9	13,93	12,9	0,13	0,19	0,24		
		увл.	16,2	15,62	14,5	0,38	0,34	0,10		
	Свободное	–	14,7	13,58	12,5	0,23	0,21	0,12		
		увл.	17,0	16,28	15,01	0,09	0,26	0,23		
Тинсулейт (Россия) Р 150	Стесненное	–	15,8	14,81	13,72	0,28	0,25	0,13		
		увл.	15,9	14,21	13,9	0,18	0,36	0,05		
	Свободное	–	15,6	14,64	13,53	0,34	0,34	0,26		
		увл.	16,1	15,63	14,2	0,27	0,33	0,11		
Синтепон арт. СК150/300	Стесненное	–	7,80	7,34	6,49	0,18	0,18	0,16		
		увл.	12,0	8,44	9,23	0,13	0,77	0,13		
	Свободное	–	7,5	6,43	6,27	0,40	0,40	0,15		
		увл.	12,6	10,88	9,75	0,16	0,66	0,16		
Холло-файбер	Стесненное	–	11,83	10,52	9,26	0,10	0,21	0,13		
		увл.	19,68	15,74	11,4	0,19	0,42	0,16		
	Свободное	–	12,58	10,99	8,52	0,12	0,32	0,11		
		увл.	17,60	14,59	8,23	0,17	0,53	0,16		

Экспериментальные данные и теоретические расчеты остаточной деформации нетканых материалов при циклическом сжатии

Материал	Сжатие	Значения величины остаточной деформации, доли		Ошибка, % $\Delta h = \frac{h_{\text{теор}} - h_{\text{эксп}}}{h_{\text{эксп}}} \cdot 100$
		расчетны е	экспериме нтальные	
		$h_{\text{теор}}$	$h_{\text{эксп}}$	
Полотно нетканое холстопршивное, арт. 927622	Стесненно е	0,31	0,28	10,7
	Свободное	0,14	0,15	6,6
Полотно нетканое холстопршивное, арт. 917618	Стесненно е	0,10	0,09	11,1
	Свободное	0,17	0,20	15,0
Войлок (Россия)	Стесненно е	0,15	0,13	15,3
	Свободное	0,11	0,12	8,3
Шерстипон (ВПЭф – 40 %; верблюжья шерсть – 60%)	Стесненно е	0,13	0,16	18,7
	Свободное	0,13	0,15	15,3
Шерстипон (ВПЭф – 40 %; овечья шерсть – 60%)	Стесненно е	0,24	0,26	7,6
	Свободное	0,12	0,14	14,2
Тинсулейт Р 150	Стесненно е	0,13	0,15	13,3
	Свободное	0,26	0,29	10,3
Синтепон СК150/300	Стесненно е	0,16	0,19	15,7
	Свободное	0,15	0,17	11,7
Холлофайбер	Стесненно е	0,13	0,15	13,3
	Свободное	0,16	0,19	15,7

Патент на полезную модель

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**ПАТЕНТ**

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 144579

**УСТРОЙСТВО ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДЕФОРМАЦИИ
ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ СЖАТИИ**

Патентообладатель(ли): *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Южно-Уральский государственный университет" (национальный исследовательский университет) (ФГБОУ ВПО "ЮУрГУ" (НИУ)) (RU)*

Автор(ы): *см. на обороте*

Заявка № 2014115352

Приоритет полезной модели 16 апреля 2014 г.

Зарегистрировано в Государственном реестре полезных моделей Российской Федерации 23 июля 2014 г.

Срок действия патента истекает 16 апреля 2024 г.

*И.о. руководителя Федеральной службы
по интеллектуальной собственности*

Л.Л. Кирий



ПРИЛОЖЕНИЕ Ж

Сведения о внедрении результатов, полученных в диссертационной работе

В диссертационный совет Д 212.144.06
Московского государственного
университета дизайна и технологии

СПРАВКА

о внедрении в учебный процесс результатов диссертационной работы
Аллы Игоревны Дерябиной на тему «Разработка метода оценки и исследование деформации
при циклическом сжатии объемных нетканых материалов для одежды».

Разработанный метод, включен в методическое обеспечение дисциплин «Технология швейных изделий из различных материалов», «Материалы для одежды и конфекционирование», при подготовке специалистов по специальности 100100.62 «Сервис» на кафедре «Конструирования и технологии изделий лёгкой промышленности» ФГБОУ ВПО «Омский государственный институт сервиса» (г. Омск).

Практические рекомендации и новый метод оценки показателей изменения деформации нетканых материалов, разработанные в диссертационной работе используются на практических и лабораторных занятиях, при выполнении дипломного и курсового проектирования, в научно-исследовательской работе аспирантов и студентов кафедры.

Проректор по учебно-методической работе
ФГБОУ ВПО «ОГИС»

к.и.н., доц.



А. С. Полинский

И. о. декана художественно-технологического
факультета ФГБОУ ВПО «ОГИС»

к.ф.н., доц.



Н. А. Седова

Зав. кафедрой «Конструирования и технологии изделий
лёгкой промышленности» ФГБОУ ВПО «ОГИС»

д.т.н., проф.




Г. М. Андросова

В диссертационный совет Д 212.144.06
Московского государственного
университета дизайна и технологии

СПРАВКА

о внедрении в учебный процесс результатов диссертационной работы
Аллы Игоревны Дерябиной на тему «Разработка метода оценки и исследование деформации
при циклическом сжатии объемных нетканых материалов для одежды»

Диссертационное исследование Дерябиной А.И. на тему «Разработка метода оценки и исследование деформации при циклическом сжатии объемных нетканых материалов для одежды», выполненное на кафедре «Проектирование и технология изделий сервиса» филиал ФГБОУ ВПО «ЮУрГУ» (НИУ) в г. Златоусте, направлено на совершенствование методов оценки прогнозирования деформационных свойств материалов и их систем для одежды при технологических и эксплуатационных воздействиях.

Разработанный метод включен в методическое обеспечение дисциплин «Материаловедение в производстве швейных изделий», «Материалы для одежды», при подготовке специалистов по специальности 29.03.01. «Технология изделий легкой промышленности» на кафедре «Дизайн технологии материаловедения и экспертизы потребительских товаров» ФГБОУ ВПО «Костромской государственной технологической университет» (г. Кострома).

Проректор по учебной работе
ФГБОУ ВПО «КГТУ»
д.т.н., профессор



Ж.Ю. Койтова

Декан технологического факультета
ФГБОУ ВПО «КГТУ»
к.т.н., доцент

Е.Н. Борисова

Зав. кафедрой дизайна, технологии,
материаловедения и экспертизы
потребительских товаров
ФГБОУ ВПО «КГТУ»
к.т.н., доцент

О.В. Иванова

«СОГЛАСОВАНО»

Директор филиала ФГБОУ ВПО
«ЮУрГУ» (НИУ) в г. Златоусте
Чуманов В.И./

« 14 »

2015 г.



«УТВЕРЖДАЮ»

Управляющий по
производству ООО Швейное
производство «Эвитрика»

Кейль Н.В./

2015 г.



А К Т внедрения разработок ВУЗа

Настоящим документом уведомляется, что разработки кафедры
«Проектирование и технология изделий сервиса» филиала ФГБОУ ВПО
«Южно-уральский государственный университет» (Национальный
исследовательский университет) в г. Златоусте

(наименование ВУЗа и его подразделение)

а именно: теоретические и экспериментальные исследования, выполненные
лично инженером кафедры «Проектирование и технология изделий сервиса»
филиала ФГБОУ ВПО «ЮУрГУ» (НИУ) в г. Златоусте Дерябиной А.И. и при ее
непосредственном участии, направленные на разработку методов оценки
качества материалов в условиях производства и
эксплуатации.

(сущность разработок, название)

и переданные: на ООО Швейное производство «Эвитрика»

(предприятие, организация)

внедрены: в 2015 г. при мелкосерийном производстве детской одежды
из нетканых полотен.

Сущность разработок заключается в следующем:

1. Выявленные закономерности сжатия, обусловленные структурой
нетканых полотен, исследованных в диссертационной работе Дерябиной А.И.
2. Практические рекомендации по выбору, проектированию и
технологической обработке моделей одежды из нетканых полотен,
обусловленные структурой и свойствами полотен.

Эффективность внедрения

а) Организационно-технические преимущества:

- рациональный выбор технологических решений (методы обработки подкладки), изменение модельного ряда изделий за счет рациональных конструктивных решений на основе разработанных практических рекомендаций и улучшение качества ассортимента изделий.

- рациональный выбор материалов позволяющий снизить материалоемкость без ухудшения качества готовых изделий

б) Экономические показатели:

- снижение себестоимости продукции на 5–8 %

в) Перспективы внедрения

- предложенные методы оценки качества свойств нетканых материалов при циклическом сжатии рекомендуется использовать на предприятиях, выпускающих одежду из нетканых полотен.

Представители
предприятия

Технолог

Конструктор



Представители филиала ФГБОУ ВПО
«ЮУрГУ» (НИУ) в г. Златоусте

Смолина О.А. /к.п.н., доц. Смолина О.А.

Баранова Е.В. /к.т.н., доц. Баранова Е.В.

Дерябина А.И. /Дерябина А.И.

«СОГЛАСОВАНО»

Директор филиала ФГБОУ ВПО
«ЮУрГУ» (НИУ) в г. Златоусте


Чуманов В.И./
« » 2015 г.

«УТВЕРЖДАЮ»

Заместитель генерального
директора по оборонной
продукции ОАО «Златмаш»


Носов В.Д./
« » 2015 г.

А К Т

внедрения разработок ВУЗа

Настоящим документом уведомляется, что разработки кафедры «Проектирование и технология изделий сервиса» филиала ФГБОУ ВПО «Южно-уральский государственный университет» (Национальный исследовательский университет) в г. Златоусте

(наименование ВУЗа и его подразделение)

а именно: теоретические и экспериментальные исследования, выполненные лично инженером кафедры «Проектирование и технология изделий сервиса» филиала ФГБОУ ВПО «ЮУрГУ» (НИУ) в г. Златоусте Дерябиной А.И. и при ее непосредственном участии, направленные на разработку методов оценки качества материалов и нахождения взаимосвязи между факторами производства, эксплуатации (воздействие сжимающих усилий, влаги, эксплуатационных факторов) и деформационных свойств материалов и их систем для одежды из волокнисто-сетчатых материалов различного волокнистого состава, структуры и свойств

(сущность разработок, название)

и переданные: швейный цех ОАО «Златмаш»,

(предприятие, организация)

внедрены: в 2015 г. в экспериментальное производство верхней одежды с применением нетканых утеплителей.

Сущность разработок заключается в следующем:

1. Выявленные закономерности влияния многоциклового сжатия, влаги на характеристики деформации тканей и пакетов, обусловленные структурой материалов и их систем, образуемых при формозакреплении деталей одежды.
2. Практические рекомендации по выбору моделей, материалов в пакет изделия, способов формообразования и формозакрепления деталей одежды.

Эффективность внедрения

а) Организационно-технические преимущества:

- улучшение качества выпускаемой продукции за счет применения на стадии проектирования практических рекомендаций в результате комплексной оценки деформации нетканых материалов и прогнозирования их свойств в условиях производства и эксплуатации, что позволило значительно сократить время оценки качества и рационально конфекционировать материалы в пакет изделия;
- сокращение трудоемкости операций по обработке подклада за счет рационального выбора методов обработки узлов изделия с учетом свойств утеплителей.

б) Экономические показатели:

- снижение себестоимости продукции за счет экономии по энергозатратам на 5 - 8 %;

в) Перспективы внедрения

- предложенные методы комплексной оценки деформации нетканых материалов и прогнозирования их свойств в условиях производства и эксплуатации предложено использовать на этапах входного контроля качества материалов на швейных предприятиях по производству верхней утепляющей одежды.

Представители
предприятияПредставители филиала ФГБОУ
ВПО «ЮУрГУ» (НИУ) в г.
ЗлатоустеГл. технолог Шульцова СВСмолина О.А. /к.п.н., доц. Смолина О.А.Конструктор Дерябина А.И.Баранова Е.В. /к.т.н., доц. Баранова Е.В.Дерябина А.И.Дерябина А.И. /Дерябина А.И.

Приложение К

Таблица К1

Результаты оценки изменения толщины материалов после циклического сжатия на разработанном приборе.

Материал	Толщина h , мм					Изменение толщины после 400 циклов сжатия, % $A = \frac{L_0 - L_1}{L_0} \cdot 100$
	Количество циклов сжатия, n					
	0	100	200	300	400	
Полотно нетканое холстопрощивное арт. 927622	4,80	3,97	3,66	3,41	3,33	30,6
Шерстипон (Верблюжья шерсть – 60 %)	14,9	12,60	11,46	10,83	10,80	27,5
Синтепон СК150/300	7,80	6,40	6,22	6,0	5,7	26,9
Тинсулейт Р 150	15,80	13,60	13,18	12,50	12,48	21,0

Таблица К 2

Корреляционный анализ результатов изменения толщины пакета материалов после многоциклового сжатия и в процессе эксплуатации

Толщина материалов, измеряемая				Коэффициент корреляции r	
Толщина h , мм после эксплуатации		Толщина h , мм после многоциклового сжатия на разработанном приборе			
период, месяцы	толщина, h мм	Количество циклов сжатия, n	толщина, h мм	после эксплуата ции	после многоциклово го сжатия на разработанном приборе
2	7,2	100	6,8	0,76	0,980
4	6,7	200	6,3	0,82	0,80
6	6,3	300	6,0	0,76	0,72
8	6,0	400	6,2	0,80	0,74

Филиал федерального государственного бюджетного образовательного
учреждения высшего профессионального образования
«Южно-Уральский государственный университет»
(национальный исследовательский университет) в г. Златоусте



«УТВЕРЖДАЮ»
Директор филиала
ФГБОУ ВПО «ЮУрГУ» (НИИУ)
в г. Златоусте
к.т.н., проф. В.И. Чуманов

2015 г.

МЕТОД ОЦЕНКИ ДЕФОРМАЦИИ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ОДЕЖДЫ

В УСЛОВИЯХ ЦИКЛИЧЕСКОГО СЖАТИЯ

Доцент кафедры Проектирование
и технология изделий сервиса, к.т.н., доц.

Баранова Е.В.

Доцент кафедры Проектирование
и технология изделий сервиса

Хворонова Н.М.

Инженер кафедры Проектирование
и технология изделий сервиса

Дерябина А.И.

Златоуст, 2015

Данный метод для определения деформации нетканых материалов при сжатии, устанавливает способ определения деформации нетканых материалов одежды, при циклическом сжатии.

1. Основные понятия

Деформация сжатия – вид деформации, при которой действие внешнего силового давления в материале, направленно перпендикулярно его плоскости, и складывается из двух частей: условно обратимой и остаточной.

Абсолютная деформация сжатия (мм) характеризуется изменением толщины пробы при сжатии.

Относительная деформация сжатия (%) определяется отношением абсолютной деформации сжатия к толщине пробы до сжатия.

Условно обратимая деформация – это часть полной деформации, которая исчезает в пробе после снятия нагрузки во время отдыха, измеряется в абсолютных (мм) или относительных единицах (%).

Необратимая (остаточная) деформация – это часть полной деформации, которая не исчезает после прекращения действия на пробу материала внешней нагрузки и во время отдыха вследствие необратимого изменения структуры, измеряемая в абсолютных (мм) или относительных единицах (%).

Сжимаемость (мм) – способность материала изменять геометрические свойства (толщину) при воздействии внешнего силового давления. Характеризуется разностью между толщиной до сжатия и толщиной после воздействия сжимающих усилий.

Свободное сжатие – это вид сжатия, при котором площадь поперечного сечения пробы материала при воздействии внешней силы может изменяться.

Стесненное сжатие – это вид сжатия, при котором площадь поперечного сечения пробы материала при воздействии внешней силы остается неизменной.

Величина продавливания пробы – это расстояние, на которое перемещается индентор устройства во время сжатия и отдыха пробы

относительно начального положения пробы (исходной толщины материала), мм.

2. Назначение и область применения

Методика предназначена для оценки деформации сжатия и показателей сжимаемости нетканых материалов, с целью последующего учета полученных данных при производстве и эксплуатации готовых изделий.

3. Сущность метода

Оценка показателей деформации сжатия проб – определения их численных характеристик в условиях циклического сжатия в кондиционном или влажном состоянии при нормальных внешних условиях или в жидкой (иной) среде.

4. Оборудование и материалы

4.1. Устройство для определения деформации текстильных материалов при сжатии (см. прил. Д).

4.2. Стальной цилиндр для размещения пробы, $D_{ц} = 35$ мм и высотой $H = 20$ мм (рис. Л1, а).

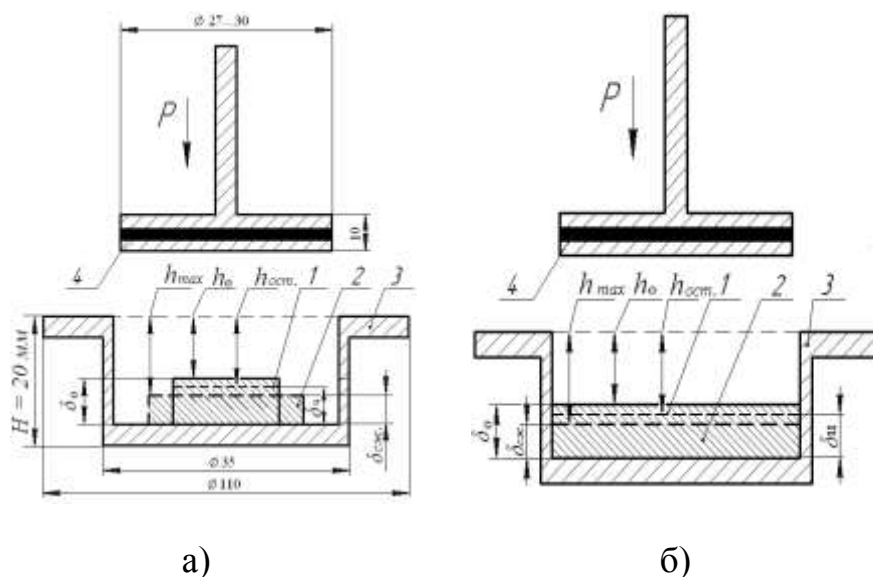


Рис. Л1. Схема свободного (а), стесненного (б) сжатия материалов:
1 – проба до сжатия;
2 – проба при сжатии;
3 – приспособление для размещения пробы;
4 – индентор

4.3. Индентор с механизмом для нагружения образца: 4 (см. рис. Л1).

4.4. Проба круглой формы, рабочий диаметр которой для стесненного сжатия $d_{ст} = 26-30$ мм, свободного сжатия $d_{св} = 10-25$ мм, толщина материалов – $0,2...20$ мм (рис. Л2)

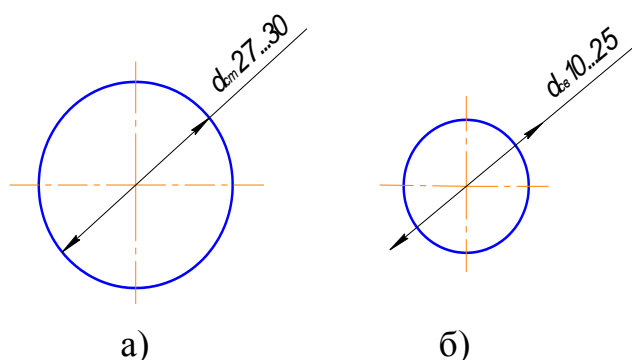


Рис. Л2. Рабочие размеры и форма проб для испытания на сжатие:
а – стесненное, б – свободное

- а) б)
4.5. Грузы массой от 0,1...4,0 кг.
4.6. Измерительная линейка с погрешностью не более 1 мм.
4.7. Компьютер: Intel Pentium; 2,56 ГГц; 257 МБ ОЗУ.
4.9. Программное обеспечение: операционная система Microsoft Windows XP Professional версия 2008 service Pack III, MathCAD.

5. Подготовка к проведению испытания

- 5.1. Выбор условий испытаний и подготовка пробы (табл. Л1).

Таблица Л1

Оптимальные условия проведения испытаний и рабочие размеры проб

Параметры	Значение параметров для различных условий сжатия	
	Свободное сжатие	стесненное сжатие
Диаметр пробы D , мм	10...25	26...30
Количество проб	10...15	
Масса груза, кг	0,1...4,0	
Диаметр основания индентора d , мм	30	
Период нагружения, циклы:	1, 100	
	Не ограничен	
Время нагрузки/отдыха пробы в цикле, с	5 – 10	

- 5.2. Подготовка к проведению испытания.

5.2.1. Пробы отбираются согласно ГОСТ 10681-75 «Материалы текстильные. Климатические условия для кондиционирования и испытания проб и методы их определения». В этих же условиях проводились испытания.

а) разместить пробу на дно стального приспособления для сжатия (см. рис. Л2).

6. Проведение испытаний

6.1. Устанавливаем на горизонтальную площадку груз массой 0,1...4,0 кг и определяем по табл. Л2 величину давления на пробу.

Таблица Л2

Параметры сжатия материалов

Давление, кПа	Сжатие	Диаметр пробы, мм	Нагрузка при сжатии $P_{ц}$, даН							
			0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0
	стесненное	30,0	0,07	0,14	0,21	0,28	0,35	0,43	0,50	0,57
		20,0	0,16	0,32	0,48	0,64	0,80	0,96	1,12	1,27
	свободное	15,0	0,28	0,56	0,85	1,13	1,41	1,69	1,98	2,26

6.2. Прибор включить в сеть электропитания напряжением 220 В, провести испытания согласно методу работы на устройстве (см. гл.4).

6.3. Занести полученные результаты измерений в табл. Л3.

Таблица Л3

Протокол полученных результатов испытаний

№ измерения	Масса груза 1,5 кг					
	Период испытаний, циклы					
	Время нагрузки/ отдыха пробы в цикле по 5 с					
	1			100		
	Значение перемещения измерителя, мм					
		при сжатии, h_{\max}	до сжатия, h_0	после отдыха $h_{\text{ост}}$	до сжатия, h_0	при сжатии, h_{\max}

7. Обработка результатов испытаний.

7.1. Математическая обработка полученных результатов измерений.

7.2. По полученным измерениям определяются основные характеристики деформации сжатия материала.

Общая деформация сжатия и ее компоненты в абсолютных (мм) и относительных (% , доли) величинах соответственно:

– общая:

$$L_{\text{общ}} = h_{\text{сж}} = h_0 - \Delta h, \quad (1)$$

где $h_{\text{сж}}$ – величина максимального продавливания пробы, мм;

h_0 – значение максимального продавливания на шкале, мм;

Δh – нулевой уровень поверхности пробы, мм.

– условнообратимая (разница между полной деформацией и последним значением измерения h_i):

$$L_{обр} = h_{сж} - h_i \text{ (мм);} \quad (2)$$

$$\Delta \varepsilon_{обр} = (h_{сж} - h_i) / h_{сж} \text{ (доли);} \quad (3)$$

$$\varepsilon_{обр} = (h_{сж} - h_i) / L_0 \text{ (%),} \quad (4)$$

$h_{сж}$ – величина максимального продавливания материала, мм;

h_i – последнее значение измерения считывающего устройства, мм.

– условнонеобратимая (остаточная) определяется последним значением измерения h_i в период отдыха пробы:

$$L_{ост} = L_{общ} - L_{обр} = h_i; \quad (5)$$

$$\Delta \varepsilon_{ост} = h_i / h_{сж}, \quad (6)$$

$$\varepsilon_{ост} = h_i / L_0 \text{ (%),} \quad (7)$$

$L_{общ}$ – общая деформация;

$L_{обр}$ – условнообратимая часть деформации;.

7.2. Оценка показателей сжимаемости материалов

Для прогнозирования поведения нетканых объемных материалов при производстве и эксплуатации определяются следующие показатели сжатия:

– показатель сжимаемости C_1 :

$$C_1 = 100 (\delta_0 - \delta_{сж}) / \delta_0 \quad (8)$$

где $\delta_0, \delta_{сж}$ – где $\delta_0, \delta_{сж}$ – толщина пробы до сжатия, при сжатии соответственно, мм.,

Показатель сжимаемости C_2 сравнивается с базовым показателем C_1 и в зависимости от технологических операций формования, прессования, выбора конструкции изделия, условий обработки определяется по формуле (8) по результатам испытания проб в кондиционном или влажном состояниях, стесненного или свободного сжатия соответственно.

Для градации материалов по показателям сжимаемости и удобства прогнозирования их свойств предложен коэффициент начальной ($K_{сж}$) сжимаемости:

$$K_{сж} = C_2 / C_1. \quad (9)$$

Кроме того, можно оценивать показатели сжимаемости C_1 и C_2 , сочетая и комбинируя условия испытаний предложить рекомендации, которые учитывались бы при выборе технологических операций, методов обработок, конструктивных решений для конкретных моделей изделий.

Коэффициент начальной сжимаемости $K_{сж}$ и показатель циклической (остаточной) сжимаемости $C_{ц}$ позволяют комплексно прогнозировать поведение объемных нетканых материалов при производстве и эксплуатации. Результаты показателей сжимаемости заносят в табл. Л5.

Таблица Л5

Показатели сжимаемости материалов

Проба	Показатели сжимаемости, %			Коэффициент начальной сжимаемости,
	После 10-ти циклов сжатия проб		Показатель циклической сжимаемости (после 100 циклов сжатия), %	
	C_1	$C_1,$	$C_{ц}$	$K_{сж}$

7.3. Показатель остаточной циклической сжимаемости $C_{ц}$, позволяет прогнозировать качество материала или пакета материалов для одежды и прогнозирует показатели надежности изделий (формоустойчивость, изменение размеров, внешнего вида). Прогнозирование группы сжимаемости материалов и разработка рекомендаций по применению материалов в производстве одежды.