

А. Н. Буркин
А. Н. Махонь
Д. К. Панкевич

**ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ
СВОЙСТВА ТЕКСТИЛЬНЫХ
МАТЕРИАЛОВ**

Монография

Витебск
2019

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
Учреждение образования
«Витебский государственный технологический университет»

А. Н. Буркин, А. Н. Махонь, Д. К. Панкевич

ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

МОНОГРАФИЯ

Витебск
2019

УДК 677.017

ББК 37.23

Б 91

Рецензенты:

действительный член Российской и Международной инженерной академии, председатель научно-методического совета по направлению «Технологии и проектирование текстильных изделий», член Президиума ФУМО ВО УГСН «Технологии легкой промышленности», д.т.н., профессор, заведующий кафедрой материаловедения и товарной экспертизы ФГБОУ ВО Российский государственный университет имени А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство) Шустов Ю. С.;

д.т.н., профессор, ведущий научный сотрудник Института механики металлополимерных систем им. В. А. Белого НАН Беларуси
Гольдаде В. А.

Рекомендовано к изданию Советом УО «ВГТУ»,
протокол № 4 от 27.11.2018.

Рекомендовано к изданию редакционно-издательским советом
УО «ВГТУ», протокол № 9 от 30.11.2018.

Буркин, А. Н.

Б 91

Эксплуатационные свойства текстильных материалов : монография / А. Н. Буркин, А. Н. Махонь, Д. К. Панкевич / под общ. ред. А. Н. Буркина. – Витебск : УО «ВГТУ», 2019. – 217 с.

ISBN 978-985-481-584-8

В настоящей монографии обобщены как известные литературные данные, так и собственные работы авторов, связанные с методами и средствами моделирования эксплуатационных нагрузок, исследованием, критериями и способами оценки эксплуатационных свойств текстильных материалов для изготовления верха одежды и обуви.

Предназначена для научных сотрудников, инженерно-технических работников обувных и швейных предприятий, студентов, магистрантов и аспирантов. Монография может быть полезна в качестве учебного материала при изучении курсов «Материаловедение», «Товароведение одежно-обувных товаров», «Производственные технологии» и других дисциплин.

УДК 677.017

ББК 37.23

ISBN 978-985-481-584-8

© УО «ВГТУ», 2019

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	5
Глава 1. Современное состояние вопроса по определению эксплуатационных свойств текстильных материалов	7
1.1 Номенклатура и структура эксплуатационных показателей качества текстильных материалов	8
1.2 Методы исследования сопротивления текстильных материалов деформированию и разрушению при циклических нагрузениях	15
1.3 Методы испытаний, комбинирующих различные деформирующие воздействия при циклических нагрузениях текстильных материалов	28
Литература	38
Глава 2. Разработка методов оценки эксплуатационных свойств текстильных материалов	47
2.1 Номенклатура эксплуатационных показателей качества тканей для верха одежды и обуви	50
2.2 Прибор для моделирования циклических комбинированных деформаций материалов для верха обуви	54
2.3 Прибор для моделирования эксплуатационных нагрузок материалов верха одежды и обуви	59
2.4 Моделирование напряженно-деформированного состояния при циклическом комбинированном нагружении материалов	61
2.5 Методика исследования эксплуатационных показателей качества тканей для верха обуви	67
2.6 Методика моделирования эксплуатационных нагрузок материалов верха одежды и обуви	72
Литература	79
Глава 3. Исследование и прогнозирование эксплуатационных свойств текстильных материалов для обуви	84
3.1 Циклическая долговечность тканей	85
3.2 Циклическая формоустойчивость тканей	100
3.3 Показатели деформационных свойств тканей после моделирования эксплуатационных нагрузок	106
3.4 Прогнозирование эксплуатационных свойств тканей для верха обуви	114
Литература	130

Глава 4. Исследование и оценка эксплуатационных свойств водозащитных текстильных материалов для одежды	133
4.1 Показатели деформационных свойств материалов после моделирования эксплуатационных нагрузок	134
4.2 Водонепроницаемость материалов после моделирования эксплуатационных нагрузок	139
4.3 Структура текстильных материалов после моделирования эксплуатационных нагрузок	146
4.4 Моделирование эксплуатационных нагрузок в различных температурно-влажностных условиях	156
4.5 Оценка эксплуатационных свойств материалов	159
Литература	171
Глава 5. Оценка эксплуатационных свойств изделий легкой промышленности	174
5.1 Экспериментальная носка одежды из водозащитных материалов	175
5.2 Оценка результатов экспериментальной носки одежды	179
5.3 Экспериментальная носка обуви с верхом из льносо-держающих материалов	190
5.4 Оценка результатов экспериментальной носки обуви	200
Литература	212
Заключение	213

ПРЕДИСЛОВИЕ

Повышение качества и конкурентоспособности промышленных товаров стало стратегической задачей всех отечественных производителей. С ростом материального и культурного уровня потребителей изменяется структура потребностей, на первый план выдвигаются требования надежности и долговечности изделий в эксплуатации, поэтому производство товаров с учетом их потребительской ценности является важной и актуальной задачей.

Эксплуатационные свойства материалов характеризуют их способность удовлетворять требованиям назначения в условиях эксплуатации, сопротивляться факторам изнашивания. Поскольку область применения текстильных материалов широка, а условия эксплуатации в зависимости от назначения существенно отличаются, проблемы выбора критериев оценки эксплуатационных свойств, методов и средств исследования постоянно поднимаются научным сообществом, о чем свидетельствует большое количество публикаций на эту тему.

Постоянное возрастание требований к качеству и ассортименту товаров народного потребления, а также расширение ассортимента применяемых материалов предопределяет необходимость повышения уровня контроля качества используемых в производстве материалов, а также требований, предъявляемых к методам оценки их эксплуатационных характеристик.

В настоящее время оценка качества текстильных материалов, используемых при изготовлении одежды и обуви, выполняется стандартными методами, которые не в полной мере выявляют способность материалов сопротивляться факторам изнашивания в определенных условиях эксплуатации. Постоянно растущий ассортимент материалов, пополнившийся в последние десятилетия новыми композиционными материалами различных структур, требует проведения научных исследований в области оценки и прогнозирования их эксплуатационных свойств. Накопление данных о стабильности свойств материалов в процессе эксплуатации поможет установить адекватную номенклатуру показателей качества и научно обоснованные нормативы их значений, установить зависимости между показателями свойств и структурными характеристиками материалов для разработки рекомендаций по выпуску материалов с заданными эксплуатационными свойствами.

Авторы монографии предлагают посмотреть на проблему эксплуатационных свойств материалов для верха одежды и обуви с точки зрения условий эксплуатации, в которых эти материалы «работают». Дифференцированный подход к выбору номенклатуры и нормативных значений показателей свойств материалов обеспечит соответствие уровня

оценки свойств степени удовлетворения требований к изделиям из них в конкретных условиях эксплуатации.

В монографии собраны результаты работы, выполненной под руководством д.т.н., профессора А. Н. Буркина в разные годы. Первая, вторая и пятая главы монографии написаны учениками А. Н. Буркина А. Н. Махонь и Д. К. Панкевич совместно. Автором третьей главы является А. Н. Махонь, четвертая глава написана Д. К. Панкевич. Вниманию читателя предлагается результат многолетней работы авторов, проводимой как в условиях лаборатории, так и путем наблюдения за изделиями, находящимися в эксплуатации. Предлагаемый методологический подход к оценке эксплуатационных свойств текстильных материалов основан на моделировании условий эксплуатации материалов и, в отличие от существующих методов оценки, позволяет получать достаточно точный прогноз надежности материалов, что подтверждено результатами экспериментальных носок.

Авторы выражают глубокую признательность и благодарность д.т.н., профессору В. А. Гольдаде и д.т.н., профессору Ю. С. Шустову за ценные замечания, сделанные при рецензировании рукописи монографии. В разные годы рецензентами наших публикаций в данной области были: ректор Витебского государственного технологического университета д.т.н., профессор А. А. Кузнецов; д.т.н., профессор кафедры технологии текстильных материалов Витебского государственного технологического университета А. Г. Коган; главный научный сотрудник ИММС им. В. А. Белого НАН Беларуси д.т.н., профессор А. С. Пинчук; директор Республиканского института инновационных технологий Белорусского национального технического университета д.т.н., профессор В. Л. Соломахо; д.т.н., профессор Российского университета кооперации Ф. А. Петрище; профессор кафедры «Конструирование, технологии и дизайн» Института сферы обслуживания и производства (филиал ДГТУ в г. Шахты), д. т. н., профессор Прохоров В. Т. и многие другие, которым авторы приносят благодарность за участие в оценке работы.

Монография предназначена для широкого круга читателей, специализирующихся в области обувного, швейного, текстильного производства и метрологического обеспечения этих отраслей. Разделы монографии касаются вопросов товароведения и материаловедения текстильного, швейного и обувного производств и могут быть полезны инженерно-техническому персоналу предприятий, студентам, магистрантам и аспирантам соответствующих учебных заведений.

ГЛАВА 1

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Получение изделий высокого качества базируется на правильном выборе используемых при их изготовлении материалов, который основан на всестороннем анализе системы «человек – изделие – окружающая среда» [1.1]. Причем взаимосвязь всех составляющих этой системы проявляется только в процессе эксплуатации. Важнейшей задачей современного текстильного материаловедения является прогнозирование и оптимизация свойств текстильных материалов и происходящих в них изменений под влиянием воздействия внешних факторов.

Принципы и методология решения поставленных перед материаловедением задач базируются на следующих методах:

- эмпирическом установлении взаимосвязи между показателями волокнистого состава, строения и свойств;
- методах структурной механики;
- методах моделирования;
- методах аналогий;
- термодинамических методах оценки возможности протекания тех или иных процессов;
- методах молекулярной и технической кинетики [1.2].

Моделирование эксплуатационных воздействий с целью исследования их влияния на свойства материалов в связи с вышесказанным является одним из базовых методов прогнозирования качества и долговечности текстильных материалов. Изучение влияния эксплуатационных воздействий на свойства материалов позволит выявить основные закономерности изменения способности материалов удовлетворять требованиям назначения в конкретных условиях эксплуатации.

При выборе материалов для изделий легкой промышленности производитель полагается на соответствие значений показателей, приведенных в сопроводительной документации, требованиям технических нормативно-правовых актов (ТНПА). Стандарты, устанавливающие требования к текстильным материалам, включают показатели качества, показатели безопасности, но не могут регламентировать степень изменений показателей в процессе эксплуатации. Кроме того, показатели качества, определенные в статических условиях, не позволяют прогнозировать поведение материала в сложной системе «человек – изделие – окружающая среда». Современный ассортимент текстильных материалов характеризуется большим разнообразием, однако материалов, отве-

чающих не только стандартам с общими техническими требованиями, но и условиям эксплуатации, недостаточно.

Существует два основных направления получения данных для определения эксплуатационных свойств текстильных материалов: проведение экспериментальных носок (изучение процесса изнашивания материалов в условиях эксплуатации); лабораторное изнашивание проб материалов с использованием специальных методов и установок, моделирующих приложение механических нагрузок, имеющих место в процессе эксплуатации. К сожалению, существующие методы лабораторного изнашивания в основном характеризуются использованием одного вида деформирующей нагрузки (растяжения), прилагаемой в направлении наибольшего растяжения материала. Для исследования эксплуатационных свойств анизотропных материалов необходимы методы циклического деформирования, так как в процессе эксплуатации механические воздействия, испытываемые изделиями, носят пространственный циклический характер.

Стремление приблизить лабораторные испытания к тем воздействиям, которые испытывают материалы в процессе эксплуатации, обусловило разработку новых методов испытаний анизотропных листовых материалов в условиях циклического нагружения и соответствующих лабораторных установок.

Первая глава монографии посвящена анализу структуры эксплуатационных показателей качества, выявлению основных критериев их оценки, а также систематизации данных о методах и средствах исследования эксплуатационных свойств текстильных материалов, получивших распространение при изучении процесса изнашивания материалов в лабораторных условиях.

1.1 Номенклатура и структура эксплуатационных показателей качества текстильных материалов

В товароведении под качеством предмета потребления понимается целостная и относительно устойчивая структура потребительских свойств товара, определяющая степень удовлетворения конкретной потребности. В этой связи потребительские свойства представляют собой характеристики качества, которые тесно связаны с результатами потребления конкретного предмета, то есть результатами взаимодействия его с потребителем в определенной среде (условиях) потребления.

Текстильные материалы, как и любые другие, характеризуются совокупностью свойств, благодаря которым они удовлетворяют определённую потребность. При потреблении текстильных материалов и изделий из них имеет место их эксплуатация, поэтому свойства текстильных

материалов, проявляющиеся при их эксплуатации, принято называть эксплуатационными. Свойства тканей для одежды и обуви, как и других текстильных изделий, зависят от их целевого назначения, свойств текстильных волокон, нитей, строения, способа выработки и отделки ткани. Важно знать способы и условия эксплуатации изделий, потому как эксплуатационные свойства тканей зависят не только от ряда механических, физических, химических, биологических свойств, но и от внешних воздействий.

Анализ литературных источников по текстильному материаловедению и товароведению текстильных материалов показал, что большинство авторов используют термин «эксплуатационные свойства» в отношении характеристики свойств текстильных материалов, однако относят к ним разные показатели. К числу таких авторов можно отнести Г. Н. Кукина, А. Н. Соловьева, Н. А. Архангельского, Г. И. Кутянина, Б. Я. Бузова, К. Г. Гущину, С. М. Кирюхина, С. С. Коляденко, А. Ф. Шепелева, К. Е. Перепелкина и др. Следует обратить внимание и на тот факт, что мнения авторов разделились по вопросу равнозначности понятий «потребительские свойства» и «эксплуатационные свойства» текстильных материалов.

Н. А. Архангельский в работе [1.3] все показатели свойств текстильных материалов объединяет в две группы: эксплуатационные и эстетические. В эксплуатационные включены механические свойства (усталость при многократном растяжении и изгибе, прочность, растяжимость, жесткость и др.) и физические (воздухопроницаемость, теплопроводность, намокаемость и др.), причем акцент сделан на показатели «носкости», то есть стойкости к воздействию внешних механических и климатических факторов.

Авторы работ по текстильному материаловедению М. В. Грачев и Г. Н. Кукин считают, что понятия «потребительские свойства» и «эксплуатационные свойства» равнозначны и относят к ним физико-механические и физико-химические свойства текстильных материалов [1.4]. И. М. Лифиц и Г. И. Кутянин также рассматривают эксплуатационные свойства как синоним потребительских [1.5].

Авторы работы [1.6] А. Н. Соловьёв и С. М. Кирюхин считают эксплуатационные свойства частью потребительских свойств и относят к ним показатели назначения, такие как прочность, растяжимость, жесткость, эластичность, формоустойчивость, несминаемость, электризуемость и др. Согласно мнению С. С. Коляденко [1.7], эксплуатационные свойства – свойства, присущие тканям при их эксплуатации. Он считает, что эксплуатационные свойства являются составной частью потребительских свойств, которые, как правило, значительно шире, и делит эксплуатационные свойства тканей на следующие группы:

– свойства, влияющие на срок службы (долговечность, износостойкость);

- свойства, влияющие на гигиеничность;
- свойства, характеризующие внешний вид (эстетические);
- технологические свойства, имеющие значение при пошиве и в процессе эксплуатации.

В. Х. Ликумович [1.8], анализируя структуру показателей качества материалов и свойства готовых изделий, указывает на необходимость различать технологические свойства и свойства, проявляющиеся в процессе эксплуатации, и подчеркивает, что термин «эксплуатационные свойства» можно использовать для характеристики свойств изделий на всех этапах эксплуатации (носка, профилактический уход, хранение и др.).

Такой же подход к выделению в структуре потребительских технологических и эксплуатационных свойств наблюдается в источнике [1.9] под редакцией К. Е. Перепелкина. В работе утверждается, что объективно оценить эксплуатационные свойства можно только учитывая поведение текстильных материалов на этапах эксплуатации.

Большое значение структуре и характеристике эксплуатационных свойств материалов для одежды в своих работах уделяет К. Г. Гущина [1.10], которая к этим свойствам относит:

а) физико-механические показатели (число нитей на единицу площади материала; прочность или разрывную нагрузку; раздвигающую нагрузку; раздвижку нитей в тканях и швах; усадку после влажно-тепловой обработки; линейную плотность);

б) механические свойства (формоустойчивость, осыпаемость, жёсткость материалов; остаточную деформацию);

в) физические свойства (теплопроводность, теплоёмкость, суммарное тепловое сопротивление).

Заметно, что такая структура показателей также соответствует делению на группы свойств: технологические (а, б), гигиенические (в).

По мнению М. В. Грачёва [1.11], между терминами «потребительские свойства» и «эксплуатационные свойства» можно поставить знак равенства в том случае, если их используют для оценки качества готовых тканей с точки зрения их поведения при эксплуатации. К эксплуатационным свойствам он относит физико-механические, физико-химические свойства и показатели внешнего вида (рисунок, колористическое оформление, а также наличие пороков в одежно-обувных тканях). По мнению А. С. Ковчура [1.12], эксплуатационные свойства – свойства, характеризующие способность материала работать при различных условиях. К эксплуатационным свойствам они относят физико-химические и механические свойства.

Автор товароведных работ А. Ф. Шепелев [1.13] относит к эксплуатационным показатели назначения, такие как прочность, растяжимость, жёсткость, эластичность, формоустойчивость, несминаемость, то есть стандартизованные механические характеристики текстильных ма-

териалов. Аналогичный подход наблюдается и в работе [1.14], где механические показатели и методы их определения, регламентированные стандартами, выступают в качестве эксплуатационных.

Таким образом, общим мнением большинства авторов является то, что к эксплуатационным свойствам текстильных материалов относятся физико-механические свойства: прочность, растяжимость (деформация), жёсткость, формоустойчивость, несминаемость и др.

Анализ работ показывает также, что в структуру потребительских часто включают показатели, характеризующие технологичность текстильных материалов, нежели поведение при эксплуатации. Однако характер эксплуатации текстильных материалов и предметов из них проявляется в тесном взаимодействии окружающей физической и социальной среды. Как отмечает Ф.А. Петрище [1.15], при таком характере взаимодействия проявляются эксплуатационные (утилитарные) и эстетические свойства продукции, поэтому он предлагает потребительские свойства условно разделять на эксплуатационные и эстетические.

Для оценки последствий циклических механических воздействий на материал Н. Д. Закатова использует термины «динамическая усталость» и «динамическая выносливость» [1.16].

Динамическая усталость – постепенное местное изменение *структуры материала*, сопровождающееся потерей прочности и возникающее под действием многократных деформаций. В свою очередь выносливость характеризуется числом циклов многократных деформаций, которые образец выдерживает до разрушения и во многом зависит от природы материала, характера и амплитуды деформации.

Среди эксплуатационных свойств одежды и обуви особое место занимает надежность материалов верха. Надежность для предметов потребления является одним из главных показателей качества [1.17]. Согласно ГОСТ 27.002-89 «Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения», *надежность* – это свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, хранения и транспортирования.

Надежность является комплексным свойством, которое в зависимости от назначения объекта и условий его применения может включать безотказность, долговечность, ремонтпригодность и сохраняемость или определенные сочетания этих свойств [1.18]. Применительно к текстильным материалам набор показателей свойств, характеризующих надежность комплексно, может и должен быть *различным в зависимости от области использования материала*. При анализе пригодности материалов для изготовления одежды и обуви различного назначения наибольшую значимость приобретает показатель *безотказности*

как свойства объекта непрерывно сохранять работоспособное состояние в течение некоторого времени или наработки.

Для определения набора показателей свойств материалов, характеризующих их эксплуатационные свойства, существенную роль играет установление *степени влияния факторов*, воздействующих на материал в процессе эксплуатации.

В зависимости от области использования изделия, человек, совершая движения, подвергает материалы воздействиям большей или меньшей интенсивности. Многократный изгиб, кручение, растяжение, сжатие, давление, трение – факторы, зависящие от характера деятельности пользователя, то есть от назначения изделия. В процессе эксплуатации факторы назначения воздействуют на материалы циклически, многократно повторяясь. Это приводит к накоплению усталостных явлений, ослаблению связей между элементами структуры, разрушению материалов в местах наиболее частого приложения нагрузок [1.19].

Именно поэтому большое число исследователей считают необходимыми для оценки качества показатели, связанные с циклическими механическими воздействиями на текстильные материалы. Согласно классификации проф. Г. Н. Кукина, на которую ссылается В. П. Скляников в работе [1.20], все характеристики механических свойств подразделяются на типы в зависимости от характера деформации: растяжение, изгиб, сжатие и кручение; в той же работе отмечается, что показатели устойчивости к многократным деформациям должны служить характеристикой срока службы текстильных материалов. В. П. Скляников устанавливает следующий перечень многоцикловых характеристик: остаточная циклическая деформация $\varepsilon_{o.ц}$, выносливость n_p , долговечность t_p , предел выносливости, циклическая работа разрыва $R_{ц}$. Однако следует подчеркнуть, что в указанной работе используется традиционный подход: выбирается один вид деформации, либо параллельные испытания с разными деформационными нагрузками.

Значимость циклических характеристик для оценки качества текстильных материалов любого назначения велика. Исследованием данных характеристик занимались многие ученые, наибольший вклад среди которых в развитие теории выносливости и создание лабораторной базы внесли В. П. Скляников, Г. Н. Кукин, А. Н. Соловьев, М. С. Бороодовский, М. П. Носов, Б. А. Бузов, А. Н. Кобляков, Б. Д. Семак, С. М. Кирюхин, М. М. Гутаускас, Л. Н. Лисиенкова, К. Е. Перепелкин и др.

Устойчивость изделий к действию циклических нагрузений принято характеризовать *изменением некоторых наиболее значимых свойств* – прочности, проницаемости – после заданного числа циклов [1.4, 1.6, 1.12, 1.14, 1.16, 1.21].

Это позволяет с большой долей объективности оценить эксплуатационные свойства материалов по изменению эксплуатационных пока-

зателей – разрывной нагрузки и удлинения, водопроницаемости, жесткости, остаточной циклической деформации.

Остаточная циклическая деформация накапливается в текстильных материалах по мере приложения циклических нагрузок и зависит от величины нагрузки, частоты циклов, свойств волокон, структуры текстильных нитей, характера отделки. При малых значениях циклической деформации в каждом цикле нагружений образец может выдерживать большое количество циклов без разрушения и, наоборот, при больших значениях он быстро разрушается.

Результаты обобщения многочисленных работ в области текстильного материаловедения [1.3, 1.5, 1.8, 1.11, 1.21, 1.22] позволяют считать установленным большое влияние на устойчивость тканей к динамическим нагрузкам природы волокон и структуры пряжи, используемой при изготовлении, а также особенностей проведения процессов прядения, ткачества и отделки. З. А. Торкуновой в работе [1.23] отмечается, что в трикотажном полотне контакты между нитями петель слабее, чем в тканях, что является причиной его большей деформируемости. Для трикотажных полотен характерна очень высокая доля исчезающей части деформации. При циклических растягивающих нагрузках в трикотаже происходит перетягивание нитей в петлях, легко изменяется форма петель, что приводит к резкому изменению структуры полотна. При разгрузке трикотаж вследствие упругости петель легко восстанавливает свои размеры и в нем, в отличие от тканей, медленнее накапливаются остаточные деформации.

У нетканых материалов при многократном растяжении в продольном направлении полотна сопротивление каркасных нитей меньше и поэтому холст, волокна которого расположены главным образом в направлении действующей силы, растягивается больше; при этом волокна, смещаясь относительно друг друга, частично вытягиваются из петель. Их возврату в первоначальное положение препятствуют силы тангенциального сопротивления. Каркасные же нити почти не способствуют обратному смещению волокон. Поэтому накопление остаточной циклической деформации нетканых полотен в указанном направлении особенно велико и часто приводит к быстрой потере формы изготовленной из них одежды [1.24].

В работах [1.7, 1.8, 1.15, 1.21, 1.25] отмечается, что по мере приложения циклических нагрузок в тканях накапливается остаточная циклическая деформация и очень важно при оценке выносливости тканей определённого назначения установить ее величину по величине остаточного удлинения.

Ткани, трикотаж, нетканые полотна легко изгибаются, так как *жесткость* их при изгибе невелика. Этот вид деформации в изделиях встречается довольно часто. При перегибе нити в тканях и трикотаже испытывают меняющиеся по величине небольшие нагрузки, которые

приводят сначала к накоплению усталостных явлений, а затем к разрушению материала по линиям сгиба. При многократных изгибах, так же как и при многократных растяжениях, усталость материала определяется двумя циклическими характеристиками: выносливостью – определённым числом изгибов, которое выдерживает материал до разрушения, и долговечностью – временем от начала многократного изгиба до разрушения материала. Усталость материала от многократных изгибов является следствием не только механических воздействий, но физических и химических изменений (процессов), находящихся во взаимосвязи и дополняющих друг друга.

Существенное влияние на деформацию изгиба оказывает форма и размеры волокон: волокна с круглым поперечным сечением больше сопротивляются сжатию, чем волокна с овальным сечением; толстые волокна больше сопротивляются изгибу, чем тонкие. Жёсткость тканей изменяется под действием температуры и влажности, причём, в менее плотных тканях эти изменения связаны со свойствами волокон, в более плотных – со структурой самой ткани [1.26, 1.27].

Циклически повторяющиеся механические нагрузки оказывают влияние на такие эксплуатационные свойства текстильных материалов как *проницаемость*: увеличивается водопроницаемость, проницаемость для воздуха и паров воды. На изменение проницаемости текстильных материалов под действием механических нагрузок влияет их структура (переплетение, толщина, тип и количество слоев для композиционных материалов, а также вид обработки поверхности [1.28, 1.29, 1.30].

Вопросами оценки степени приближенности результатов реальной эксплуатации изделий из текстильных материалов и лабораторного моделирования носки занимались Б. А. Бузов, К. Г. Гущина, А. Н. Махонь [1.10, 1.30, 1.31]. Важность этой задачи подчеркивает А. Ф. Давыдов: «проведение опытных носок необходимо потому, что они дают очень важные сведения ... для сравнения результатов изнашивания в условиях эксплуатации и условиях лаборатории» [1.32, с. 129].

Моделирование износа должно максимально приближать условия испытания к эксплуатационным, поскольку только в этом случае возможно достоверное прогнозирование изменчивости свойств материалов. При этом в зависимости от условий эксплуатации циклические механические нагрузки могут влиять на свойства материалов по-разному, например, в условиях пониженной или повышенной температуры и влажности воздуха.

Конкретная область применения материалов определяет требуемый уровень надежности материала, характеризуемый износостойкостью.

Износостойкость – это способность материала противостоять действию факторов изнашивания, сохраняя свои начальные эксплуатационные показатели в заданных пределах [1.33]. Определение износо-

стойкости материалов проводится либо по результатам опытных носок, либо в лабораторных условиях с использованием различных приборов и методов. *Критериями* износостойкости могут быть снижение прочности, уменьшение числа циклов до разрушения пробы, снижение вязкости раствора составляющего материал вещества, количество и характер видимых повреждений, уменьшение кондиционной массы, увеличение проницаемости [1.10, 1.32, 1.34, 1.35].

Таким образом, оценка эксплуатационных свойств по показателям надежности и износостойкости, прогнозирование свойств текстильных материалов невозможны без адекватных методов и средств моделирования эксплуатационных воздействий, позволяющих получить достоверную информацию о долговечности, стабильности структуры и свойств материалов в конкретных условиях эксплуатации.

1.2 Методы исследования сопротивления текстильных материалов деформированию и разрушению при циклических нагрузениях

Повышение качества и создание новых текстильных материалов и изделий неразрывно связаны с проведением испытаний их механических свойств. Механические свойства определяют поведение текстильных материалов под воздействием приложенных сил как при переработке, так и в готовом изделии.

Текстильные материалы и изделия в процессе эксплуатации часто подвергаются действию циклических переменных нагрузок, вызывающих деформацию пространственного характера. Следствием этого является изменение свойств материала (утомление), что в конечном итоге может привести к общему или частичному разрушению.

Стойкость по отношению к многократным воздействиям определяет долговечность текстильных материалов, то есть показатель «циклическая долговечность», под которым понимают число циклов деформаций до образования определенного дефекта или до полного разрушения [1.27].

Для исследования стойкости к многократным механическим воздействиям необходимы лабораторные установки, позволяющие подвергать текстильные материалы пространственному деформированию. В настоящее время общепризнано, что средство испытания является активным элементом метода и существенно влияет на результаты исследований.

Применение экспериментальных носок изделий для изучения эксплуатационных механических характеристик сегодня экономически неэффективно, поэтому лабораторные испытания, использующие ком-

плекс изнашивающих механических факторов, остаются единственной возможностью дать объективную комплексную оценку текстильному материалу на этапе планирования серийного выпуска продукции.

Методы механических испытаний текстильных материалов детально разработаны и описаны в литературе [1.3, 1.5, 1.27, 1.36, 1.37, 1.38], однако общепринятая классификация методов в указанных источниках отсутствует. В этой связи авторами был выполнен анализ и разработана классификация существующих методов испытаний механических свойств [1.39], которая представлена в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Классификация методов испытаний механических свойств текстильных материалов

Признак классификации	Виды методов испытаний
1	2
Степень стандартизации	стандартизованные нестандартизованные
Режимы нагружения	статические (скорость деформирования до 0,02 м/с) <i>динамические:</i> среднескоростные (скорость от 1 до 2 м/с); высокоскоростные (скорость 5 до 100 м/с); сверхскоростные (скорость более 100 м/с)
Метод нагружения	гравитационный механический пневматический (гидравлический) баллистический
Вид деформации	растяжение (сжатие) изгиб кручение трение сдвиг комбинация нескольких видов деформаций
Характер приложения нагрузки	под действием распределенной нагрузки под действием сосредоточенной нагрузки
Полнота осуществления цикла механического воздействия	полуцикловые одноцикловые циклические
Характер воздействия на пробу	<i>в плоскости:</i> одноосное деформирование двухосное (симметричное и несимметричное) многоосное (симметричное и несимметричн.) <i>в пространстве:</i> пространственное деформирование

Окончание таблицы 1.1

1	2
Характер амплитуды циклической деформации	<i>с постоянной амплитудой:</i> заданной циклической деформации заданной относительной деформации циклической нагрузки (давления)
Форма пробы	прямоугольные полоски образцы в форме цилиндра круглой формы сложной конфигурации
Условия лабораторных испытаний	определяемые ТНПА приближенные к условиям эксплуатации

Научные исследования и практическое применение методов и средств испытаний текстильных обувных материалов свидетельствуют о том, что характеристики эксплуатационных свойств, полученные в статических условиях, не могут в полной мере отражать поведение материалов при их эксплуатации.

Анализ стандартизованных методов испытания текстильных материалов показал, что они предназначены для определения статических полуцикловых или одноцикловых разрушающих и неразрушающих характеристик, которые не позволяют в полной мере оценить свойства изделий, проявляющиеся в процессе эксплуатации [1.40].

Методы испытаний на *растяжение* включают методы определения растяжения в статическом и в динамическом режиме. Методы испытаний на растяжение в статическом режиме наиболее распространены для большинства текстильных материалов и некоторых изделий и стандартизованы. Стандартизированные методы испытаний на растяжение, регламентируемые ТНПА [1.41], описаны в источниках [1.42–1.59]. Перечень и анализ указанных методов приведен в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Методы испытания текстильных материалов на растяжение, регламентируемые ТНПА

Обозначение и наименование ТНПА	Метод деформирования	Критерии оценки
1	2	3
ГОСТ 3813-72 (ИСО 5081-77, ИСО 5082-82) Материалы текстильные. Ткани и штучные изделия. Методы определения разрывных характеристик при растяжении	Одноосный статический	Среднеарифметическое значение результатов всех испытаний разрывной нагрузки и разрывного удлинения элементарных проб при первых признаках нарушения целостности ткани

Продолжение таблицы 1.2

1	2	3
<p>ГОСТ 8847-85 Полотна трикотажные. Методы определения разрывных характеристик и растяжимости при нагрузках, меньше разрывных</p>	<p>Двухосный статический</p>	<p>Среднеарифметическое значение результатов всех испытаний разрывной нагрузки и разрывного удлинения элементарных проб при первых признаках нарушения целостности трикотажного полотна</p>
<p>ГОСТ 15902.3-79 Полотна нетканые. Метод определения прочности</p>	<p>Одноосный статический</p>	<p>Среднеарифметическое значение результатов всех испытаний разрывной нагрузки и разрывного удлинения элементарных проб при первых признаках нарушения целостности нетканого полотна</p>
<p>ГОСТ 16918-71 Полотно тюлевое и гардинное. Метод определения разрывной нагрузки и разрывного удлинения при растяжении</p>	<p>Одноосный статический</p>	<p>Среднеарифметическое значение результатов всех испытаний разрывной нагрузки и разрывного удлинения элементарных проб при первых признаках нарушения целостности полотна</p>
<p>ГОСТ 17922-72 Ткани и штучные изделия текстильные Метод определения раздирающей нагрузки</p>	<p>Одноосный статический</p>	<p>Среднеарифметическое значение результатов всех испытаний раздирающей нагрузки при разрыве на две части элементарных проб в направлении надреза</p>
<p>ГОСТ 23785.1-79 Ткань кордная. Метод определения разрывной нагрузки и удлинений</p>	<p>Одноосный статический</p>	<p>Среднеарифметическое значение результатов всех испытаний разрывной нагрузки и разрывного удлинения основных нитей</p>
<p>ГОСТ 29104.4-91 Ткани технические. Метод определения разрывной нагрузки и удлинения при разрыве</p>	<p>Одноосный статический</p>	<p>Среднеарифметическое значение результатов всех испытаний разрывной нагрузки и разрывного удлинения элементарных проб при первых признаках нарушения целостности</p>

Окончание таблицы 1.2

1	2	3
<p>ГОСТ 29104.5-91 Ткани технические. Методы определения раздирающей нагрузки</p>	<p>Одноосный статический</p>	<p>Среднеарифметическое значение результатов всех испытаний раздирающей нагрузки при разрыве на две части элементарных проб в направлении надреза и при раздирании стержнем в перпендикулярном полотну направлению</p>
<p>ГОСТ 29104.8-91 Ткани технические. Метод определения прочности и растяжимости при продавливании шариком</p>	<p>Двухосный статический</p>	<p>Среднеарифметическое значение результатов всех испытаний разрывной нагрузки и увеличение площади поверхности элементарной пробы, выраженное в процентах к первоначальной ее площади</p>
<p>ГОСТ 30303-95 (ИСО 1421-77) Ткани с резиновым или пластмассовым покрытием. Определение разрывной нагрузки и удлинения при разрыве</p>	<p>Одноосный статический</p>	<p>Среднеарифметическое значение результатов всех испытаний разрывной нагрузки и разрывного удлинения элементарных проб при первых признаках нарушения целостности ткани с резиновым или пластмассовым покрытием</p>
<p>ГОСТ 6943.10-2015 Материалы текстильные стеклянные Метод определения разрывной нагрузки и удлинения при разрыве</p>	<p>Одноосный статический</p>	<p>Среднеарифметическое значение результатов всех испытаний разрывной нагрузки и разрывного удлинения элементарных проб при первых признаках нарушения целостности стеклянной ткани</p>
<p>СТБ ИСО 2960-2002 (ГОСТ ИСО 2960-2002) Материалы текстильные. Определение прочности при продавливании и растяжения продавливанием методом диафрагмы</p>	<p>Двухосный статический</p>	<p>Среднеарифметическое значение результатов всех испытаний разрывной нагрузки и разрывного удлинения элементарных проб при первых признаках нарушения целостности текстильного материала</p>

Большинство методов, описанных стандартами, отличаются сравнительной простотой, однако все они моделируют работу волокон и нитей в материалах, а не поведение материалов в изделиях, поскольку используют одноосное статическое растяжение. О несоответствии характера деформации пробы в форме полоски способом «стрип» тем деформациям, которые получают материалы в период эксплуатации изделий, отмечается и в работах [1.34, 1.60–1.64]. Авторами указанных работ предложено проводить испытания на растяжение на широких пробах по способу «полуграб» и «граб», используя материал без вырезания проб. Исключение в списке стандартов таблицы 1.2 составляют ГОСТ 29104.8-91, ГОСТ 8847-85 и СТБ ИСО 2960-2001, которые основаны на методе двухосного статического деформирования. Данные стандарты регламентируют метод определения прочности, при котором усилия передаются пуансоном сферической формы. В этом случае элементарные звенья полотен, соприкасающиеся с вершиной сферы, получают равномерное двухосное растяжение; на других участках пробы растяжение неравномерно. Однако такой характер растяжения ближе к реальному, чем двухосное растяжение плоской пробы. Испытания в условиях двухосного деформирования более приближены к условиям эксплуатации, однако материалы для верха одежды и обуви при эксплуатации испытывают пространственное деформирование.

Введение государственного стандарта СТБ ИСО 2960 - 2001 «Материалы текстильные. Определение прочности и растяжения продавливанием методом диафрагмы» [1.59] характеризует: во-первых, стремление гармонизировать методы испытаний текстильных материалов с международными; во-вторых, приблизить методы к действию нагрузок, возникающих при эксплуатации изделий. В наименовании этого стандарта используется термин «диафрагма» для обозначения эластичной перегородки. Перевод термина diaphragm [1.65] означает: диафрагма, перегородка, мембрана, перепонка, отражательный лист, направляющий диск (турбины). В этой связи более корректным является использование термина «мембрана» для характеристики данного элемента конструкции прибора, так как из источника [1.66] известно, что мембрана – закрепленная по периметру тонкая гибкая пластинка, предназначенная для разобщения двух плоскостей с разными давлениями для преобразования изменения давления в линейные перемещения и наоборот. Кроме того, другие стандарты ISO используют этот термин. Так, стандарт ISO 13938:1999 [1.67] устанавливает статический гидравлический (пневматический) метод для определения прочностных характеристик текстильных полотен, сущность которого заключается в растяжении пробы, помещенной над эластичной мембраной, к обратной стороне которой прилагается возрастающее давление. При мембранном методе растяжения давление равномерно распределяется по поверхности пробы, вызывая двухосное растяжение элементарных звеньев структуры тек-

стильных полотен.

Методы испытаний и схемы машин с точки зрения получаемого на них деформированного состояния образца различаются. Так, в работе [1.68] А. Ю. Зыбин разделил их на две группы. К первой группе он отнес те машины, на которых материал деформируется неоднородно; ко второй – машины, на которых материал деформируется однородно. Использование машин, основанных на сообщении образцу двухосного растяжения с помощью гидравлических или пневматических устройств, так же как и сферических устройств, по мнению А.Ю.Зыбина, не обеспечивает однородного напряжённо – деформированного состояния в пробе. К машинам, создающим однородное деформированное состояние, автор относит такие, на которых пробы в форме квадрата, круга получают равномерное растяжение за счет большого количества зажимов. При использовании таких средств зона однородного растяжения материала значительно больше, чем в первой группе, но, как замечает автор, все они довольно сложны для воспроизведения.

Необходимо отметить, что перечень установок и методов испытаний на двухосное растяжение велик, в работах [1.24, 1.68–1.71] описаны отдельные экспериментальные образцы машин указанного назначения, но они представляют собой разновидности стандартизированных. Современный глубокий анализ установок и методов испытаний на двухосное растяжение текстильных полотен, полимерных пленок, кож выполнен В. В. Садовским в работе [1.72]. Представляют интерес машины для плоскостных деформаций анизотропных материалов [1.73, 1.74]. Установка О. Б. Юсубова [1.73] представляет собой горизонтальную жесткую раму с автономно движущимися кулачковыми зажимами, установленными попарно вдоль двух взаимно-перпендикулярных направлений. Четыре электродвигателя сообщают поступательное движение зажимному устройству и могут работать в любом сочетании, с различной частотой вращения. Линейные деформации образца определяются путем перевода углового перемещения диска, насаженного на ротор электродвигателя, в линейные величины. Напряжения, возникающие в образце, определяются тензометрическими датчиками. Установка А. В. Станйчука и В. В. Садовского [1.74] предназначена для исследования деформационных свойств при заданных удлинении и усилии исследуемого образца. Установка состоит из четырех узлов растяжения и двух автономных приводов. Узлы растяжения имеют каретки, передвигаемые по двум взаимно-перпендикулярным направлениям. Устройство имеет полый шпиндель нагружения со сменными инструментами. Управление описанными устройствами осуществляется с помощью автоматизированных устройств. Такие методы и приборы важны при изучении деформационно-прочностных свойств, однако не позволяют прогнозировать одно из важнейших показателей качества – формоустойчивость полотен и изделий.

С определением формоустойчивости тесно связаны испытания текстильных полотен на многократное растяжение. Многократное растяжение проб полотен проводят в плоскости полотна и по нормали к плоскости. Испытания по многократному растяжению в плоскости пробы характеризуются неравномерным растяжением нитей, петель, волокон; разной деформируемостью систем нитей в продольном и поперечном направлении.

На результаты многократного растяжения материалов существенно влияет величина амплитуды деформирования. Различают амплитуды абсолютной и относительной деформации, стрелы прогиба, напряжения, давления, работы растяжения, которые поддерживаются постоянными. Испытание текстильных полотен на многократное растяжение с поддержанием в каждом цикле амплитуды заданной циклической стрелы прогиба проводятся на пульсаторах пуансоном сферической формы.

Известны методы испытаний текстильных полотен на многократное растяжение с поддержанием постоянной заданной циклической нагрузки (напряжения). Такие методы применялись для моделирования условий эксплуатации ряда бытовых и технических изделий [1.26].

Существуют методы, описанные в многочисленных работах [1.34, 1.69, 1.70 и др.], в которых при многократном растяжении в каждом цикле поддерживается постоянная амплитуда заданной циклической работы. Амплитуду в данном случае выбирают в долях разрывного удлинения, в долях зажимной длины, в долях разрывного напряжения. Стандартных или серийно выпускаемых приборов для испытания материалов на многократное растяжение не существует, однако известны установки, которые находят применение в промышленности, научных лабораториях и учебных заведениях.

Приборы, работающие по методу одноосного многократного растяжения, можно разделить на три группы:

- сохраняющие в каждом цикле постоянство амплитуды абсолютной заданной циклической деформации (ПКМ-1, УП-1, ротационный пульсатор, ПРТП) [1.26, 1.68, 1.71, 1.75];

- сохраняющие в каждом цикле амплитуды относительной заданной циклической деформации (прибор МТИ М.И. Павловой и А.М. Исеева) [1.3, 1.22];

- сохраняющие в каждом цикле постоянство амплитуды заданной циклической нагрузки (механического давления) – прибор типа 6-24-1 (Венгрия), прибор МР-2 [1.3, 1.70].

Известен ряд приборов, предназначенных для двухосного и многоосного многоциклового растяжения текстильных материалов. К числу таких приборов принадлежат: венгерский прибор мембранного типа, пульсатор МРД-1 (разработан в МТИ А. И. Кобляковым и В. П. Румянцевым), прибор ERDT-2 (разработан в КПИ М. М. Гутаускасом),

ПРД-5 (разработан в МТИ А.И. Кобляковым и А.И. Новиковым) и другие. Схемы и принцип действия всех выше перечисленных приборов описаны в работах [1.26, 1.65, 1.69, 1.76].

Для исследования характера, величины натяжения и пространственной деформации, возникающих в изделиях из эластичных материалов при носке, был сконструирован и изготовлен прибор ИБФ-1, позволяющий подвергать эластичные материалы многоцикловому пространственному деформированию и заданному двухосному заправочному растяжению. В работах [1.77, 1.78] отмечается, что пульсатор ИБФ-1 может использоваться при изучении сложных деформационных процессов, протекающих в изделиях из эластичного материала при их эксплуатации, тем не менее он не нашел широкого применения из-за сложной конструкции.

Для динамических испытаний материалов разработаны различные типы испытательного оборудования, классификация которого приведена в работе [1.27] в зависимости от источника и вида энергии, используемой для деформирования образца (падающий груз, гидравлический напор, сжатый газ и др.) Существует классификация установок, в основу которой положен метод и способ нагружения [1.79]. Методами в данной классификации являются гравитационный, электромеханический, электродинамический, пневматический, гидравлический, взрывной, баллистический. Наибольшее распространение из приборов для динамических испытаний текстильных материалов получили пневматические и ротационные копры. При оснащения копра термокамерой изучают поведение материалов при динамическом растяжении с учетом температурного режима [1.80].

Наряду с выносливостью к многократному растяжению большое значение в общем разрушении текстильных полотен имеет их стойкость к многократному изгибу. Известны разнообразные методы испытаний, в которых изгиб осуществляется по разным схемам [1.69]. Стандартизованные методы испытаний на изгиб содержатся в источниках [1.81–1.85]. Перечень указанных методов приведен в таблице 1.3.

Согласно ГОСТ 10550-75 методом консоли испытывают легко изгибающиеся материалы, имеющие абсолютный прогиб более 10 мм (прибор ПТ-2). По ГОСТ 8977-74 (прибор ПЖУ 12М) жесткость определяется величиной нагрузки, необходимой для прогиба согнутой кольцом пробы на $1/3$ первоначального диаметра. К этой же группе приборов относится продольный изгибатель ПИ, разработанный Б. А. Бузовым и прибор ПЖШ-2 [1.26].

Следует отметить наличие среди стандартизованных методов метод многократного изгиба. При многократном изгибе условия деформирования текстильных материалов более жесткие, чем при многократном растяжении. Это связано с сосредоточенностью нагрузки на малом участке деформирования, что снижает значение связи между структур-

ными элементами материала. Эти методы кроме традиционного способа испытания на изгиб с помощью плоских зажимов (расположенных вертикально или горизонтально) включают способ, когда для проведения испытания используется пара металлических цилиндров (ГОСТ 28791-90). Образец цилиндрической формы укрепляют покрытием наружу вокруг двух противоположных цилиндров, которые совершают возвратно-поступательные движения навстречу, образуя на материале складку. Данный метод, в отличие от остальных, находится ближе всех по степени адекватности моделирования механических воздействий при эксплуатации.

Авторы работы [88] предложили альтернативный стандартному методу испытаний текстильных материалов на изгиб динамический метод и автоматизированное устройство для его реализации, позволяющие определять формоустойчивость материала по значению остаточного угла. Для оценки стойкости к многократному изгибу предлагается использовать комплекс показателей, позволяющих оценить кинетику восстановления первоначального состояния текстильного материала. Указанный метод с динамическим характером испытания реализуется с помощью автоматизированного устройства, позволяющего зафиксировать время восстановления пробы после снятия изгибающей нагрузки, то есть получить количественную оценку упругих свойств материалов при изгибе, а также определить остаточную деформацию по величине остаточного угла после изгиба материала. Метод, безусловно, приближен к условиям эксплуатации ряда бытовых и технических изделий, но на практике деформация изгиба сочетается с деформацией растяжения (сжатия).

Испытания материалов на многократный изгиб выполняют на наиболее распространенных приборах – изгибателях. Существуют изгибатели типа АИТН-2 [1.70, 1.76], с помощью которых осуществляется метод строго поперечного изгиба на узко ограниченном участке пробы (разрушение пробы происходит по линии ее сгиба). Прибор АИТН-2 предназначен для испытания проб материалов и нитей; частота деформирования – 110 циклов в минуту с предварительным растяжением (груз статической нагрузки до 78,4 Н). Для моделирования многократного изгиба текстильных изделий применялся изгибатель ДР-15, а для текстильных полотен – МИТ-1, МИТ-3. Е. В. Каландадзе в работе [1.87] приводит результаты исследования тканей на приборе МИТ-3 при варьировании радиуса изгиба, частоты циклов, величины предварительного натяжения. Существенным недостатком всех изгибателей является несоответствие характера нагружения образцов материала эксплуатационным воздействиям, так как материал подвергается излому по строго определенной линии сгиба.

Таблица 1.3 – Методы испытаний текстильных материалов на изгиб, регламентируемые ТНПА

Обозначение и наименование ТНПА	Метод деформирования	Критерии оценки
1	2	3
ГОСТ 6943.9-79 Материалы текстильные стеклянные. Метод определения устойчивости к многократному изгибу	Многократный изгиб плоской пробы	Среднеарифметическое значение количества циклов результатов всех испытаний при первых признаках нарушения целостности стеклянной ткани
ГОСТ Р 12.4.199-99 Система стандартов безопасности труда. Материалы для средств индивидуальной защиты с резиновым или пластмассовым покрытием. Методы определения сопротивления на изгиб	1) изгиб образца в одной плоскости при воздействии нагрузки, перпендикулярной к поверхности образца; 2) изгиб в одной плоскости образца в форме ромба; 3) изгиб цилиндрического образца при воздействии нагрузки, сжимающей образец вдоль его оси; 4) сжатие и изгиб цилиндрического образца с истиранием в складке; 5) сжатие и изгиб цилиндрического образца с кручением; 6) изгиб вокруг зажимов с постоянным радиусом кривизны на заданный угол в каждую сторону от вертикального положения образца (двойной перегиб), находящегося при постоянно действующей растягивающей нагрузке	Среднеарифметическое значение результатов всех испытаний до появления видимого нарушения целостности материала с резиновым или пластмассовым покрытием

Окончание таблицы 1.3

1	2	3
ГОСТ 28791-90 Ткани с резино- вым или пласт- массовым покры- тием. Определе- ние сопротивле- ния разрушению при изгибе (дина- мический метод)	Многократный изгиб про- бы цилиндрической формы	Одна или несколько трещин длиной не менее 2 мм и прохо- дящих через покры- тие до основани- я ткани за определен- ное количество цик- лов
ГОСТ 10550-93 Материалы тек- стильные. Полот- на. Методы опре- деления жестко- сти при изгибе	Метод изгибания под дей- ствием распределенной нагрузки (статический)	Среднеарифметиче- ское значение ре- зультатов всех изме- рений прогибов кон- цов элементарной пробы
ГОСТ 8978-2003 Кожа искусствен- ная и пленочные материалы. Мето- ды определения устойчивости к многократному изгибу	Многократный изгиб про- бы плоской формы	Среднеарифметиче- ское значение коли- чества циклов ре- зультатов всех испы- таний до появления разрушения покры- тия искусственных кож и пленочных текстильных матери- алов
ГОСТ ISO 5402-1- 2014 Кожа. Определе- ние прочности на изгиб. Часть 1. Метод с примене- нием флексометра	Многократный изгиб про- бы плоской формы	Среднеарифметиче- ское значение коли- чества циклов ре- зультатов всех испы- таний до появления разрушения, измене- ния оттенка лицевой поверхности, потери сцепления между слоями

В этой связи интерес представляют результаты испытания материалов на многократное неориентированное смятие. Приборы СТП-6 и МПИ-1 [1.34, 1.71] предназначены для многократного неориентированного пространственного изгиба (смятия) пробы материала с большим радиусом кривизны. Заслуживает внимания прибор МПИ-1, разрабо-

танный В.Н. Пантелеевым и предназначенный для многократного продольного неориентированного смятия проб с одновременным истиранием их о контактирующую поверхность. При работе прибора подвижная рама получает возвратно-поступательное движение, в результате чего происходит свободный неориентированный изгиб проб с одновременным истиранием их о серошинельное сукно. Недостатком прибора является длительность испытания, к достоинствам следует отнести комплексное циклическое воздействие двух изнашивающих факторов (изгиба и истирания) во времени. Особенностью прибора СТП-6 является испытание проб текстильных материалов цилиндрической формы. Цилиндрическая форма способствует интенсификации изгиба, сообщаемого образцу, на отдельных участках которого происходит деформация сжатия.

Для материалов, имеющих полимерный слой, стандартными являются испытания на устойчивость к многократному изгибу [1.85], при которых материал подвергается сложному пространственному изгибу, формируя «бегущую складку», изменяющую свое положение в процессе испытания. Для испытания применяется прибор типа ИПК-2М. Количество одновременно испытываемых на приборе образцов материала – 16. К недостаткам описанного метода можно отнести визуальный контроль нарушения структуры образцов, сложную схему заправки элементарных проб в зажимы прибора, которая не исключает задание различных изгибающих моментов при исследовании элементарных проб одного образца, а также малый размер элементарной пробы, не позволяющий исследовать стандартными методами свойства подвергнутого многоцикловым воздействиям образца.

Существует еще ряд известных приборов, позволяющих испытывать ткани на многократный изгиб: прибор И. Саксла, прибор Г. Шифера, прибор проф. Т. Оэг-Олофссона, ДР-5/3, МИТ-3, конструкция которых позволяет сообщать образцу только повторный изгиб (без растяжения). Прибор Саксла [1.68] позволяет определять изгибающие моменты в зависимости от углов изгиба. Недостаток метода заключается в том, что изгибающий момент зависит от массы полоски. Приборы Шифера и Оэг-Олофссона наиболее совершенны, так как в них устранено влияние массы полоски на изгибающий момент. В приборах ДР-5/3, МИТ-3 усовершенствована конструкция зажимов [1.88].

Для оценки последствий циклических механических воздействий на материал в разных источниках используют характеристики «динамическая усталость», «динамическая выносливость», а также «остаточная циклическая деформация», характеризующая формоустойчивость.

1.3 Методы испытаний, комбинирующих различные деформирующие воздействия при циклических нагружениях текстильных материалов

В изделиях из текстильных материалов при носке возникает деформация пространственного характера, поэтому для ее исследования необходимы приборы, позволяющие подвергать эти материалы циклическому пространственному деформированию.

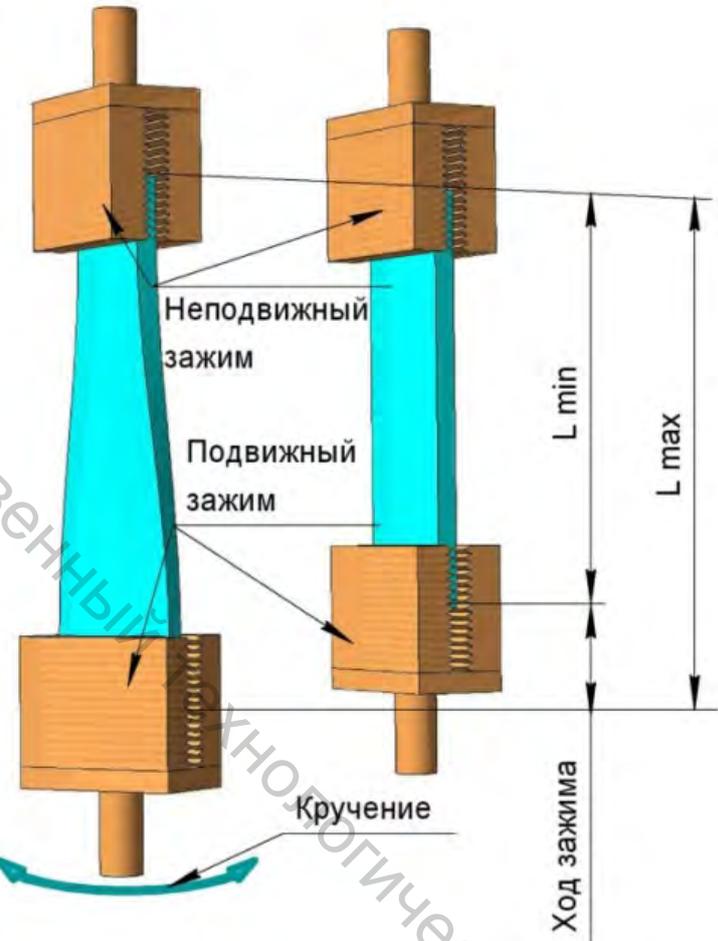
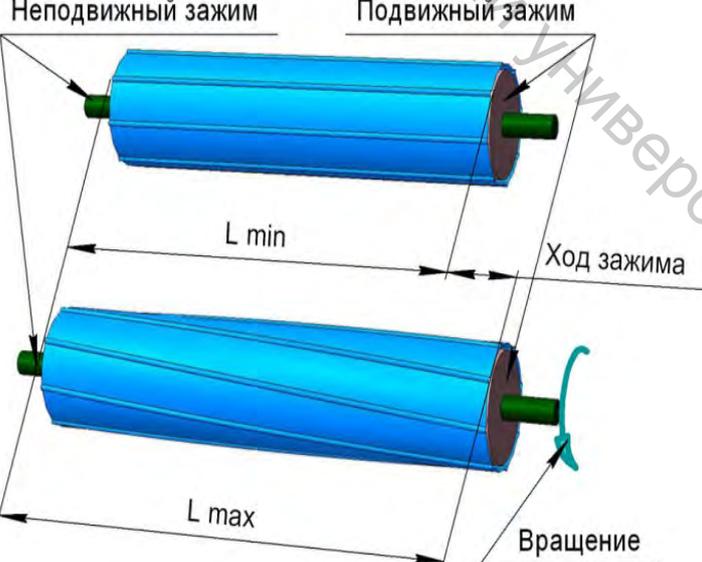
Приборов, которые комбинируют несколько различных деформирующих нагрузок при испытаниях, в настоящее время немного. В таблице 1.4 сгруппированы методы, использующие комбинацию деформаций растяжения, изгиба и др. Конструкции этих приборов основаны на различных способах создания условий деформирования, что объясняется отсутствием универсальной конструкции и налаженного серийного производства приборов (установок).

Один из таких приборов – это универсальная испытательная машина американской фирмы «Инстрон» (позиция 1 таблицы 1.4). Машины «Инстрон» [1.89] предназначены для испытания самых различных материалов: металла, пластмасс, резины, текстильных материалов, бумаги и других на растяжение, сжатие и изгиб. На них также можно определить гистерезисную кривую, напряжение релаксации, энергию деформации разрыва. При исследовании текстильных материалов можно производить полуцикловые, одноцикловые и циклические испытания, определять три составляющие части полной деформации образца: упругую, эластическую и пластическую.

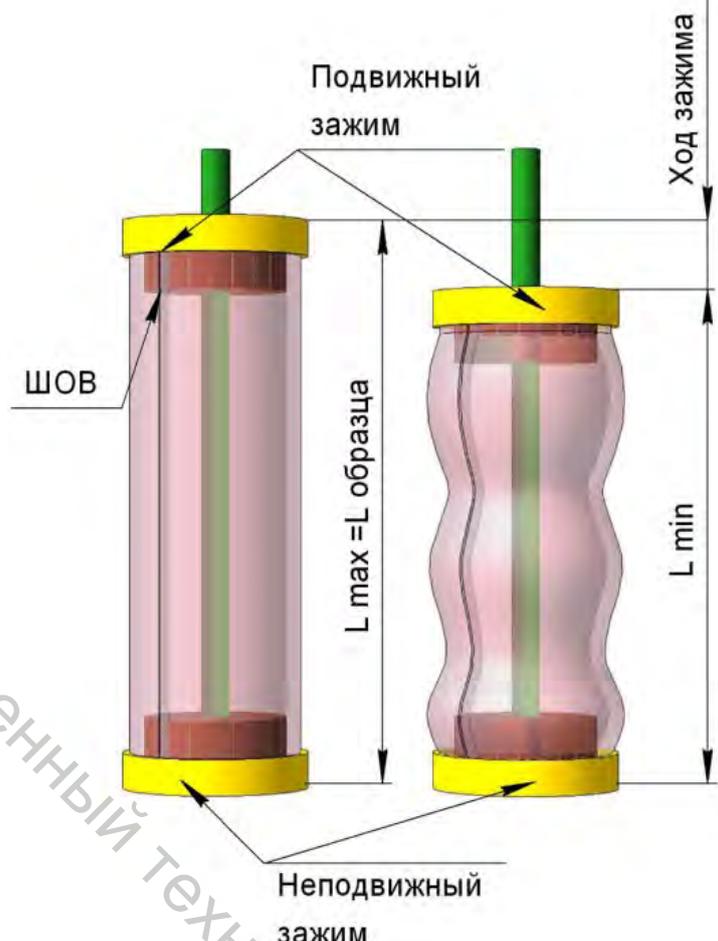
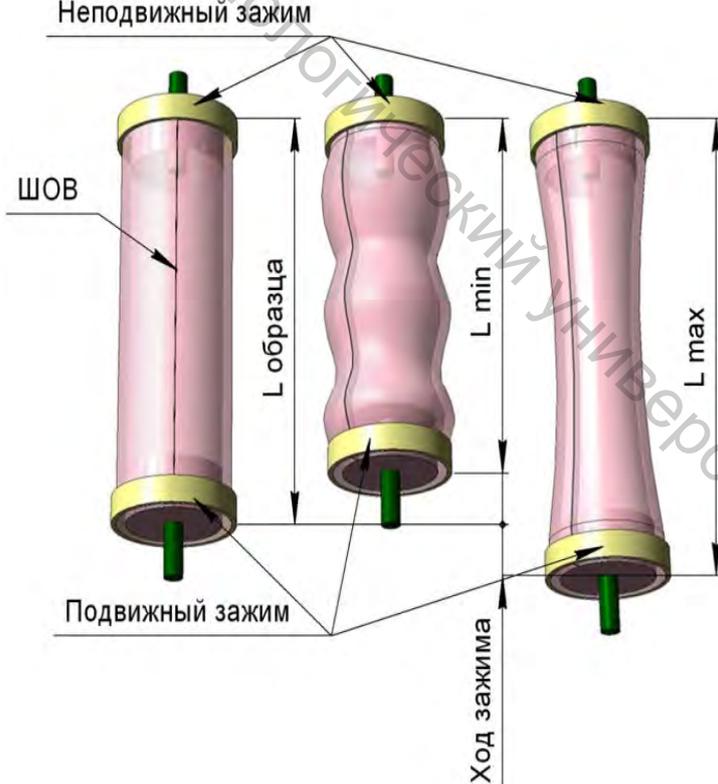
Универсальная установка для многоосного деформирования проб эластичных материалов и мягких тканей плоской формы описана в источнике [1.90]. Кроме изучения механического поведения материалов при многоосной деформации в широком диапазоне нагрузок (растяжение, сжатие, изгиб) прибор позволяет определять величину напряжений и коэффициентов температуропроводности образцов благодаря тензо- и термодатчикам (конструкция прибора не опубликована). К недостаткам приборов можно отнести сложность конструкции и возможность приложения нагрузки только в плоскости пробы, а не по нормали к ее первоначальной плоскости.

Прибор ПДТИ-1 сконструирован для исследования поведения эластичных трубчатых изделий (деталей одежды, шлангов рукавов и других) при деформировании [1.91]. Этот прибор позволяет производить испытания при скручивании и растяжении проб, причём оба воздействия могут осуществляться одновременно или раздельно (позиция 2 таблицы 1.4).

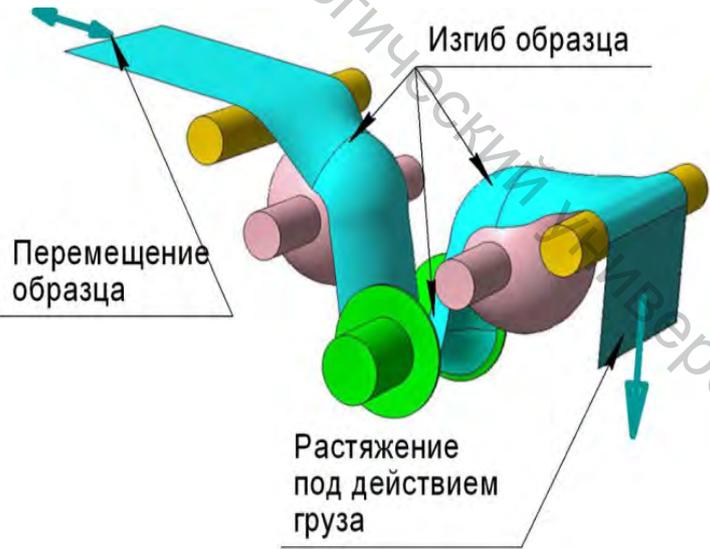
Таблица 1.4 – Методы и приборы, комбинирующие различные деформирующие нагрузки при многоцикловых испытаниях листовых материалов

Номер, название и характеристика прибора	Характеристика деформированного состояния пробы
1	2
<p>1 «Инстрон» США</p> <p>Вид деформирующих нагрузок: растяжение + кручение;</p> <p>Величина предварительного растяжения до 20 %($P_{разр}$);</p> <p>Форма пробы – прямоугольная</p>	 <p>Неподвижный зажим</p> <p>Подвижный зажим</p> <p>Кручение</p> <p>L min</p> <p>L max</p> <p>Ход зажима</p>
<p>2 ПДТИ-1</p> <p>Вид деформирующих нагрузок: растяжение + кручение;</p> <p>Величина предварительного растяжения до 10 %($P_{разр}$);</p> <p>Форма пробы – в виде трубы</p>	 <p>Неподвижный зажим</p> <p>Подвижный зажим</p> <p>L min</p> <p>L max</p> <p>Ход зажима</p> <p>Вращение</p>

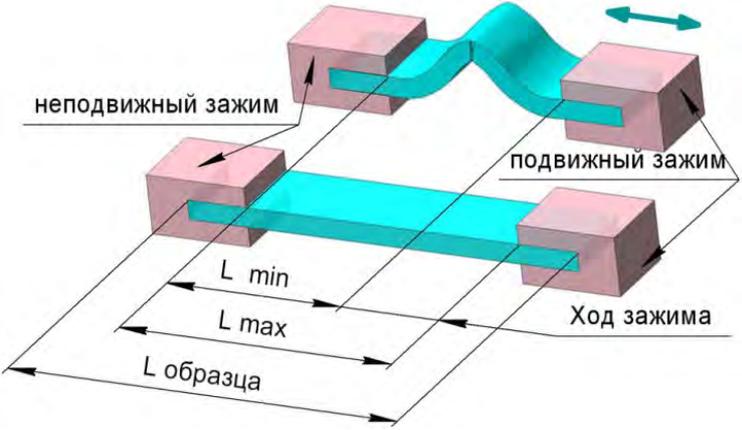
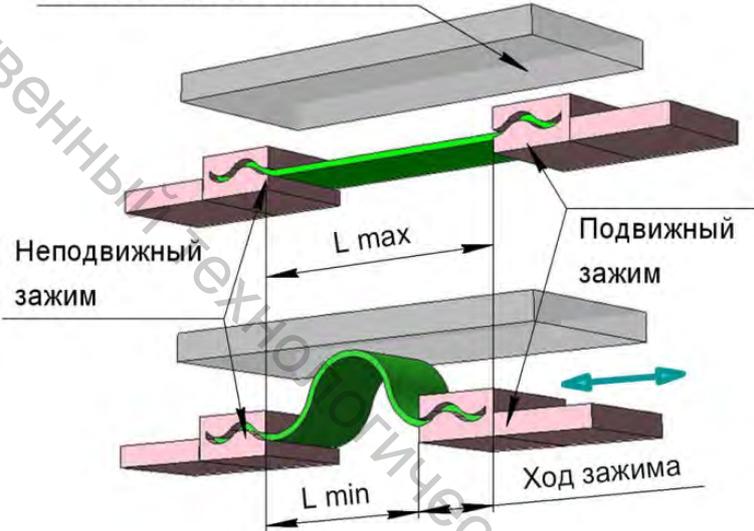
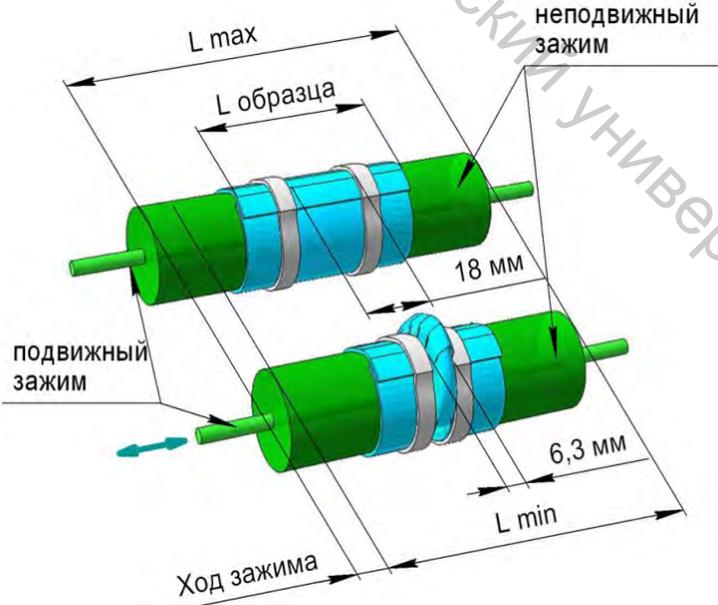
Продолжение таблицы 1.4

1	2
<p>3 МИРЦ</p> <p>Вид деформирующих нагрузок: изгиб + сжатие;</p> <p>Величина предварительного растяжения до 5 %($P_{разр}$);</p> <p>Форма пробы – цилиндрическая с продольным швом</p>	
<p>4 ПАТЕНТ № 6798</p> <p>Вид деформирующих нагрузок: изгиб + сжатие + растяжение;</p> <p>Величина предварительного растяжения до 15 %($P_{разр}$);</p> <p>Форма пробы – цилиндрическая с продольным швом</p>	

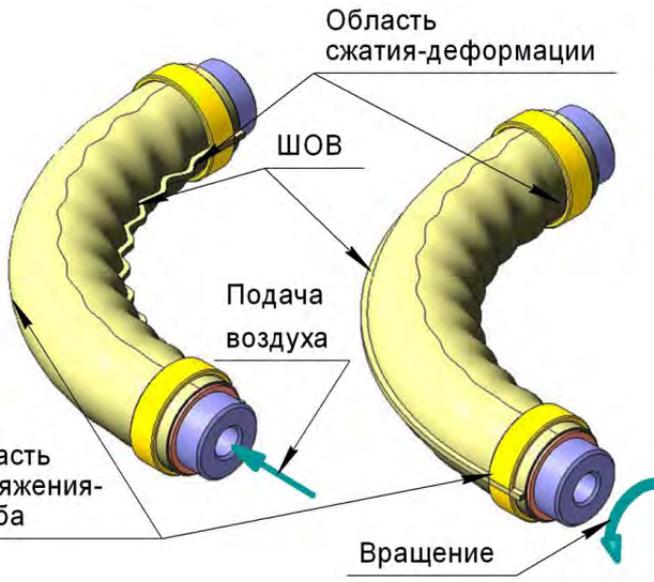
Продолжение таблицы 1.4

1	2
<p>5 Прибор для испытания материалов и ниточных швов</p> <p>Вид деформирующих нагрузок: изгиб + растяжение;</p> <p>Величина предварительного растяжения до 5 %($P_{разр}$);</p> <p>Форма пробы – цилиндрическая с продольным швом</p>	
<p>6 Прибор для многократного изгиба материалов</p> <p>Вид деформирующих нагрузок: изгиб + растяжение + истирание;</p> <p>Величина предварительного растяжения до 5 %($P_{разр}$);</p> <p>Форма пробы – прямоугольная</p>	

Продолжение таблицы 1.4

1	2
<p>7 STM117 SATRA</p> <p>Вид деформирующих нагрузок: изгиб + растяжение;</p> <p>Величина предварительного растяжения до 5 % ($P_{разр}$);</p> <p>Форма пробы – прямоугольная</p>	
<p>8 МПИ-1</p> <p>Вид деформирующих нагрузок: изгиб + истирание;</p> <p>Без растяжения;</p> <p>Форма пробы – прямоугольная</p>	
<p>9 ГОСТ 28791-90</p> <p>Вид деформирующих нагрузок: изгиб + растяжение;</p> <p>Небольшое ненормируемое растяжение;</p> <p>Форма пробы – цилиндрическая без шва</p>	

Окончание таблицы 1.4

1	2
<p>10 Патент № 870</p> <p>Вид деформирующих нагрузок: растяжение + изгиб + сжатие;</p> <p>Величина предварительного растяжения до 20 % ($P_{разр}$);</p> <p>Форма пробы – цилиндрическая с продольным швом</p>	 <p>The diagram illustrates a cylindrical specimen with a longitudinal seam (ШОВ). It shows two views of the specimen under different mechanical actions. Labels include: 'Область сжатия-деформации' (Compression-deformation area) at the top; 'ШОВ' (Seam) pointing to the longitudinal joint; 'Подача воздуха' (Air supply) with an arrow pointing into the specimen; 'Область растяжения-изгиба' (Stretching-bending area) at the bottom; and 'Вращение' (Rotation) with a curved arrow indicating the direction of rotation.</p>

Прибор состоит из двух приводов для скручивания и растяжения образцов. В случае включения двух приводов проба подвергается одновременно скручиванию и растяжению. На приборе могут непрерывно измеряться сопротивление кручению, релаксация крутящего момента, характеристики растяжения. Последнее дает возможность проводить исследование трубчатых эластичных изделий в различных закрытых камерах.

Из приборов, предназначенных для испытания обувных текстильных и кожаных материалов, интерес представляют приборы МИРЦ и МИРП, разработанные во ВНИИПИКе [1.92]. На приборе МИРЦ определяют устойчивость материалов к разрушению при сжатии и изгибе пробы цилиндрической формы вдоль оси цилиндра с сообщением ему предварительного растяжения (позиция 3 таблицы 1.4). Пробы различных материалов в приборе могут быть испытаны без растяжения и с растяжением на 3–5 % при частоте перемещения подвижных зажимов 100 цикл/мин.

Прибор МИРП по принципу действия близок к прибору МИРЦ, но снабжен зажимами, обеспечивающими испытание проб в форме ромба, которым сообщается повторное растяжение, чередующееся с многократным изгибом и сжатием. Испытания проводятся со скоростью 100 или 200 цикл/мин.

Определенный интерес представляет так называемый союзочный прибор [1.93], обеспечивающий деформацию пробы, натянутой на резиновую колодку, имитирующую стопу. При изгибе пробы вместе с колодкой на нем образуются складки, аналогичные тем, которые появля-

ются на союзке при изгибе обуви. При изгибе проба испытывает растяжение в поперечном направлении, вызываемое раздавшейся по ширине резиновой колодкой. При распрямлении колодки ей можно сообщить некоторый прогиб в противоположную сторону, благодаря чему размещенная на ней проба получает дополнительное растяжение в продольном направлении. Определенным недостатком прибора является его узкое функциональное назначение.

Для испытания на многократный изгиб с растяжением в условиях постоянно действующей на пробу нагрузки, авторами работы [1.94] Е. А. Шермет и В. В. Щербаковым предложено устройство, позволяющее сообщать пробе сочетание деформаций растяжения и изгиба (позиция 4 таблицы 1.4). Устройство содержит систему подвижных и неподвижных зажимов, приводной механизм и блок управления, механизм подачи биологической жидкости (имитирующей пот). Пробы закрепляются на резиновых колодках (в форме эллипса) и подвергаются деформации многократного изгиба и продольного растяжения на заданную величину. Пространственная форма пробы позволяет оценивать также и ниточные соединения. Характер деформирования материалов данного устройства имеет главный общий недостаток, присущий множеству приборов: нагрузка сообщается в продольном направлении пробы.

Для динамического испытания материалов и ниточных швов в заготовке обуви предназначен и прибор, разработанный в Чехословакии [1.95]. Многократный изгиб осуществляется за счет вращательного движения коленчатого вала с запрессованными в нем подшипниками (позиция 5 таблицы 1.4). Проба сшивается в виде трубки, которую можно предварительно деформировать или растянуть на определенную величину на самом приборе, и одевается на деформационный узел (коленчатый вал). Оба конца образца зажимаются в зажимы. Нижний зажим перемещается в вертикальном направлении, что позволяет выполнять комбинированное нагружение – изгиб с растяжением. Данный прибор дает удовлетворительное качество оценки ниточных швов и не приемлем для оценки эксплуатационных свойств материалов для верха обуви. Недостатком прибора является то, что он не обеспечивает высокой достоверности результатов испытаний, так как не отражает реального характера нагружения переднего отдела верха обуви.

Известны и другие приборы для испытания обувных материалов на многократное растяжение, изгиб, поочередное (или совместное) сообщение образцу указанных деформаций [1.96–1.99], однако большинство этих приборов представляет собой разновидность описанных.

Приблизить испытание тканей и других анизотропных текстильных материалов на усталость к условиям реальной эксплуатации попытались авторы работы [1.100] с помощью прибора, схема которого показана на позиции 6 таблицы 1.4. Прибор имеет две системы валиков: первую – с образующей в виде однополостного гиперboloида и вторую

– с образующей, являющейся зеркальным отображением образующей валиков первой системы, два подвижных зажима для закрепления плоских образцов, узел электропривода с редуктором и кривошипно-шатунным механизмом, обеспечивающим возвратно-поступательное перемещение каретки, и приспособление для передачи растягивающего усилия на свободные концы испытуемых образцов. Прибор предназначен сообщать пробе изгибающее усилие одновременно в долевым и поперечном направлении путем смены направления изгиба на противоположное при переходе с валиков первой системы на валики второй системы, однако, как видно на схеме деформирования, знакопеременный изгиб образца не происходит. Свободный конец образца нагружают статической нагрузкой не более 3–5 % от разрывной. Поскольку статическая нагрузка небольшая, то возникающие в образце напряжения являются следствием деформаций, вызванных только изгибом.

Технологический центр Satra (Великобритания) кроме приборов на многократное растяжение эластичных материалов (STM 468) и многократный изгиб (STM 141) предлагает прибор STM 117, позволяющий подвергать материалы для верха обуви циклическим изгибам и растяжению (позиция 7 в таблице 1.4) [1.101]. Прибор особенно рекомендован для синтетических, дублированных и комплексных материалов, покрытия которых могут растрескиваться, осыпаться. На приборе одновременно можно испытывать шесть плоских проб, заправленных в горизонтально расположенные зажимы. Прибор содержит систему подвижных и неподвижных зажимов; пробе сообщается деформация изгиба и растяжения в продольном направлении. Характер деформирования материалов на приборе STM 117 имеет ранее указанный недостаток: нагрузка сообщается в продольном направлении плоской пробы.

В таблице 1.4 приведены также схемы деформирования проб выше описанных приборов МПИ- 1 (позиция 8) и стандартизированного в ГОСТ 28791-90 (позиция 9). Позиция 10 данной таблицы иллюстрирует схему деформирования на установке, которая комбинирует деформацию многократного изгиба и растяжения [1.102, 1.103, 1.104]. Похожие условия деформирования материалов создает прибор [1.105]. В отличие от установки, описанной в таблице 1.4 под номером 10, внутри оправки, на которую одет образец, не создается давление, поэтому материал в процессе испытания не подвергается многоосному растяжению, имитирующему распорное действие стопы на материалы обуви.

С целью совершенствования конструкции прибора [1.105] разработан новый прибор [1.106], в котором обеспечивается возможность произвольного задания деформации изгиба и растяжения двух образцов одновременно в широком диапазоне и независимо друг от друга.

В случае когда на материалы одежды действует пониженная температура воздуха, происходит изменение их свойств. Пониженными считаются температуры 273–203 К (от 0 до -70 °С) [1.10, с. 195]. Изме-

нение свойств материалов для одежды зависит от сырьевого состава материалов. Известно, что существенные изменения претерпевают материалы при одновременном воздействии пониженных температур и трения, многократного изгиба, растяжения: слоистые материалы расслаиваются, образуются микротрещины и просечки слоев, их растяжимость снижается [1.10, 1.107]. Для исследования влияния пониженных температур на свойства материалов применяют различного рода криокамеры с установленными внутри них сменными приборами, имитирующими эксплуатационные нагрузки. Наибольшее применение нашли методики исследования разрывной нагрузки и удлинения материалов при пониженных температурах. Установлено, что резкое ухудшение эксплуатационных свойств под действием холода происходит у многослойных материалов, содержащих пленочный полимерный слой: именно этот слой разрушается первым. Однако существенное изменение прочности многослойных материалов происходит значительно позже этого разрушения – разрывная нагрузка текстильной основы при понижении температуры растет, зато происходит расслаивание материала, повышение жесткости, ломкости, возникновение трещин полимерного слоя [1.10, с. 204].

Поэтому чаще всего исследование морозостойкости многослойных материалов проводят при совместном воздействии пониженной температуры и однократного или многократного изгиба, определяя степень разрушения слоев визуально. Данные об изменчивости свойств плащевых материалов с покрытием получены А. В. Никитиным, Т. И. Сомовой и Б. А. Бузовым. Установлено, что при многократном замораживании-оттаивании (50 циклов) в диапазоне температур от 258 К (-15 °С) до 303 К (30 °С) происходит значимое увеличение водопроницаемости материалов [1.80, 1.108].

Стандартные методы исследования морозостойкости искусственных кож различают по условиям проведения испытания на статические и динамические [1.109, 1.110]. При этом с помощью устройств, размещенных внутри криокамеры, моделируют в основном деформацию изгиба или изгиба и трения (при использовании метода протаскивания образца через щель). Критерием морозостойкости считается количество циклов нагружения до разрушения образца при определенном заданном значении пониженной температуры или соответствии нагрузки, необходимой для протаскивания образца через щель, установленной норме при определенной температуре и условии неразрушения образца.

В настоящее время общепризнано, что средство испытания является активным элементом метода и существенно влияет на результаты исследований. Лабораторные испытания, использующие комплекс изнашивающих механических факторов, остаются единственной возможностью дать объективную комплексную оценку текстильному материалу на этапе планирования серийного выпуска продукции.

Анализ вышеизложенного позволяет сделать следующее заключение.

К показателям эксплуатационных свойств большинство авторов научных публикаций относят стандартизованные механические характеристики текстильных материалов. Проведенный анализ патентных источников, ТНПА, научно-технической литературы позволил установить, что среди методов испытания и измерения механических характеристик текстильных материалов преобладают методы исследования статической природы указанных характеристик, которые моделируют работу волокон и пряжи в материалах, а не работу материалов в изделиях.

Публикации в области материаловедения изделий легкой промышленности говорят о необходимости при оценке качества использовать показатели, полученные методом циклических механических воздействий на текстильные материалы, который либо воспроизводит (экспериментальная носка), либо моделирует условия эксплуатации (лабораторное изнашивание). При этом для оценки эксплуатационных свойств материала применяют следующие показатели: остаточная циклическая деформация, выносливость, долговечность, предел выносливости, циклическая работа разрыва, изменение структуры материала, изменение начального уровня его эксплуатационных свойств.

Существующие методы и установки, основанные на использовании циклических деформаций для моделирования эксплуатационных воздействий, отличаются разнообразием и длительностью проведения испытаний. Большинство из них предназначено для исследования узкого диапазона деформационных характеристик материалов. Анализ публикаций указывает на отсутствие универсальной конструкции приборов (установок) для циклического деформирования текстильных одежных и обувных материалов и налаженного их серийного производства.

Литература

1.1. Орленко, Л. В. Роль и задачи конфекционирования в современном дизайне одежды / Л. В. Орленко // Актуальные проблемы создания и использования новых материалов и оценки их качества (Материаловедение-99) : тез. докл. междунар. науч.-прак. конф., Черкизово / МГУ сервиса; редкол.: В. И. Стельмашенко [и др.]. – М. : ПАИМС, 1999. – С. 126–127.

1.2. Перепелкин, К. Е. Текстильное материаловедение вчера, сегодня, завтра / К.Е. Перепелкин // Текстильная промышленность, № 7–8, 1994. – С.10–14.

1.3. Архангельский, Н. А. Эксплуатационные свойства тканей и современные методы их оценки / Н. А. Архангельский. – М. : Ростехиздат, 1960. – 270 с.

1.4. Грачёв, М. В. Материаловедение швейного производства: учеб. для вузов / М. В. Грачёв, Г. Н. Кукин. – М.: Лёгкая индустрия, 1978. – 450 с.

1.5. Лифиц, И. М. О критериях качества товаров народного потребления / И. М. Лифиц, Г. И. Кутянин // Стандарты и качество. – 1972. – № 8. – С. 40–43.

1.6. Кирюхин, С. Н. Текстильное материаловедение: учеб. для студентов вузов / С. Н. Кирюхин, А. Н. Соловьёв. – М.: Лёгкая индустрия, 1978. – 350 с.

1.7. Коляденко, С. С. Товароведение текстильных товаров: учеб. для студентов вузов / С. С. Коляденко, В. Т. Месяченко. – М.: Экономика, 1981. – 321 с.

1.8. Ликумович, В. Х. Структурный анализ качества / В. Х. Ликумович. – М.: Легкая индустрия, 1980. – 160 с.

1.9. Методы исследования свойств текстильных изделий / К. Е. Перепелкин [и др.]; под общ. ред. К. Е. Перепелкин. – Л.: ЛИТЛП, 1988. – С. 37–38.

1.10. Гущина, К. Г. Эксплуатационные свойства материалов для одежды и методы оценки / К.Г. Гущина. – М.: Лёгкая индустрия, 1984. – 155 с.

1.11. Грачёв, М. В. Качество продукции и стандартизация в текстильной промышленности / М. В. Грачёв. – М.: Лёгкая индустрия, 1974. – 120 с.

1.12. Ковчур, А. С. Материаловедение: учеб. пособие / А. С. Ковчур. – М.: Легпромиздат, 2000. – 125 с.

1.13. Шепелев, А. Ф. Товароведение и экспертиза текстильных и швейно-трикотажных товаров: уч. пособие для экономических ВУЗов / А. Ф. Шепелев, И. А. Печенежская, А. С. Туров. – Ростов н/Д.: Феникс, 2002. – 480 с.

1.14. Испытание текстильных материалов: учебник для техникумов / Н. М. Толкунова [и др.]; под ред. Н. М. Толкуновой. – М.: Легпромбытиздат, 1993. – 224 с.

1.15. Петрище, Ф. А. Теоретические основы товароведения и экспертизы непродовольственных товаров / Ф. А. Петрище. – М.: ИТК «Дашков и К», 2004. – 270 с.

1.16. Закатова, Н. Д. Эксплуатационные свойства обувных материалов / Н. Д. Закатова. – М.: Лёгкая индустрия, 1978. – 390 с.

1.17. Соловьев, А. Н. Оценка качества и стандартизация текстильных материалов / А. Н. Соловьев, С. М. Кирюхин. – М.: Легкая индустрия, 1974. – 248 с.

1.18. Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения : ГОСТ 27.002. – Введ. 01.07.1990. – М.: ИПК Издательство стандартов, 1990. – 32 с.

1.19. Лисиенкова, Л. Н. Развитие теории и методов исследования деформационных свойств материалов при воздействии технологических и эксплуатационных факторов: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.19.01 / Л. Н. Лисиенкова; МГУТД. – М., 2010. – 37 с.

1.20. Склянников, В. П. Строение и качество тканей: монография / В. П. Склянников. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1984. – 176 с.

1.21. Коблякова, Е. Б. Основы проектирования рациональных размеров и формы одежды / Е. Б. Коблякова. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1984. – 208 с.

1.22. Семак, Б. Д. Износостойкость и формоустойчивость одежды тканей с малосминаемой и малоусадочной отделкой / Б. Д. Семак. – М.: Легкая индустрия, 1978. – 152 с.

1.23. Торкунова, З. А. Испытания трикотажа / З. А. Торкунова. – 2-е изд., перераб. – М.: Легпромбытиздат, 1985. – 200 с.

1.24. Сухарев, М. И. Свойства нетканых текстильных материалов и методы их исследования / М. И. Сухарев. – М.: Легкая индустрия, 1969. – 158 с.

1.25. Методы исследования свойств текстильных изделий / К. Е. Перепелкин [и др.]; под общ. ред. К. Е. Перепелкин. – Л.: ЛИТЛП, 1988. – С. 37–38.

1.26. Бузов, Б. А. Материаловедение швейного производства: учеб. для вузов / Б. А. Бузов, Т. А. Модестова. – М.: Лёгкая индустрия, 1978. – 480 с.

1.27. Голубков, В. С. Испытательные машины в текстильном материаловедении / В. С. Голубков, К. М. Пирогов, Б. Л. Смушкович. – М.: Легпромбытиздат, 1988. – С. 86.

1.28. Панкевич, Д. К. Влияние многоцикловых нагрузжений на водонепроницаемость мембранных материалов для одежды / Д. К. Панкевич // Модели инновационного развития текстильной и легкой промыш-

ленности на базе интеграции университетской науки и индустрии. Образование – наука – производство : сб. ст. / Казан. нац. исслед. технол. ун-т ; редкол.: Л. Н. Абуталипова, В. В. Хамматова, Т. А. Федорова. – Казань. – 2016. – С. 272–278.

1.29. Панкевич, Д. К. Влияние многоцикловых нагрузжений на паропроницаемость плащевых материалов / Д. К. Панкевич, А. Н. Буркин, Ю. М. Кукушкина // Теоретические знания – в практические дела : сб. ст. 15 междунар. науч.-иннов. конф. аспирантов, студентов и молодых исследователей с элементами научной школы, Омск, 1–8 апр. 2014 г. / ФГБОУ ВПО Московск. гос. ун-т технол. и управл. им. К. Г. Разумовского. Филиал в г. Омске; редкол.: И. А. Прозорова, А. Ю. Шонин, Т. И. Соснова. – Омск, 2014. – Ч. 1. – С. 86–90.

1.30. Панкевич, Д. К. Исследование влияния эксплуатационных нагрузок на свойства мембранных материалов / Д. К. Панкевич, О. В. Лобацкая, Е. В. Рагиня, Е. Г. Кучинская, Я. В. Иванова // тез. докл. 48 междунар. науч.-техн. конф. преп. и студ., посвященной 30-летию ун-та, Витебск, 29 апр. 2015 г. / Витебский гос. технол. ун-т; редкол.: Е. В. Ванкевич [и др.]. – Витебск, 2015. – С. 146–147.

1.31. Бузов, Б. А. Материалы для одежды. Ткани / Б. А. Бузов, Г. П. Румянцева. – М. : ФОРУМ ; ИНФРА-М, 2012. – 224 с.

1.32. Махонь, А. Н. Оценка эксплуатационных показателей качества тканей для верха обуви методом циклического комбинированного нагружения : дис...канд. техн. наук : 05.19.08 / А. Н. Махонь. – Витебск, 2009. – 176 с.

1.33. Давыдов, А. Ф. Текстильное материаловедение : учеб. пособие / А. Ф. Давыдов. – М. : Российский заочный институт текстильной и легкой промышленности, 1997. – 168 с.

1.34. Бузов, Б. А. Материаловедение в производстве изделий легкой промышленности (швейное производство) : учебник для ВУЗов / Б. А. Бузов, Н. Д. Алыменкова. – М. : Академия, 2004. – 448 с.

1.35. Зурабян, К. М. Материаловедение в производстве изделий легкой промышленности: учебник для ВУЗов / К. М. Зурабян, Б. Я. Краснов, Я. И. Пустыльник. – М. : Академия, 2003. – 384 с.

1.36. Кобляков, А. И. Структура и механические свойства трикотажа / А. И. Кобляков. – М.: Легпромбытиздат, 1973. – 190 с.

1.37. Испытательная техника: справочник. В двух книгах / под ред. В. В. Клюева. Книга 1. – М.: Машиностроение, 1982. – 528 с.

1.38. Испытательная техника: справочник. В двух книгах / под ред. В. В. Клюева. Книга 2. – М.: Машиностроение, 1982. – 560 с.

1.39. Методы исследования сопротивления эластичных материалов деформированию и разрушению при нагружениях / А. Н. Махонь [и др.] // Академия стандартизации, метрологии и сертификации. Компетентность. – 2006. – № 3/32. – С. 49–53.

1.40. Анализ стандартизированных методов исследования характеристик механических свойств текстильных материалов / А. Н. Махонь [и др.] // Новости. Стандартизация и сертификация. – 2005. – № 4. – С. 33–37.

1.41. Каталог технических нормативных правовых актов в области стандартизации (по состоянию на 1 января 2007 г.). – Минск: Госстандарт РБ, 2006.– 4 т.

1.42. Шерсть. Методы определения разрывной нагрузки: ГОСТ 20269-93, ГОСТ 20269-93. – Введ. 01.01.93. – М.: Изд-во стандартов, 1993. – 13 с.

1.43. Волокно и жгут химические. Методы определения разрывной нагрузки и удлинения при разрыве: ГОСТ 10213.2-73 (ИСО 579-77). – Введ. 01.06.73. – М.: Изд-во стандартов, 1973. – 13 с.

1.44. Волокно и жгут химические. Метод определения разрывной нагрузки при разрыве петель: ГОСТ 16009-70. – Введ. 01.06.70 – М.: Изд-во стандартов, 1970. – 13 с.

1.45. Нити и жгуты синтетически текстурированные. Методы определения разрывной нагрузки и удлинения при разрыве: ГОСТ 23364-78. – Введ. 01.06.1978. – М.: Изд-во стандартов, 1978. – 10 с.

1.46. Нити текстурированные. Метод определения разрывной нагрузки и удлинения при разрыве: ГОСТ 28447.2-90. – Введ. 01.07.90. – М.: Изд-во стандартов, 1990. – 8 с.

1.47. Нити текстильные. Методы определения компонентов полного удлинения при растяжении нитей нагрузкой, меньше разрывной: ГОСТ 28890-90. – Введ. 01.01.90. – М.: Изд-во стандартов, 1990. – 9 с.

1.48. Материалы текстильные. Ткани и штучные изделия. Методы определения разрывных характеристик при растяжении: ГОСТ 3813-72 (ИСО 5081-77, ИСО 5082-82). – Введ. 01.01.73. – М.: Изд-во стандартов, 1973. – 8 с.

1.49. Полотна трикотажные. Методы определения разрывных характеристик и растяжимости при нагрузках, меньше разрывных: ГОСТ 8847-85. – Введ. 01.06.85. – М.: Изд-во стандартов, 1985. – 15 с.

1.50. Полотна нетканые. Метод определения прочности: ГОСТ 15902.3-79. – Введ. 01.06.79. – М.: Изд-во стандартов, 1979. – 7 с.

1.51. Полотно тюлевое и гардинное. Метод определения разрывной нагрузки разрывного удлинения при растяжении: ГОСТ 16918-71. – Введ. 01.06.71. – М.: Изд-во стандартов, 1971. – 11 с.

1.52. Ткани и штучные изделия текстильные. Метод определения раздирающей нагрузки: ГОСТ 17922-72. – Введ. 01.01.72 – М.: Изд-во стандартов, 1972. – 10 с.

1.53. Ткань кордная. Метод определения разрывной нагрузки и удлинений: ГОСТ 23785.1-79. – Введ. 01.06.79. – М.: Изд-во стандартов, 1979. – 12 с.

1.54. Ткани технические. Метод определения разрывной нагрузки и удлинения при разрыве: ГОСТ 29104.4-91. – Введ. 01.06.91. – М.: Изд-во стандартов, 1991. – 9 с.

1.55. Ткани технические. Методы определения раздирающей нагрузки: ГОСТ 29104.5-91. – Введ. 01.09.91. – М.: Изд-во стандартов, 1991. – 10 с.

1.56. Ткани технические. Метод определения прочности и растяжимости при продавливании шариком: ГОСТ 29104.8-91. – Введ. 01.06.91. – М.: Изд-во стандартов, 1991. – 8 с.

1.57. Ткани с резиновым или пластмассовым покрытием. Определение разрывной нагрузки и удлинения при разрыве: ГОСТ 30303 – 95 (ИСО 1421-77). – Введ. 01.06.95. – Минск: Госстандарт РБ, 1995. – 13 с.

1.58. Материалы текстильные стеклянные. Метод определения разрывной нагрузки и удлинения при разрыве: ГОСТ 6943.10-79. – Введ. 01.01.79. – М.: Изд-во стандартов, 1979. – 7 с.

1.59. Материалы текстильные. Определение прочности и растяжения продавливанием методом диафрагмы: СТБ ИСО 2960-2001. – Введ. 01.06.01. – Минск: Межгос. совет по стандартизации, метрологии и сертификации; Госстандарт РБ, 2001. – 16 с.

1.60. Горбачик, В. Е. Исследование механических свойств обувных текстильных материалов при различных видах растяжения / В. Е. Горбачик, В. В. Щербаков, З. Г. Максина, К. А. Загайгора // Новые методы исследования строения, свойств и оценки качества текстильных материалов: материалы IX Всесоюзной научной конференции по текстильному материаловедению. – Минск: Высшая школа / Мин-во легкой промышленности СССР; редкол.: Г. Н. Кукин [и др.]. – Минск, 1977. – С. 126–129.

1.61. Кукин, Г. Н. Исследование деформационных процессов и разрушение пряжи при различных режимах многократного растяжения. / Г. Н. Кукин, Л. Г. Кусакова // Новые методы исследования строения, свойств и оценки качества текстильных материалов: материалы IX Всесоюзной научной конференции по текстильному материаловедению. – Минск: Высшая школа / Мин-во легкой промышленности СССР; редкол.: Г. Н. Кукин [и др.]. – Минск, 1977. – С. 105–107.

1.62. Сухарев, М. И. О возможности разработки неразрушающего метода оценки прочности сварных соединений текстильных материалов с термопластичным покрытием. / М. И. Сухарева, М. И. Касаткин, В. Б. Марголин // Новые методы исследования строения, свойств и оценки качества текстильных материалов: материалы IX Всесоюзной научной конференции по текстильному материаловедению. – Минск: Высшая школа / Мин-во легкой промышленности СССР; редкол.: Г. Н. Кукин [и др.]. – Минск, 1977. – С. 129–130.

1.63. Куприянов, М. П. Теория и практика учета неоднородности физических свойств кожи при поточно – массовом производстве обуви: автореф. ... дис. на соиск. канд. техн. наук : 05.19.01 / М. П. Куприянов; МТИЛП. – М., 1971. – 51 с.

1.64. Зыбин, Ю. П. Конструирование изделий из кожи : учебник для студ. вузов, обуч. по спец. «Конструирование изделий из кожи», «Технология изделий из кожи» / Ю. П. Зыбин [и др.]; под общ. ред. Ю. П. Зыбина. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1982. – 264 с.

1.65. Англо-русский словарь по металлообработке и по деталям машин / сост. С. И. Кречетников, Е. М. Шелдаков-Греков, Ж. И. Симачевская / под ред. А. Л. Заржевского. – М.: Советская энциклопедия, 1969. – С. 73.

1.66. Большой энциклопедический словарь. Политехнический / гл. редактор А. Ю. Ишлинский; ред. коллегия: А. Ф. Белов, В. Г. Воскобойников, В. А. Дубровский, В. А. Зубов, С. В. Кулагин, Б. Н. Ласкорин, И. И. Новиков, Б. Е. Патон, В. В. Ржевский, И. А. Стригин, Н. И. Чистяков, И. Ю. Шебалин, Д. Л. Юдин. – М.: Научное издательство «Большая Российская энциклопедия», 2000. – С. 152, 295.

1.67. Текстиль. Свойства тканей при разрыве. Часть 2. Пневматический метод для определения прочности на разрыв и расширение при разрыве: ISO 13938:1999. – Введ. 01.08.1999. – 12 с.

1.68. Зыбин, А. Ю. Двухосное растяжение материалов для верха обуви / А. Ю. Зыбин. – М.: Лёгкая индустрия, 1974. – 120 с.

1.69. Кобляков, А. И. Текстильное материаловедение (текстильные полотна и изделия): учеб. для вузов / А. И. Кобляков, Г. Н. Кукин, А. Н. Соловьев. – М.: Легпромиздат, 1992. – С. 134.

1.70. Симоненко, Д.Ф. Лабораторная оценка носкости материалов для одежды / Д. Ф. Симоненко. – М.: Легкая индустрия, 1978. – С. 20–21.

1.71. Лабораторный практикум по материаловедению швейного производства / под общей ред. Б. А. Бузова. – М.: Легкая индустрия, 1979. – С. 181.

1.72. Садовский, В. В. Деформационно-прочностные свойства трикотажных материалов / В. В. Садовский. – Минск: Бел. наука, 2001. – 203 с.

1.73. Юсубов, О. Б. Установка для растяжения анизотропных материалов // Современные проблемы текстильной и легкой промышленности : Межвуз. научно-техн. конф. : тезисы докладов. Ч. 2. – М., 2000. – С. 120.

1.74. Станийчук, А. В. Устройство для исследования деформационных свойств трикотажа при пространственном растяжении / А. В. Станийчук, В. В. Садовский // Текстильная промышленность. – 1999. – № 11–12. – С. 34.

1.75. Пожидаев, Н. Н. Универсальный пульсатор УП-1 для испытания трикотажа и тканей / Н. Н. Пожидаев [и др.] // Известия вузов. Технология легкой промышленности. – 1972. – № 5. – С. 152–154.

1.76. Растенис, И. К. Пневматический пульсатор ЕРДТ-2 / И. К. Растенис [и др.] // Известия вузов. Технология легкой промышленности. – 1970. – № 4. – С. 130–141.

1.77. Новые приборы и методы исследования эластичных материалов: сб. науч.-иссл. тр. / сост. Д. И. Жижите, А. А. Кучингис. – Вильнюс, 1974. – С. 304–306.

1.78. Шашкова, Т. М. Методы и приборы для оценки качества хлопчатобумажных тканей / Т. М. Шашкова, Т. М. Резникова, В. Ф. Воробьева. – М.: ЦНИИТЭИлегпром, 1991. – С. 26–34.

1.79. Кудряшов, Б. А. Высокоскоростное растяжение текстильных материалов / Б. А. Кудряшов, Н. И. Кудряшова. – М.: Легкая индустрия, 1974. – С. 138–150.

1.80. Бузов, Б. А. Исследование материалов для одежды в условиях пониженных температур (методы и средства) / Б. А. Бузов, А. В. Никитин. – М.: Легпромбытиздат, 1985. – 224 с.

1.81. Материалы текстильные стеклянные. Метод определения устойчивости к многократному изгибу: ГОСТ 6943.9-79. – Введ. 01.06.79. – М.: Изд-во стандартов, 1979. – 5 с.

1.82. Ткани с резиновым или пластмассовым покрытием. Определение сопротивления разрушению при изгибе (динамический способ): ГОСТ 28791-90. – Введ 01.01.90. – М.: Изд-во стандартов, 1990. – 7 с.

1.83. Материалы текстильные. Полотна. Методы определения жесткости при изгибе: ГОСТ 10550-93. – Введ. 01.06.93. – Минск: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации; Минск: Госстандарт РБ, 1993. – 11 с.

1.84. Кожа искусственная и пленочные материалы: ГОСТ 8977-74. – Введ. 01.06.74. – М.: Изд-во стандартов, 1974. – 12 с.

1.85. Кожа. Определение прочности на изгиб. Часть 1. Метод с применением флексометра : ГОСТ ISO 5402-1-2014 = ISO 5402-1:2011. – Введ. 01.01.2016. – М.: Стандартинформ, 2015. – 8 с.

1.86. Лапшин, В. А. Определение свойств текстильных материалов в динамических условиях их эксплуатации / В. А. Лапшин, Н. В. Смирнова // Технический текстиль. – 2003. – № 5. – С. 28–29.

1.87. Каландадзе, Е. В. Изучение влияния различных факторов на выносливость ткани к многократным изгибам / Е. В. Каландадзе // Известия ВУЗов. Технология текстильной промышленности. – 1975. – № 1. – С. 25–27.

1.88. Адралинова, В. П. Зажимы для испытания ткани на многократный изгиб / В. П. Адралинова, Ю. М. Егоров // Текстильная промышленность. – 1971. – № 4. – С. 70–71.

1.89. Instron: Испытательные машины для контроля прочности на растяжение, твердость, усталостных и ударных испытаний [Электрон. ресурс]: Решения для испытаний материалов на растяжение. – Россия: М.: ООО «Новатест», 2007–2008. – Режим доступа: [http://www.instron.ru/wa/home/default ru/aspх](http://www.instron.ru/wa/home/default_ru/aspх).

1.90. Optt E.M., Doss D.J., Legall E., Wright N.T. A device for evaluating the multiaxial finite strain thermomechanical behavior of elastomers and soft tissues. // Trans.ASME.J.Appl. Mech. 2000. 67, № 3. – p. 465–471.

1.91. Прибор ПДТИ-1 для исследования поведения текстильных эластичных трубчатых изделий при деформировании.: сборник науч.-иссл.тр. / сост. И. В. Балтрушайтис, А. А. Кучингис. – Вильнюс, 1976. – С. 197–199.

1.92. Чубарова, З. С. Методы оценки качества специальной одежды / З. С. Чубарова. – М.: Легпромбытиздат, 1988. – 160 с.

1.93. Беляев, Л. С. Современные методы оценки качества обуви и обувных материалов / Л. С. Беляев, Е. Я. Михеева. – М.: Лёгкая и пищевая промышленность, 1984. – 248 с.

1.94. Патент ВУ 6798 С1, МПК G 01 Т 33\36, 33\44 Способ определения эксплуатационных свойств материалов для верха обуви и устройство для его осуществления // Е. А. Шеремет, В. В. Щербаков (ВУ); патентообладатель Вит. гос. технол. ун-т; заявка № а 20000678; заявл 13.07.2000; опубл. 13.03.2005 // Афіцыйны бюлетэнь Дзяржаўнага патэнтнага камітэта Рэспублікі Беларусь. – № 1. – 2005. – С. 73–75.

1.95. Čujan Z.it.d. Princip a zařizeni pro dynamicke namāhani siteho sprvje // Kožařství. – 1984. – № 6. – s. 167–168.

1.96. Кругляков, В. М. Ускоренный метод исследования устойчивости материалов для верха обуви к многократным механическим воздействиям / В. М. Кругляков, В. К. Смелков, А. Г. Воронин // Товароведение и легкая промышленность. – М.: Высшэйшая школа, 1982. – № 9. – С. 156–160.

1.97. Акимова, Е. В. Об устойчивости к повторным механическим воздействиям материалов верха обуви / Е. В. Акимова, Е. Я. Михеева // Кожевенно-обувная промышленность. – 1981. – № 3. – С. 84–86.

1.98. Калита, А. Н. Исследование кожи для верха обуви при многократном изгибе / А. Н. Калита, Ю. П. Зыбин // Сборник научн. тр. – М.: МТИЛП, 1972. – № 38. – С. 254–265.

1.99. Trzesniowski W., Kasperek E. Przyrzad do dokonywania pomiaru stopia stabili zaeji orac trwalosci ksztaltu cholewek obuwia/ – Patent PNR, № 83705,1977, kl g n33/44.

1.100. Пугачевский, Г. Ф. Изнашивание целлюлозных тканей при воздействии различных факторов / Г. Ф. Пугачевский. – М.: Легкая индустрия, 1977. – С. 109–111.

1.101. SATRA introduced STM // World Leather. – 1999. – № 12. – p. 128

1.102. Буркин, А. Н. Прибор для испытания эластичных материалов в динамических условиях / А. Н. Буркин, А. Н. Махонь, О. А. Терентьева // Метрология и приборостроение. – 2005. – № 4. – С. 33–34.

1.103. Буркин, А. Н. Новые методы и средства испытаний эластичных материалов в динамических условиях / А. Н. Буркин, К. С. Матвеев, А. Н. Махонь // Современные методы и приборы контроля качества и диагностики состояния объектов: материалы междунар. науч.-технич. конф., Могилев, 2004 г.: / МО РБ, НАНБ, ГУВПО «Белорусско-российский университет» : редкол.: д.т.н., доц. И. С. Сазонов [и др.]. – Могилев, 2004. – С. 89–90.

1.104. Буркин, А. Н. Прибор для испытания эластичных материалов и швов / А. Н. Буркин, К. С. Матвеев, А. Н. Махонь, О. А. Терентьева // Наука – образованию, производству, экономике: рефераты докладов междунар. науч.-технич. конф., Минск, 2003.: в 2 т. / БНТУ; редкол.: д.т.н., проф. С. А. Иващенко [и др.]. – Минск, 2003. – Том I. – С. 81.

1.105. Прибор для испытания материалов для одежды и обуви : полезная модель ВУ10745 / Д. К. Панкевич, А. Н. Буркин, Р. С. Петрова, В. Д. Борозна, Ю. М. Кукушкина, Е. В. Бондарева, О. А. Петрова-Буркина; дата публ. 01.08.2014.

1.106. Прибор для испытания подошвенных материалов на многократный изгиб: полезная модель № 9136 / А. Н. Буркин, Е. А. Егорова, К. Г. Коновалов, А. В. Попов, В. Д. Борозна, В. А. Окуневич, М. И. Долган; дата публ. 30.04.2013.

1.107. Как повысить морозостойкость полимерных материалов online журнал «Пластикс» № 1-2(107-108) 2012 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.plastics.ru/pdf/journal/2012/01/Frost.pdf>. – Дата доступа: 09.12.2016.

1.108. Бузов, Б. А. Разработка методов оценки качества материалов для швейных изделий, используемых при пониженных температурах : автореф. дис. ... д-ра техн. наук. : 05.19.01 / Б. А. Бузов; МТИЛП. – М., 1985. – 48 с.

1.109. Кожа искусственная и синтетическая и пленочные материалы. Методы определения морозостойкости в статических условиях: ГОСТ 15162-82. – Взамен ГОСТ 15162-69; ГОСТ 8974-78; введ. 25.05.1995. – М.: ИПК Издательство стандартов, 1995. – 16 с.

1.110. Кожа искусственная. Метод определения морозостойкости в динамических условиях: ГОСТ 20876-75. – Введ. 01.01.1977. – М.: ИПК Издательство стандартов, 1987. – 7 с.

ГЛАВА 2

РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Механические воздействия, испытываемые деталями верха обуви и одежды в процессе эксплуатации, в значительной мере зависят от назначения изделия и носят пространственный циклический характер. В процессе носки материалы подвергаются многократно повторяющимся деформациям растяжения, изгиба, сжатия, которые ухудшают свойства материалов и приводят к явлению усталости. Особое значение это явление приобретает для изделий из текстильных материалов, функциональные процессы которых связаны с интенсивными нагрузками (спортивных, для активного отдыха, детских и др.).

Особенностью воздействий на детали обуви в процессе эксплуатации является их повторяемость, обусловленная процессом ходьбы. Изгиб стопы в участке пучков и увеличение порядка 7 % периметра ее передней части при ходьбе вызывают многократный изгиб и растяжение деталей обуви [2.1]. Интенсивному изгибу, сочетающемуся с растяжением, принадлежит основная роль в механическом износе; также влияют воздействия окружающей среды (удар о внешние предметы, действие пыли, грязи, влаги и т. д.). На механический износ влияет периодичность воздействий, определяемая скоростью ходьбы или бега, величиной давления на детали, зависящей от массы человека, а также от конструкции обуви. По данным Ю. П. Зыбина, А. Ю. Зыбина [2.2,2.3] стопа совершает около 6 тысяч изгибов в день, за год обувь может испытывать более 3 миллионов повторных деформаций.

Текстильный материал, используемый для наружных деталей верха обуви, обеспечивает комфорт и удовлетворяет возросшим эстетическим требованиям, которые предъявляет современный потребитель. Основным критерием оценки качества обуви и обувных материалов является степень их соответствия требованиям ТНПА. В перечне регламентируемых показателей обувных текстильных материалов отсутствуют показатели, характеризующие следствия механического износа [2.4].

Так же, как и для обуви, для одежды характерна циклическая повторяемость воздействий, приводящих к ухудшению свойств материалов верха. При этом интенсивность износа напрямую связана с назначением изделия. Так, материалы верха спортивной и рабочей одежды изнашиваются быстрее в связи с тем, что претерпевают в процессе носки действие большего количества повторяющихся деформаций.

При *деформации растяжения* материал в одежде обычно растягивается одновременно в двух взаимно-перпендикулярных направлени-

ях, то есть деформация материала на отдельных участках одежды, особенно прилегающего слоя, существенно отличается от деформации при растяжении стандартных полосок, когда материал, растягиваясь в направлении прикладываемой нагрузки, в перпендикулярном направлении только сужается. Растяжение элементов одежды при движении достигает на участках коленей и локтей до 45 % [2.5, с. 32–41].

Текстильные материалы в процессе изготовления из них швейных изделий и при носке одежды испытывают *деформацию изгиба*. Они легко изгибаются даже при незначительных нагрузках и под действием собственной массы.

В результате многократного знакопеременного изгиба нарушается структура материалов: ослабляются связи между нитями, между волокнами в нитях, изменяется форма сечения нитей и фаза строения тканых материалов, что приводит к изменению опорной поверхности, воспринимающей внешние нагрузки.

Процесс постепенного изменения структуры и ухудшения свойств материала вследствие его многократной деформации называется утомлением. Следствием утомления является усталость материала, то есть ухудшение свойств материала без существенной потери его массы или его разрушения. Выделяют три стадии (этапа) процесса утомления:

1 стадия – десятки или сотни циклов: характеризуется тем, что материал деформируется, но структура его стабилизируется.

2 стадия – тысячи циклов: характеризуется тем, что не происходит заметного изменения структуры и свойств материала, так как материал приспособливается к новым условиям.

3 стадия характеризуется тем, что вследствие утомления материала наступает его усталость. В этот период происходит интенсивный рост остаточной циклической деформации материала, и, в конечном счете, его разрушение [2.6, с. 189–190].

Из практики известно, что при малой деформации, задаваемой в каждом цикле, материал выдерживает большое число циклов без разрушения. Исходя из этого, текстильные материалы характеризуются пределом выносливости, то есть максимальным значением деформации (нагрузки), задаваемой в каждом цикле, при котором материал выдерживает очень большое число циклов. Для каждого материала эта характеристика устанавливается экспериментально. Понятно, что при выборе материала верх предел выносливости материала следует сопоставлять с величиной нагрузки, которую испытывает материал в конкретных условиях эксплуатации. По данным Л. Н. Лисиенковой величина динамической нагрузки на одежду при эксплуатации составляет 1–3 даН/5 см, на отдельных участках – 8–9 даН/5 см, а параметр статического силового давления, зависящий от веса человека, может составлять до 0,45 МПа [2.5, с. 32–41].

Длительность лабораторных испытаний (количество циклов деформации) зависит от решаемых задач, которыми могут служить: определение выносливости материала; определение изменений эксплуатационных показателей после определенного количества циклов испытаний в динамических условиях; анализ видимых изменений в структуре материала после определенного количества циклов динамических испытаний; ускоренные испытания при нагрузках, близких к максимальным.

Обоснование количества циклов нагружения при проведении испытаний сводится к определению рекомендуемой долговечности изделия, которое может быть изготовлено из исследуемого материала, и сопоставлению этих данных с выявленными экспериментально усредненными значениями количества циклов. Так, К. Г. Гущиной было установлено, что 7000 циклам нагружения соответствует период носки изделия сроком до одного года, 10000 циклов нагружения соответствуют сроку эксплуатации изделия до 1,4 года, 20000 циклов – 2,8 года, 30000 циклов – 4,2 года [2.7]. Если при эксплуатации изделие подвергается более или менее регулярным нагружениям, цикличность которых может быть рассчитана, то количество циклов динамических испытаний вполне определяемо. Это касается, в частности, исследования материалов для спортивной экипировки, подвергающихся в процессе эксплуатации регулярным, четко дозированным нагрузкам, соответствующим технике выполнения спортивных движений.

В условиях носки на деталях из текстильных материалов образуются складки, изделие теряет свою первоначальную форму и внешний вид. Формоустойчивость текстильного материала в значительной степени определяет стабильность формы изделия, что способствует повышению его долговечности. Она также влияет на физическую долговечность изделий вследствие необратимых усталостных явлений, ведущих к постепенному разрушению материала. Оценка устойчивости материалов к перечисленным механическим воздействиям при лабораторных испытаниях в условиях статических нагружений не может обеспечить получение результатов, согласующихся с эксплуатационными свойствами материалов изделий, поэтому особую актуальность представляют испытания в условиях циклических нагружений для определения циклических характеристик тканей.

2.1 Номенклатура эксплуатационных показателей качества материалов для верха одежды и обуви

Потребительские свойства представляют собой измеримую характеристику качества, оценка которых тесно связана с результатами потребления конкретного предмета, то есть результатами взаимодействия его с потребителем в определенной среде (условиях) потребления. Текстильные материалы, как и любые другие изделия, характеризуются совокупностью свойств, благодаря которым они удовлетворяют определённую потребность.

Мнения авторов многочисленных работ по текстильному материаловедению и товароведению разделяются по вопросу равнозначности понятий «потребительские свойства» и «эксплуатационные свойства». Употребление термина «эксплуатационные свойства» в большинстве случаев происходит без определения, характеризующего его содержание. Результаты анализа структуры единичных показателей эксплуатационных свойств текстильных материалов в опубликованных работах [2.8–2.11] позволили сделать следующие выводы:

- распространён подход к оценке качества с позиции производителя продукции, когда в структуру эксплуатационных показателей включают показатели технологических свойств;
- большинство авторов считают эксплуатационные частью потребительских свойств и относят к ним стандартизованные механические характеристики текстильных материалов;
- зачастую эксплуатационные свойства представляются как комплекс эстетических, гигиенических и функциональных свойств.

По мнению авторов, эксплуатационными могут служить свойства, которые определяют ресурс и надёжность изделий, характеризующие способность материалов работать при различных условиях в соответствии с их функциональным назначением и условиями эксплуатации, не вызывая нарушений работоспособного (нормального) состояния человека.

Отличительной особенностью эксплуатационных свойств является то, что для их оценки часто используют показатели ресурса или длительности работы материала – часы, циклы, либо относительные показатели изменения свойств материала.

Комплекс эксплуатационных показателей тканей существенно различается в зависимости от функционального назначения создаваемых изделий. Свойства тканей, которые имеют значение при их эксплуатации, зависят не от одного, а от ряда механических, физических, химических, биологических факторов, а также от внешних воздействий, которым они подвергаются в процессе потребления.

В этой связи эксплуатационные показатели подразделены на четыре группы в соответствии с характеристиками внешнего воздействия (рис. 2.1) и к ним отнесены показатели, общие для обувных и одежных тканей. Большинство показателей, отнесенных к эксплуатационным, можно определить с помощью стандартизованных методик.

Для определения показателей «циклическая формоустойчивость» и «циклическая долговечность» необходима разработка соответствующей методики.

Показатель «*циклическая формоустойчивость*» характеризует необратимые последствия циклических механических воздействий на материал, моделирующие эксплуатацию и вызывающие постепенное местное изменение волокнисто-сетчатой структуры и размеров текстильного материала.

Существенным отличием методики определения циклической формоустойчивости от ранее разработанных методик [2.12–2.14] является учет последствий циклических *комплексных* воздействий на материал, а также применение термина «циклическая» вместо «динамическая» в отношении формоустойчивости. Динамическим воздействием является нагрузка, характеризующаяся быстрым изменением во времени [2.6], что не является характерным для носки изделий легкой промышленности.

Показатель «*циклическая долговечность*» характеризуется числом циклов многократных деформаций, сочетающих изгиб и растяжение, которые образец материала выдерживает до первых признаков разрушения.

Так, для материалов, имеющих полимерный слой, стандартными являются испытания на устойчивость к многократному изгибу [2.15] на приборе ИПК-2М, при которых материал подвергается сложному пространственному изгибу, формируя «бегущую складку», изменяющую свое положение в процессе испытания. Показателем эксплуатационных свойств материала при использовании прибора типа ИПК-2М является количество циклов воздействия, которое материал выдержал до появления видимых признаков разрушения.

Часто для оценки эксплуатационных свойств материалов проводят испытания по сложной программе, предусматривающей определение показателя какого-либо свойства до многоцикловых нагрузок и после них с вычислением относительного показателя, выражающего *степень изменения свойства*. Иногда по завершении многоцикловых испытаний оценивают изменения, произошедшие в структуре материалов. Показателями эксплуатационных свойств в этом случае будут *количество и характер повреждений* после заданного количества циклов испытаний.

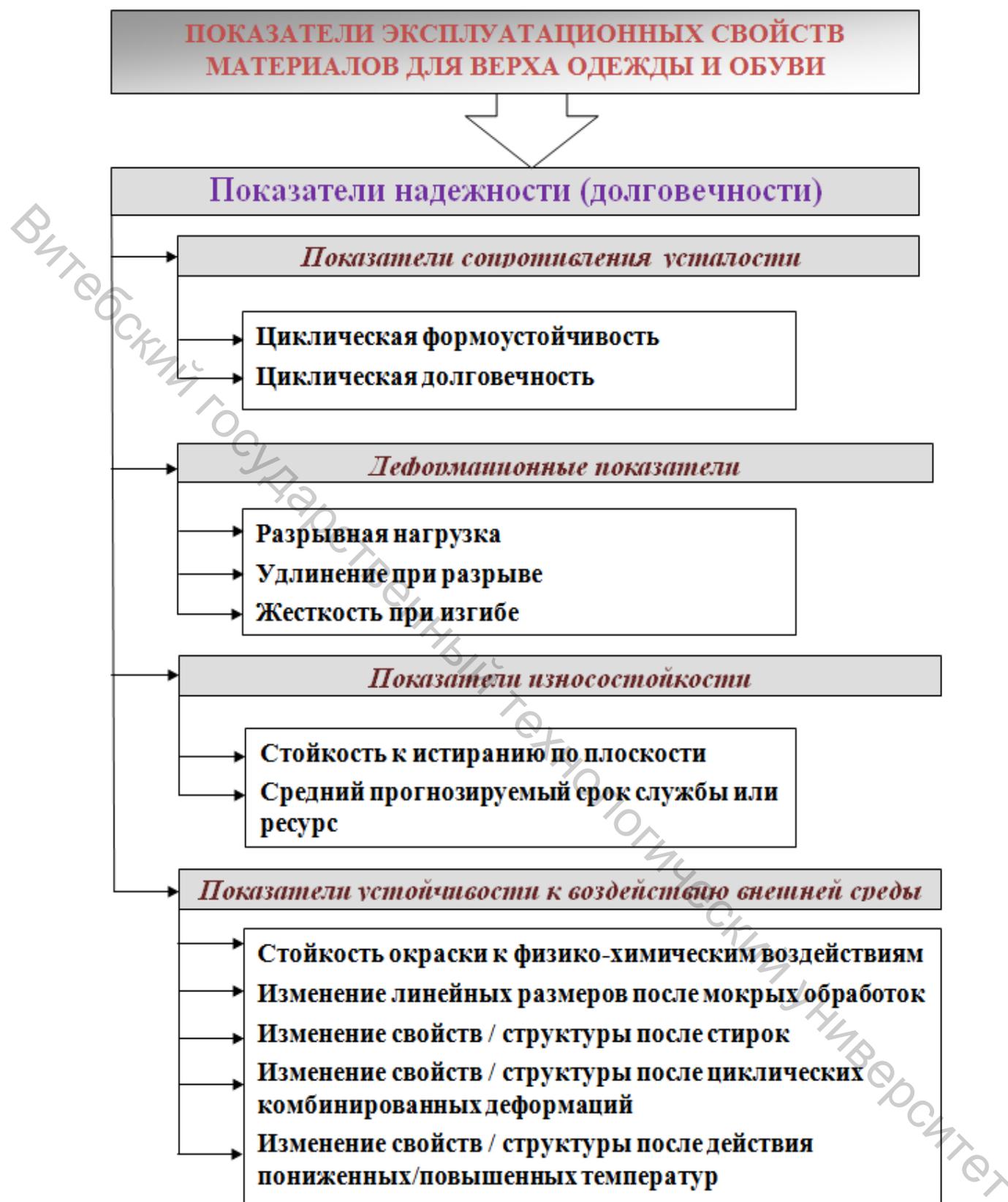


Рисунок 2.1 – Показатели эксплуатационных свойств материалов для верха одежды и обуви

В настоящее время общепризнано, что средство испытания является активным элементом метода и существенно влияет на результаты исследований. Лабораторные испытания, использующие комплекс изнашивающих механических факторов, остаются единственной возможностью получения объективной оценки эксплуатационных свойств текстильного материала на этапе планирования серийного выпуска продукции. В зависимости от целей исследования показателями эксплуатационных свойств могут быть *снижение прочности, снижение вязкости раствора составляющего материал вещества, изменение кондиционной массы или толщины, увеличение проницаемости* после приложения комбинированных циклических деформационных нагрузок [2.16].

Установки, использующиеся для исследования эксплуатационных свойств материалов легкой промышленности, весьма разнообразны и различаются по условиям и видам нагружения, а также количеству одновременно испытываемых образцов и одновременно моделируемых факторов воздействия.

С использованием метода циклических комбинированных нагружений также изучают влияние пониженных температур на свойства материалов для одежды и обуви. Исследования проводят с использованием криокамер различного объема. Внутри криокамеры устанавливают устройства для одновременного многоциклового нагружения материала (в основном, изгиба и растяжения). Так, например, стандартный метод исследования искусственных кож [2.17] предусматривает моделирование деформации изгиба с помощью устройства, размещенного внутри криокамеры. Показателем эксплуатационных свойств (морозостойкости) считается *количество циклов нагружения* до разрушения образца при определенном заданном значении пониженной температуры.

В научно-исследовательской лаборатории фирмы Gore-Tex для оценки эксплуатационных свойств материалов применяется оригинальная испытательная установка, позволяющая осуществлять неориентированное смятие образцов, дополнительно подвергающихся действию брызг воды, направляемых под различными углами, обдуву и действию пониженных температур. Показателем эксплуатационных свойств является *сохранение уровня водонепроницаемости* материала в заданных пределах после приложения определенного количества циклов комбинированного нагружения [2.18]. Такие испытания обеспечивают наибольшую приближенность результатов лабораторных исследований к результатам опытных носок.

Моделирование износа должно максимально приближать условия испытания к эксплуатационным, поскольку только в этом случае возможно достоверное прогнозирование стабильности свойств материалов. Решение этой задачи может быть основано на последовательном применении методов оценки устойчивости материалов для одежды к воздействию различных факторов с обеспечением преемственности испы-

таний, обусловленной неразрушающими методами контроля и размерами образцов. Такой подход описан, в частности, А. А. Кузнецовым в работе [2.19]. Результаты таких последовательно проводимых испытаний обязательно должны сопоставляться с результатами опытных носок.

Рассмотренные выше показатели характеризуют способность материалов выдерживать без изменения свойств эксплуатационные механические воздействия, поэтому для их определения необходимы приборы, позволяющие подвергать образцы текстильных материалов многоциклового пространственному деформированию, и методики проведения испытаний, позволяющие решать разнообразные материаловедческие задачи.

2.2 Прибор для моделирования циклических комбинированных деформаций материалов

Механические воздействия, испытываемые текстильными материалами верха обуви, носят пространственный циклический характер. В этой связи лабораторные испытания текстильных материалов должны моделировать напряженно – деформированное состояние материала, соответствующее эксплуатационному. Согласно ГОСТ 16504-81 [2.20] испытания любых объектов – это экспериментальное определение количественных и (или) качественных характеристик его свойств как результата воздействия на него при функционировании, моделировании объекта или воздействий.

С целью определения количественных и качественных характеристик эксплуатационных свойств материалов для изделий легкой промышленности А. Н. Буркиным и другими разработан новый лабораторный способ испытания указанных материалов [2.21]. Отличительной особенностью способа является возможность одновременного приложения к образцу деформации растяжения и изгиба, которые осуществляются в результате вращения образца материала, закрепленного на гибком цилиндрическом устройстве, вокруг своей оси. Согласно классификации (раздел 1.2) данный способ, в зависимости от режимов нагружения, является динамическим; по методу нагружения – механическим; по характеру приложения нагрузки – с распределенной нагрузкой; по полноте осуществления цикла воздействия – циклическим; по характеру воздействия на пробу относится к пространственному деформированию; по характеру амплитуды – с постоянной амплитудой циклической нагрузки; с использованием пробы в виде круговой цилиндрической оболочки (с продольным ниточным или клеевым швом). В работе [2.22] способ испытаний эластичных материалов [2.21] впервые реализован,

получил возможность практического применения и усовершенствован в части расчета величины предварительной нагрузки, вызывающей деформацию растяжения у тканей различной структуры.

Для реализации и практического применения указанного способа разработан и изготовлен прибор для лабораторных циклических испытаний тканей, нетканых, трикотажных, кожевенных и других анизотропных листовых материалов, позволяющий моделировать износ материалов и их соединений в условиях одновременно приложенной деформации изгиба и растяжения. Новизна и промышленная применимость прибора подтверждена патентом [2.23]. Общий вид прибора сверху и его схема представлены на рисунке 2.2. Работа прибора осуществляется от электрического двигателя 1, передающего вращательное движение через червячный редуктор 2 цилиндрическому устройству 3.

Цилиндрическое устройство представляет собой гибкий рукав с отверстиями по всей длине, расположенный внутри резиновой трубки, концы которых склеены между собой. Один конец цилиндрического устройства закреплен на тихоходном валу червячного редуктора 4, а второй конец – на валу подшипникового узла 5. Устройство способно изменять свое положение посредством закрепления подшипникового узла 5 с опорой на платформе, вызывая деформацию изгиба пробы материала, закрепленной на цилиндрическом устройстве.

Внутри цилиндрического устройства создается избыточное (повышенное) давление воздуха. Деформация проб осуществляется путем многократного изгиба с одновременным растяжением их по всей поверхности посредством заполнения воздухом цилиндрического устройства и его вращения со скоростью 90 циклов в минуту. Для установления и фиксации давления воздуха внутри цилиндрического устройства служит манометр 8; для установления количества циклов деформации – счетчик оборотов 9; для подачи воздуха в цилиндрическое устройство – ниппель 10. Штуцера 11,12 предназначены для закрепления концов резиновой трубки. Шкивы 13,14 и ремень 15 обеспечивают передачу вращения от тихоходного вала редуктора 4 на счетчик оборотов 9. Отверстия 16 служат для крепления подшипникового узла 5 на платформе 6 под различными углами относительно оси тихоходного вала редуктора. Блок управления 17 и тумблер 18 обеспечивают коммутацию электрических устройств прибора. Хомутики 19 позволяют закреплять элементарные пробы ткани на цилиндрическом устройстве. Жесткая муфта 20 передает вращение от электродвигателя 1 быстроходному валу редуктора.

Габариты цилиндрического устройства связаны с размерами элементарных проб тканей для измерения разрывных характеристик по ГОСТ 3813 [2.24] и жесткости при изгибе по ГОСТ 10550 [2.25].

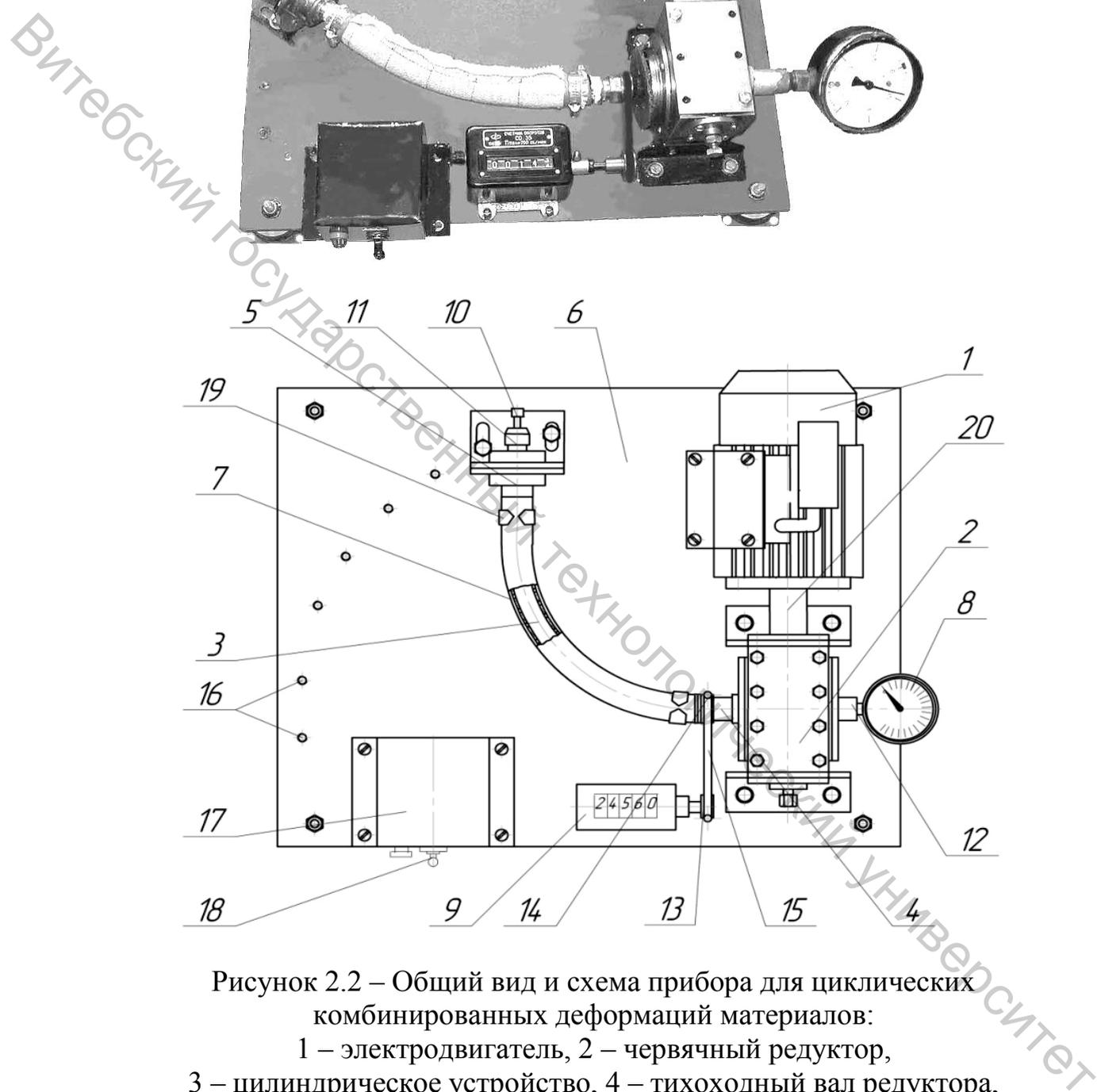


Рисунок 2.2 – Общий вид и схема прибора для циклических комбинированных деформаций материалов:

- 1 – электродвигатель, 2 – червячный редуктор,
- 3 – цилиндрическое устройство, 4 – тихоходный вал редуктора,
- 5 – подшипниковый узел, 6 – платформа, 7 – испытуемая проба,
- 8 – манометр, 9 – счетчик оборотов, 10 – ниппель, 11 – штуцер,
- 12 – штуцер, 13 – шкив, 14 – шкив, 15 – ремень, 16 – отверстия,
- 17 – блок управления, 18 – тумблер, 19 – хомутики,
- 20 – жесткая муфта

Для определения эксплуатационных свойств подготавливается проба, представляющая собой круговую цилиндрическую оболочку из исследуемого материала с продольным швом, на которую предварительно наносится контрольная разметка. По окончании испытаний разметка позволяет оценивать величину остаточной циклической деформации по изменению линейных размеров рабочей зоны пробы. Проба надевается на цилиндрическое устройство и закрепляется в зажимах. Устройство заполняется воздухом под давлением, величина которого находится расчетным путем и зависит от структурных характеристик и величины разрывной нагрузки исследуемого материала. Избыточное давление имитирует воздействие тела человека на изделие.

После установления давления, в результате чего проба получает растяжение в поперечном направлении по всей поверхности, цилиндрическому устройству придают вращение вокруг своей оси, что создает циклически изменяющуюся изгибающую нагрузку, величина которой зависит от угла изгиба.

На рисунках 2.3 и 2.4 представлены схемы нагружения элементарной пробы.

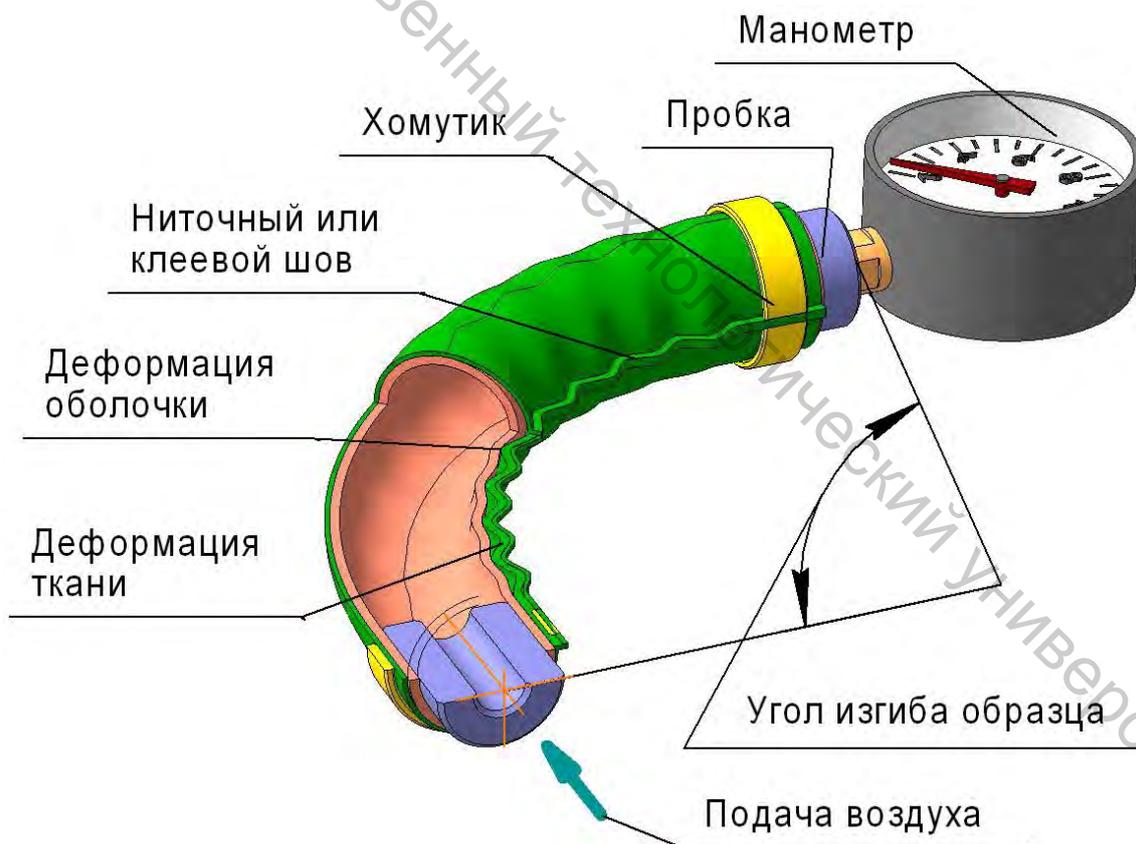


Рисунок 2.3 – Принципиальная схема узла нагружения прибора для циклических комбинированных деформаций материалов

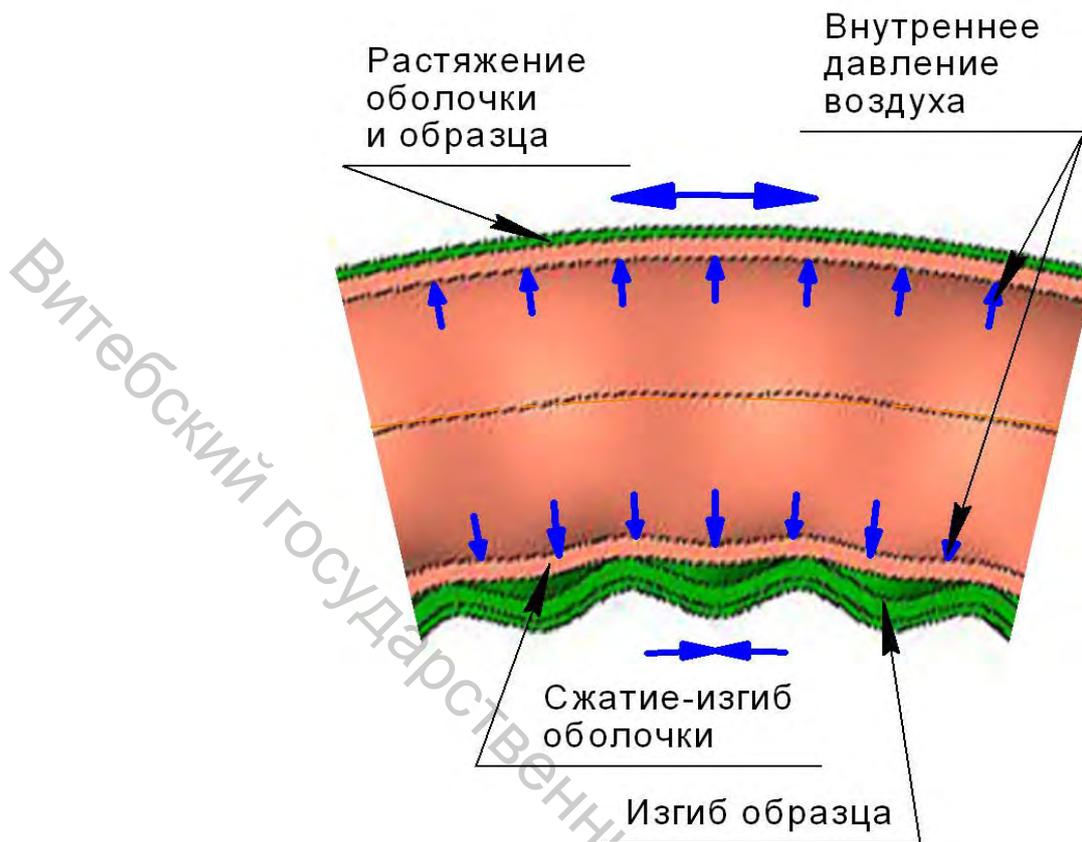


Рисунок 2.4 – Схема нагружения элементарной пробы

Проба материала, таким образом, испытывает одновременно деформацию многократного изгиба и растяжения. Варьирование угла изгиба и давления внутри цилиндрического устройства обеспечивает создание необходимых знакопеременных деформирующих нагрузок, и, как следствие, имитирует различные условия носки. Растягивающая нагрузка, в отличие от множества существующих методов испытания, приложена по нормали к плоскости пробы и вызывает двухосное несимметричное растяжение, соответствующее эксплуатационным воздействиям на материалы верха обуви.

Поскольку характер приложения действующих нагрузок весьма близок к реальным условиям эксплуатации, то моделирование циклического комбинированного деформирования позволяет прогнозировать эксплуатационные свойства исследуемых материалов. Разработанный прибор способен создать условия определения величин осевых деформаций анизотропных материалов для верха обуви после циклических испытаний.

2.3 Прибор для моделирования эксплуатационных нагрузок материалов верха одежды и обуви

Конструкция описанного в разделе 2.2 прибора была переработана для целей моделирования циклических комбинированных деформаций материалов верха одежды и обуви. Коллективом авторов разработан новый прибор, снабженный второй оправкой и подвижными планками, позволяющими перемещать концы оправок относительно вала редуктора в двух направлениях – продольном и угловом. Таким образом, обеспечивается возможность произвольного задания деформации изгиба и растяжения двух образцов одновременно в широком диапазоне и независимо друг от друга. Промышленная применимость прибора подтверждена патентом РБ на полезную модель № 10745 [2.26].

На рисунке 2.5 представлен внешний вид разработанного прибора. На рисунке 2.6 – схема разработанного прибора.

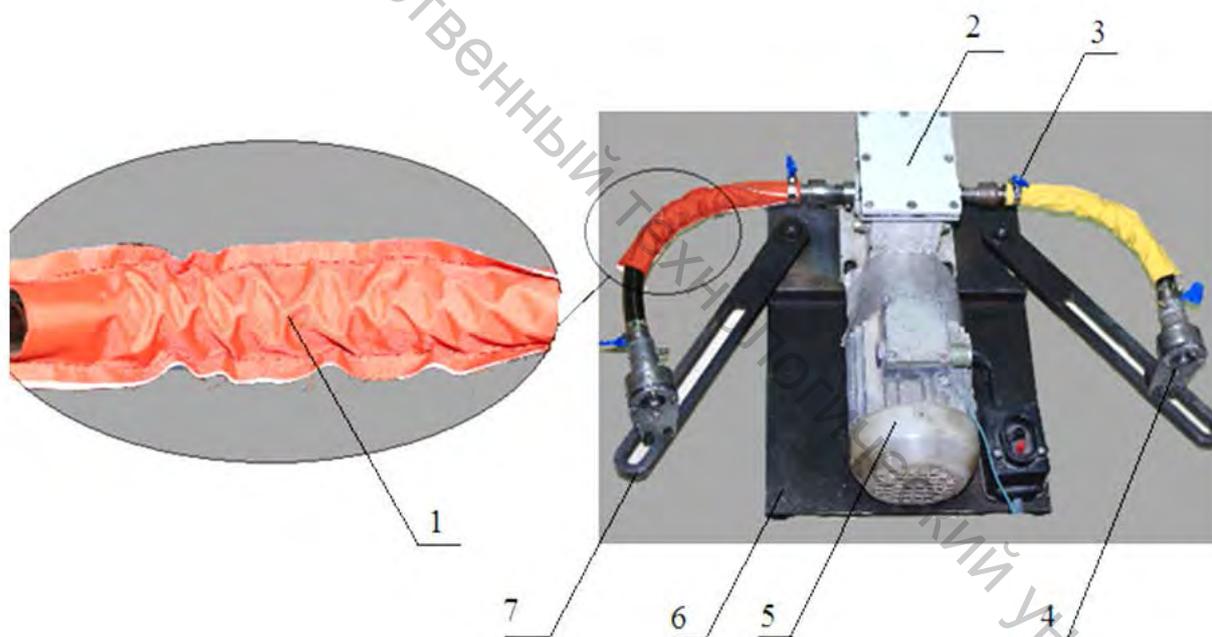


Рисунок 2.5 – Внешний вид прибора для моделирования эксплуатационных нагрузок материалов верха одежды и обуви:
1 – стачанный в трубку образец, одетый на оправку, 2 – редуктор, 3 – зажим, 4 – опора оправки, 5 – электродвигатель, 6 – платформа, 7 – планка

Прибор состоит из платформы 1, на которой установлен электродвигатель 2, редуктор 3 и пульт управления 4. С валом редуктора посредством сцепной муфты 5 соединен внутренний конец оправки 6 для размещения образца 7, закрепляемого зажимами 8. Вторая оправка 9 со-

единена с другим концом вала редуктора через сцепную муфту 10. На ней расположен образец 11, закрепленный зажимами 12. Прибор оснащен подвижными планками 13, соединенными с платформой винтами 14. Планки имеют направляющие пазы 15, к которым винтами 16 крепятся опоры 17 внешних концов оправок. Конструкция планок позволяет перемещать опоры вдоль планок и по дуге окружности.

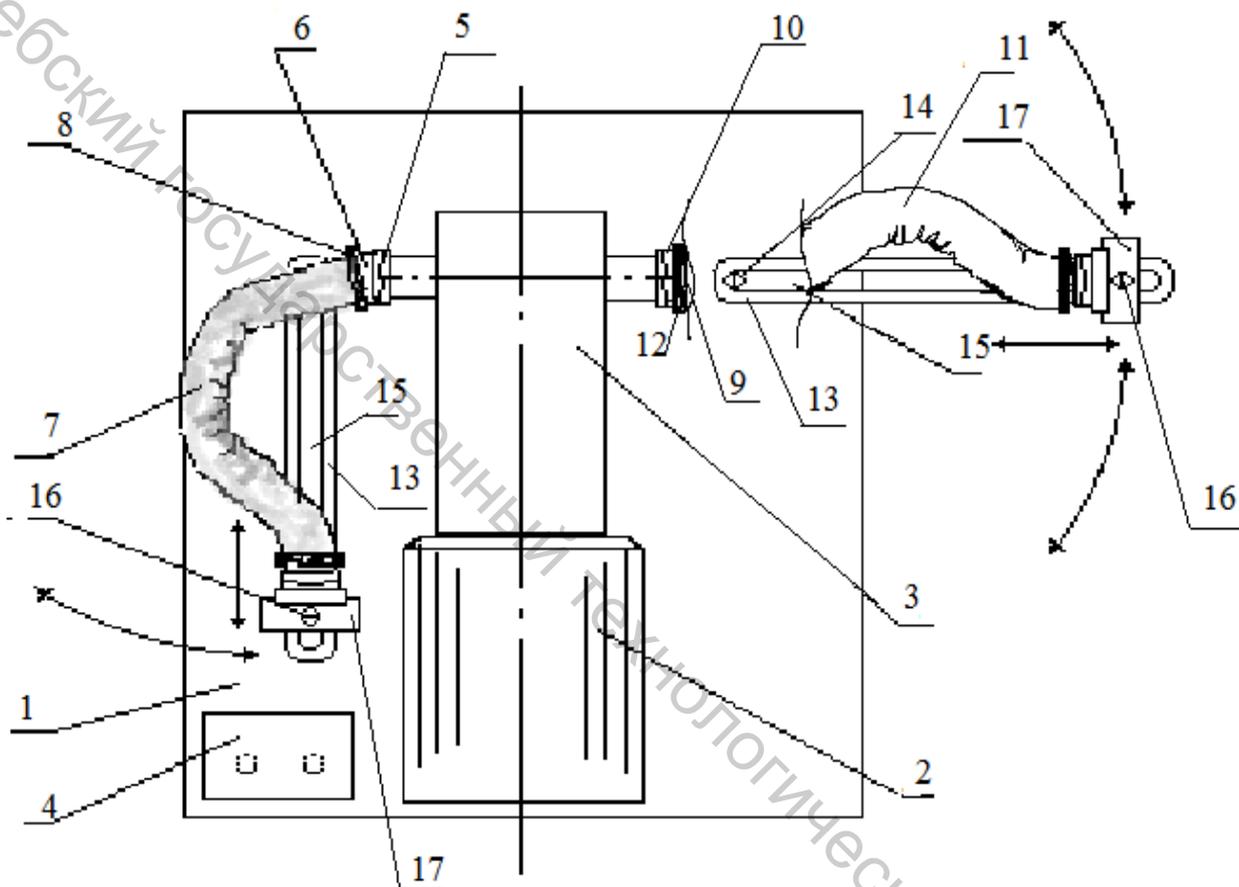


Рисунок 2.6 – Схема прибора для эксплуатационных нагрузок материалов верха одежды и обуви:

- 1 – платформа; 2 – электродвигатель; 3 – редуктор; 4 – пульт управления; 5, 10 – сцепная муфта; 6, 9 – оправка; 7, 11 – образец материала, стачанный в трубку; 8, 12 – зажим; 13 – планка; 14, 16 – винт; 17 – опора внешнего конца оправки

Работает прибор следующим образом: образцы цилиндрической формы 7 и 11 с продольным швом одеваются на оправки 6 и 9, фиксируются зажимами 8 и 12. Винты крепления 14 подвижных планок к платформе и винты крепления 16 опор внешних концов оправок 17 к планкам 13 ослабляют, сообщают планкам угловое перемещение и фиксируют его зажатием винтов 14. Затем сообщают опорам продольное

перемещение, корректируя угол изгиба образцов, и фиксируют положение зажатием винтов 16. В результате образцы получают предварительную деформацию изгиба и растяжения, величину которой можно изменить в широком диапазоне отдельно для каждого образца.

После включения прибора в сеть вращательное движение вала электродвигателя 2 передается посредством редуктора 3 и сцепных муфт 5 и 10 оправкам 6 и 9 с зажатыми на них образцами 7 и 11. Образцы получают циклическую деформацию изгиба и растяжения, которая в течение одного цикла (оборота вала редуктора) меняет знак на противоположный.

Благодаря такой конструкции обеспечивается возможность одновременного испытания двух образцов и задание предварительной деформации изгиба и растяжения в широком диапазоне для моделирования условий эксплуатации одежды и обуви. Методика моделирования эксплуатационных нагрузок материалов верха одежды и обуви, основанная на применении данного прибора, представлена в разделе 2.6.

2.4 Моделирование напряженно-деформированного состояния при циклическом комбинированном нагружении материалов

Элементарную пробу материала, испытываемую в условиях циклических комбинированных нагружений на разработанных приборах, можно по определению отнести к тонким цилиндрическим оболочкам, так как ее толщина мала по сравнению с двумя другими размерами и соотношение толщины к минимальному радиусу кривизны поверхности мало по сравнению с единицей. Анализ напряженно-деформированного состояния, возникающего в оболочке при заданных внешних нагрузках и условиях закрепления краев, проводился в работах В. В. Новожилова, П. Е. Товстика, А. Л. Гольденвейзера [2.27–2.29]. Основные зависимости линейной теории оболочек, выявленные указанными выше авторами, позволяют принять исходные гипотезы, основанные на понимании работы материала; формировать системы разрешающих уравнений, адекватно описывающих работу материала (конструкции) в рамках погрешности принятых гипотез.

Однако в линейной теории тонких оболочек принят ряд существенных допущений: деформация и углы поворота малы; материал изотропен и деформации его не выходят за предел пропорциональности. В нашем случае подобные допущения сделать невозможно в связи с тем, что материал анизотропен и подвергается сложной знакопеременной деформации, которая не может быть описана с помощью закона Гука. С математической точки зрения исследование потери устойчивости оболочки сводится к нахождению собственных чисел и соответствующим

щих им векторов сложных систем дифференциальных уравнений в частных производных. Проинтегрировать уравнение устойчивости в замкнутом виде удастся лишь в простейших случаях одномерных задач при однородном исходном состоянии, когда уравнения имеют постоянные коэффициенты.

Использование теории тонких оболочек с целью получения уравнений, которые будут описывать напряженно-деформированное состояние, и их решений связано с непреодолимыми математическими трудностями по ряду следующих причин:

- система «резиновая подложка + ткань» является слоистой композитной оболочкой, не имеющей скрепляющего слоя;
- в системе возникают моменты инерции за счет вращения оболочки;
- в процессе испытаний происходит изменение структуры материала во времени и накапливается остаточная деформация;
- задача является неосесимметричной.

Вводя дополнительные упрощения, позволяющие использовать эту модель в рамках теории тонких оболочек, мы не сможем достоверно оценить процессы, происходящие в тканях при циклическом нагружении.

Из теории упругости известно, что определенному напряженному состоянию всегда соответствует строго определенное деформированное состояние, но они не однозначны. Теория упругости и сопротивления материалов также обычно имеет дело с изотропными материалами, где степени деформированного и напряженного состояния совпадают. Любой текстильный материал является анизотропным, поэтому даже одноосному растяжению образца соответствует трехосная деформация [2.30]. Изменение структуры материала во времени и накопление остаточной деформации – основной результат циклического деформирования, которое сопровождается развитием релаксационных и усталостных процессов. При нагрузках значительно меньше разрывных текстильное полотно как система стремится к равновесному состоянию. В процессе длительного деформирования спектр релаксационных процессов расширяется в сторону длительных, а доля быстрообратимых процессов деформации уменьшается с нарастанием усталости материалов. Эти процессы детально изучены и описаны в работах Г. Н. Кукина, А. И. Коблякова, А. Н. Соловьева, С. Н. Кирюхина [2.30, 2.31, 2.32], где подчеркивается также, что традиционные критерии оценки усталостных процессов (стойкости к циклическим деформациям) – прочность, удлинение не дают полной характеристики материалов. Большое значение при нагрузках, меньше разрывных, имеют такие показатели, как формоустойчивость, жесткость, изменение внешнего вида после деформации.

Традиционным критерием оценки материалов и изделий является остаточная деформация, характеризующая формоустойчивость [2.7,

2.30]. Величина остаточной деформации может быть рассчитана как отношение приращения площади (длины при одноосном растяжении) к исходной площади (длине), выраженной в %.

В настоящих исследованиях первоначально был применен данный подход для измерения площади рабочей зоны элементарной пробы до и после циклических испытаний на разработанной установке. С этой целью на пробу предварительно наносили разметку в виде 10 квадратов размером 40x40 мм (рис. 2.7).

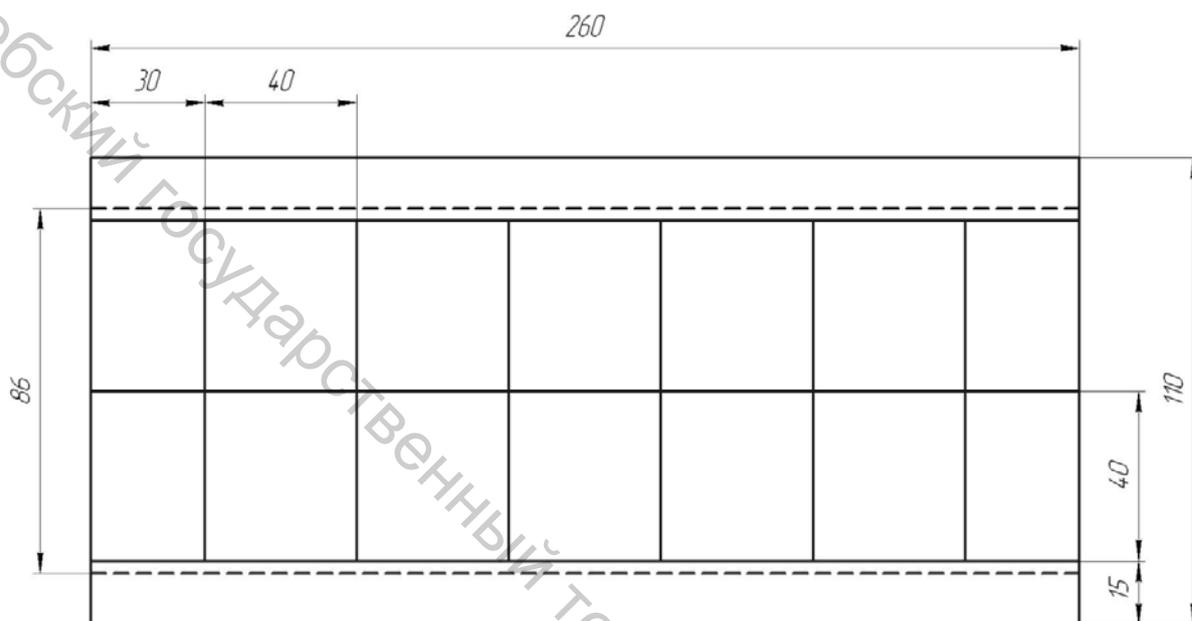


Рисунок 2.7 – Схема разметки элементарной пробы материала

Относительную остаточную циклическую деформацию определяли по формуле (2.1) [2.20]:

$$\varepsilon_{оц} = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta S_{ki} - \sum_{i=1}^n S_k}{\sum_{i=1}^n S_k} \times 100\% \quad (2.1)$$

где $\varepsilon_{оц}$ – относительная остаточная циклическая деформация пробы, %; ΔS_{ki} – площадь i -го квадрата разметки пробы после испытания, мм^2 ; S_k – площадь исходного квадрата разметки пробы, мм^2 ; n – количество квадратов в разметке ($n = 10$).

Из условия, что площадь исходного квадрата $S = a^2$ следует, что абсолютное изменение площади выражается суммой площадей двух

треугольников, образующих площадь четырехугольника, в который преобразовался квадрат в результате деформации (рис. 2.8):

$$\Delta S_{ki} = |S_k - (S_1 + S_2)|, \quad (2.2)$$

где S_k – площадь исходного квадрата, см^2 ; S_1, S_2 – площади соответственно 1-го и 2-го треугольников.

Площади треугольников определялись с помощью формулы Герона:

$$S_1 = \sqrt{p_1 \cdot (p_1 - a') \cdot (p_1 - b') \cdot (p_1 - g')}; \quad (2.3)$$

где $p_1 = \frac{1}{2} \cdot (a' + b' + g')$

$$S_2 = \sqrt{p_2 \cdot (p_2 - a') \cdot (p_2 - b') \cdot (p_2 - g')}; \quad (2.4)$$

где $p_2 = \frac{1}{2} \cdot (c' + d' + g')$

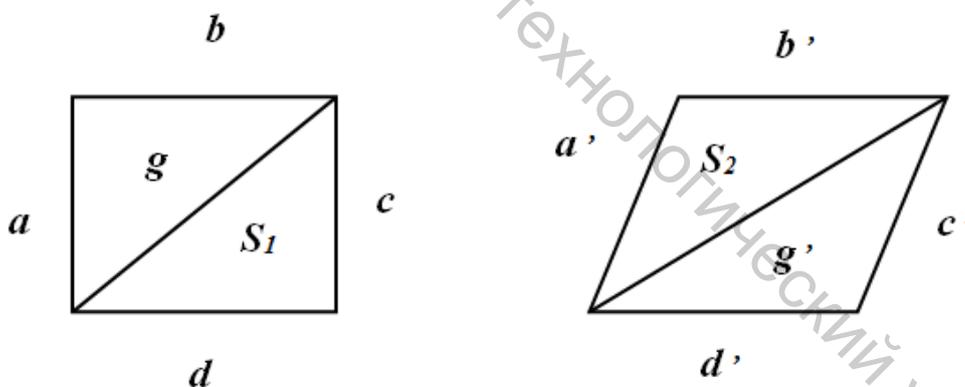


Рисунок 2.8 – Схема измерения площади разметки

Измерение разметки (при помощи штангенциркуля) и последующий расчет $\epsilon_{o.u}$ является достаточно трудоемким процессом, поэтому была использована обработка сканированных цифровых изображений разметки в чертежно-графическом редакторе системы трехмерного твердотельного моделирования КОМПАС-3D. Изображения элементарных проб переводились в векторный формат, что позволяло автоматически и с высокой точностью измерять аргументы, входящие в формулы (2.3) и (2.4). Существенным преимуществом данного подхода является

определение действительного значения исходной величины $\sum_{i=1}^n \Delta S_{ki}$, которая на практике не равна гипотетической ($16 \cdot 10^3 \text{ мм}^2$) из-за погрешности нанесения разметки. На рисунке 2.9 приведен пример обработки сканированного изображения разметки.

Слева, красной линией, обрисован размеченный квадрат до проведения испытаний с площадью S_1 , справа – после знакопеременных циклических нагружений (S_2), где наблюдается степень деформирования элемента разметки. Сканирование изображения и последующая его обработка в системе КОМПАС-3D позволяют получать действительную величину изменения площади разметки и объективные значения $\epsilon_{o.u}$.

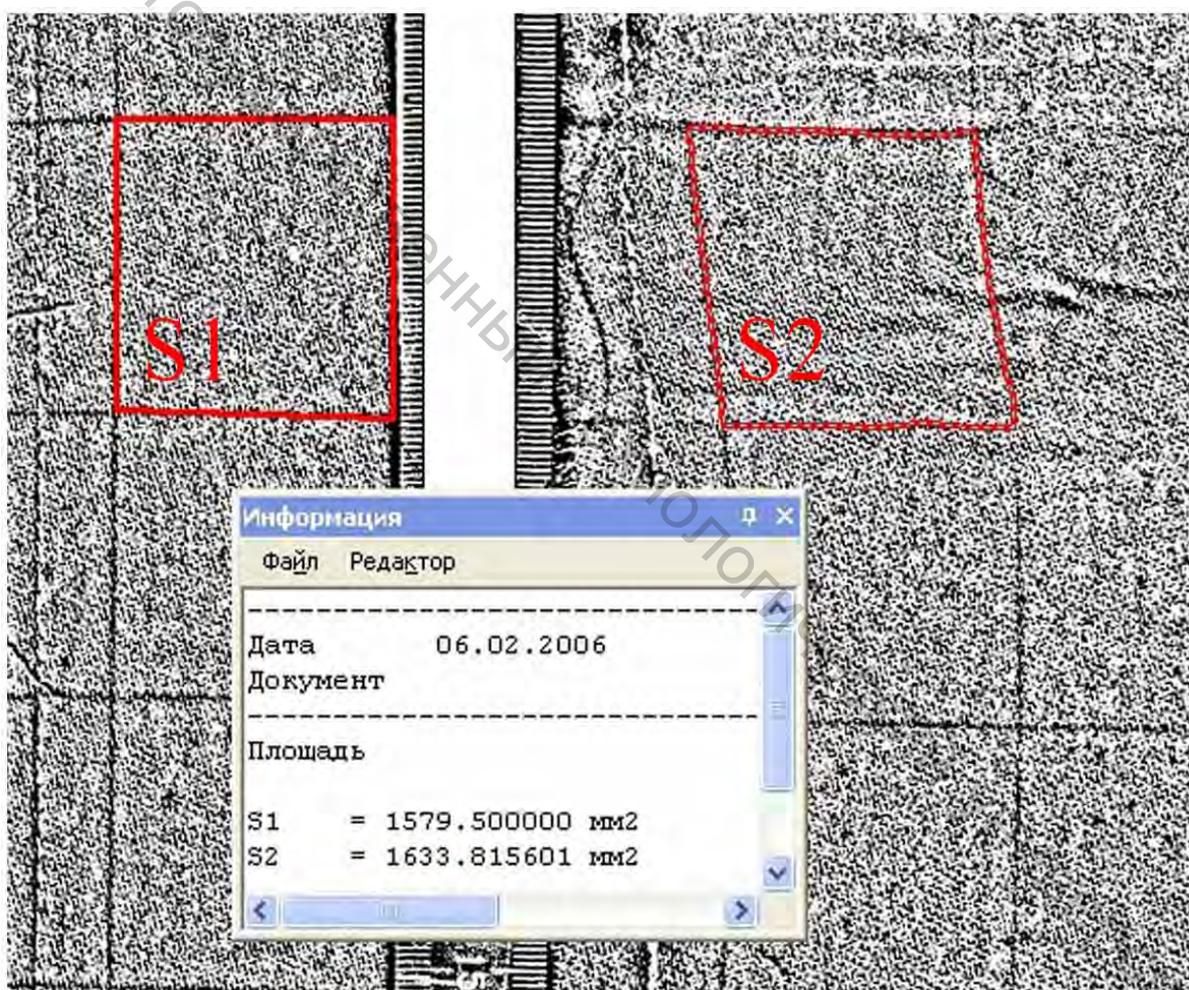


Рисунок 2.9 – Пример обработки разметки сканированной пробы до и после проведения испытаний

Возникла необходимость введения нового измеримого эксплуатационного показателя, который будет характеризовать способность анизотропных листовых материалов сопротивляться усталостным процессам, позволит оценить осевые деформации и изменение формы объ-

екта исследования. Таким показателем выступает показатель «циклическая формоустойчивость», рассчитываемый на основе измерения геометрических параметров разметки проб – осевых удлинений, осевых перекосов, изменений угла между продольным и поперечным направлениями [2.33–2.35].

Осевые удлинения L характеризуют необратимое удлинение пробы в направлении основы и утка (для тканей) в мм, выраженные в %.

Осевые перекосы D характеризуют расстояние в мм по перпендикуляру от кривой линии до осевой линии разметки в точке ее максимального отклонения, выраженное в %.

Изменение угла между продольным и поперечным направлениями ϑ характеризуется величиной отклонения от прямого угла между осями, выраженной в %.

Циклическая формоустойчивость $E_{Ц}$ материала представляет собой соотношение (2.5):

$$E_{Ц} = f(L, D, \vartheta) . \quad (2.5)$$

Как показали многочисленные циклические испытания проб различных структур, для волокнисто-сетчатых анизотропных материалов, которыми являются текстильные материалы, показатель формоустойчивости, основанный на определении изменения площади пробы, не информативен. Известно, что существенное изменение формы фигуры (в данном случае разметки) может не привести к изменению ее площади (например, превращение квадрата в параллелограмм). В то же время окончательное изменение формы фигуры (например, из квадрата в параллелограмм) ведет к существенному изменению формы изделия и снижению его потребительского качества. Так, на рисунке 2.10 приведена иллюстрация значительного изменения формы разметки элементарных проб двух разных тканей при незначительной разнице в изменении их площадей (ΔS – приращение площади рабочей зоны). Пробы прошли циклические испытания при $5 \cdot 10^4$ циклах в одинаковых режимах.

В дальнейших исследованиях применен подход оценки циклической формоустойчивости, основанный на определении величин осевых остаточных деформаций. При очевидном неравенстве удлинений пробы в перпендикулярных направлениях наблюдается двухосное несимметричное растяжение (без учета деформаций, получаемых в направлении толщины материала), так как напряжение, являющееся следствием деформации изгиба, также является растягивающим в продольном направлении пробы.



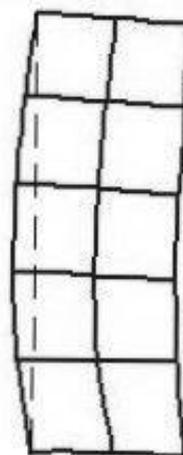
$$S = 15762 \text{ мм}^2$$

a



$$S = 16062 \text{ мм}^2$$
$$\Delta S_1 = 1,9 \%$$

б



$$S_2 = 16160 \text{ мм}^2$$
$$\Delta S_2 = 2,5 \%$$

в

Рисунок 2.10 – Измерение площади разметки пробы:
a – исходная разметка (до испытаний); *б, в* – вид разметки проб двух различных тканей после циклических испытаний

2.5 Методика исследования эксплуатационных показателей качества тканей для верха обуви

К регламентируемым условиям испытаний элементарных проб относятся:

- количество циклов деформации;
- величина деформации предварительного растяжения;
- угол изгиба.

Количество циклов деформации устанавливается в зависимости от задач исследования – до разрушения или частичного износа, например, до 10 или 50 тыс. циклов с последующим анализом внешнего вида и измерения эксплуатационных характеристик пробы. Частота вращения двигателя прибора является постоянной – 90 циклов/мин или 5400 циклов/час (1,5 Гц), что соответствует количеству шагов человека при ходьбе в умеренном темпе.

В цилиндрическом устройстве прибора для циклических испытаний материалов устанавливается избыточное давление, которое вызывает деформацию растяжения. *Величина деформации предварительного растяжения* вызывает растягивающее усилие и напряжение в материале, близкое к условиям носки обуви и зависит от величины разрывной

нагрузки (F_p) материала. Существует ряд публикаций, посвященных исследованию свойств текстильных материалов при растяжении, которые рекомендуют диапазон растягивающих усилий при эксплуатации от 5 до 30 % от F_p [2.36, 2.37, 2.38, 2.39, 2.40, 2.41–2.51 и др.]. Однако, как показал их анализ, исследования свойств материалов проводились в основном при одноосных испытаниях. Учитывая тот факт, что в настоящих исследованиях применялись два вида деформационных нагрузок, верхняя граница диапазона предварительного растяжения принята 15 % от F_p , выше которой нагрузка явно избыточна для тканей.

Величина избыточного давления $P_{РАСЧ}$ в цилиндрическом устройстве, вызывающего предварительное растяжение, определяется расчетным путем для каждого из исследуемых материалов по формуле (2.6) [2.20]:

$$P_{РАСЧ} = P_{ЭКСП} - P_{УПР} = \left(k_{П} \cdot k_{Н} \cdot \frac{F_p}{S} \right) - P_{УПР} , \quad (2.6)$$

где $P_{РАСЧ}$ – расчетное значение избыточного давления в цилиндрическом устройстве, Па; $P_{ЭКСП}$ – экспериментально установленное давление в цилиндрическом устройстве, Па; $P_{УПР}$ – поправка на упругость резиновой трубки, Па; $k_{Н}$ – коэффициент, учитывающий величину предварительной нагрузки (0,05–0,15); $k_{П}$ – коэффициент, зависящий от поверхностной плотности материала F_p – разрывная нагрузка элементарной пробы, Н; S – площадь рабочей зоны элементарной пробы, мм².

Циклические испытания текстильных материалов проводятся при нагрузках меньше разрывных ($0,05F_p \div 0,15F_p$). При установлении избыточного давления в цилиндрическом устройстве пропорционально увеличивается диаметр цилиндрического устройства с пробой, что вызывает ее растяжение в поперечном направлении. Нагрузка F_p , необходимая для предварительного растяжения пробы, определяется в соответствии с ГОСТ 3813-72 [2.24] с помощью разрывной машины РТ-250. Площадь элементарной пробы S , которая подвергается деформированию, составляет 2×10^4 мм² (рис. 2.7). Величину $k_{Н}$ выбирают в зависимости от задач исследования. Величину $k_{П}$ устанавливают по номограмме на рисунке 2.11.

Для вычисления поправки на упругость резиновой трубки необходимо установить внутри цилиндрического устройства с оболочкой из ткани давление $P_{ЭКСП}$ [Па] и штангенциркулем измерить диаметр трубки, пренебрегая толщиной материала. Величина диаметра увеличится с D до D_1 [мм]. Затем снять оболочку (элементарную пробу); в цилиндрическое устройство подавать воздух до тех пор, пока диаметр резино-

вой трубки не достигнет D_I ; зафиксировать P_I [Па] с помощью манометра. Величина P_I и является поправкой на упругость резиновой трубки $P_{УПР}$.

Угол изгиба цилиндрического устройства может изменяться от 0 до 90° относительно оси тихоходного вала редуктора. Выбор величины угла изгиба цилиндрического устройства осуществляется для достижения на пробе ткани складок с величиной угла от 30° до 90°, какие возникают в пучковой части верха обуви при ходьбе.



Рисунок 2.11 – Номограмма для определения коэффициента, зависящего от поверхностной плотности материала

После проведения испытания проба снимается с цилиндрического устройства для определения значений эксплуатационных показателей, установленных для контроля до и после циклического нагружения: разрывная нагрузка, разрывное удлинение и жесткость при изгибе.

С целью получения объективных значений циклической формоустойчивости в методике предложено измерять геометрические параметры разметки проб – осевые удлинения, осевые перекосы и изменение угла между двумя системами нитей в тканях или в продольном и поперечном направлениях.

Геометрический смысл и порядок расчета данных параметров представлен на рисунке 2.12 и в виде формул (2.7)–(2.11):

$$L_x = \frac{X - X_0}{X_0} \cdot 100, \quad L_y = \frac{Y - Y_0}{Y_0} \cdot 100, \quad (2.7)$$

где L_x – осевые удлинения элементарных проб относительно оси x , %;
 L_y – осевые удлинения элементарных проб относительно оси y , %;
 X (Y) – размеры осевых линий разметки после испытаний, мм;
 X_0 (Y_0) – исходные размеры осевых линий разметки, мм.

$$D_x = \frac{100 \cdot \delta_x}{X}, \quad D_y = \frac{100 \cdot \delta_y}{Y}, \quad (2.8)$$

где D_x – осевые перекосы элементарных проб относительно оси x , %;
 D_y – осевые перекосы элементарных проб относительно оси y , %;
 δ_x – минимальное расстояние от линии разметки до оси x в точке ее максимального отклонения, мм; δ_y – минимальное расстояние от линии разметки до оси y в точке ее максимального отклонения, мм.

$$\mathcal{G} = \frac{\varphi - \varphi_0}{\varphi_0} \cdot 100, \quad (2.9)$$

где \mathcal{G} – отклонение угла между продольным и поперечным направлениями элементарной пробы, %; φ – угол между продольным и поперечным направлениями элементарной пробы до циклических испытаний; φ_0 – угол между продольным и поперечным направлениями элементарной пробы после циклических испытаний.

Расчет циклической формоустойчивости $E_{Ц}$ точечной пробы осуществляется по формуле (2.10):

$$E_{Ц} = \sqrt{L^2 + D^2 + \mathcal{G}^2}, \quad (2.10)$$

где L и D представляют собой параметры, характеризующие необратимые удлинения и перекосы точечной пробы и определяемые по формулам (2.11):

$$L = \sqrt{L_x^2 + L_y^2}, \quad D = \sqrt{D_x^2 + D_y^2}. \quad (2.11)$$

Дополнительно к количественным характеристикам с помощью разработанной методики испытаний можно определять и качественные характеристики, например изменения внешнего вида ткани после цик-

лического нагружения, выражающиеся в образовании потертостей, обрывов элементарных волокон и нитей, разрежении структуры полотен, изменении угла между нитями основы и утка, нарушении целостности пробы. Изменения внешнего вида могут оцениваться по сумме баллов с помощью оценочной шкалы, представленной в таблице 2.1.

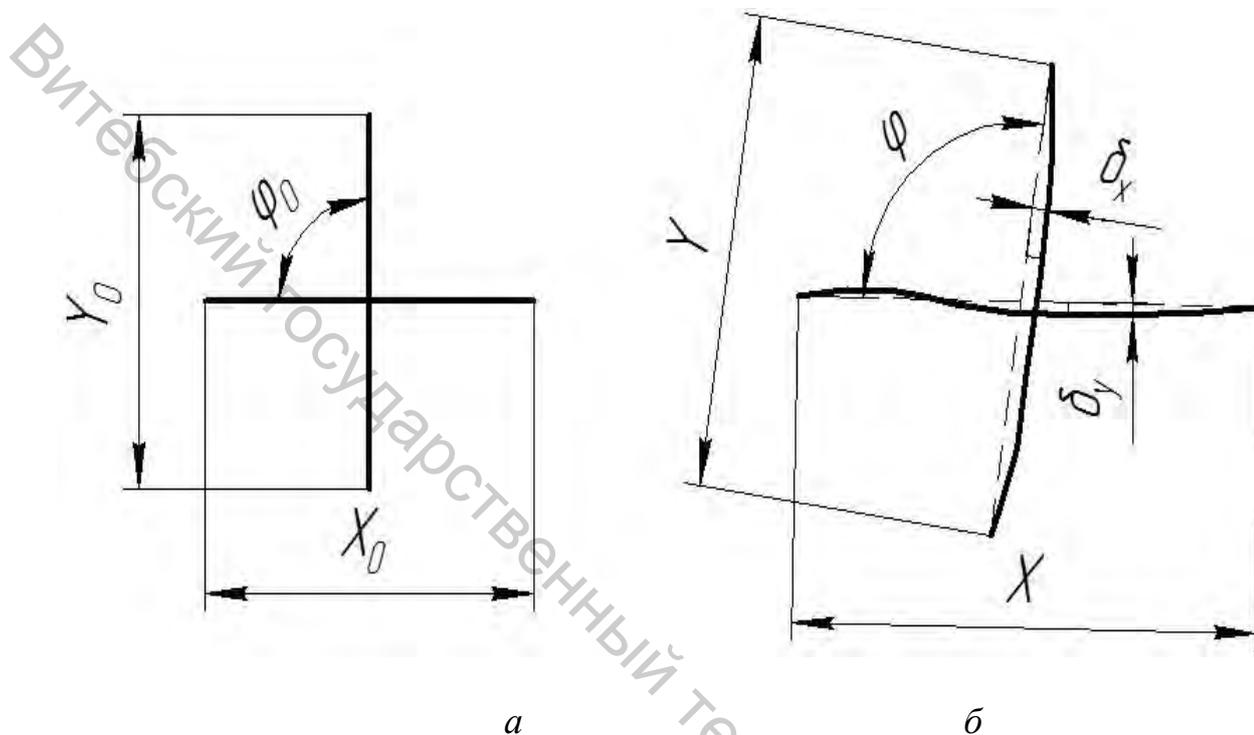


Рисунок 2.12 – Определение геометрических параметров элементарных проб:
a – разметка до испытаний, *б* – разметка после испытаний

Таблица 2.1 – Шкала оценки внешнего вида ткани после циклического нагружения

Степень разрушения элементарной пробы	Оценки, балл
Нет изменений	0
Изменение угла между нитями основы и утка	1
Обрыв элементарных волокон	2
Разрежение структуры	3
Обрыв нитей	4
Нарушение целостности пробы	5

2.6 Методика моделирования эксплуатационных воздействий для материалов верха одежды и обуви

Для испытания применяют точечные пробы материалов, отобранные в соответствии с ГОСТ 20566-75 «Ткани и штучные изделия текстильные. Правила приемки и метод отбора проб».

Для проведения испытаний заготавливают 2 образца: элементарные пробы прямоугольной формы (четыре пробы размером 60x250 мм или две пробы размером 118x250 мм), стачанные в трубку соединительным стачным швом шириной 8 мм. Образцы надевают на оправки, оправки надевают на втулки и закрепляют в зажимах на приборе. Со стороны внутренних концов оправок поперечные срезы образцов закрепляют в зажимах. Со стороны внешних концов оправок образцы оставляют свободными. Таким образом, моделируется деформированное состояние образцов, соответствующее состоянию основных деталей в одежде – детали рукавов, втаченные в проймы, детали половин брюк, соединенные по среднему шву, детали стана изделия, зафиксированные в области плечевого пояса и горловины и свободные внизу. При моделировании деформационных нагрузок, характерных для материалов верха обуви, образцы фиксируют зажимами и со стороны внутренних концов оправок, приближая условия лабораторного опыта к эксплуатационным. Устанавливают угол изгиба оправок, перемещая опору внешних концов оправок и подвижные планки (для материалов верха одежды угол изгиба составляет 80°). Закрепляют положение опор внешних концов оправок и подвижных планок винтами. Допускается по согласованию с заказчиком испытаний устанавливать произвольный угол изгиба образца, отмечая изменения в протоколе испытаний.

Если целью испытаний является определение *степени изменения свойств* материала после моделирования циклических комбинированных деформаций, а последующие испытания предполагают исследование показателей свойств материала при выкраивании проб вдоль различных систем нитей, то половина общего количества проб выкраивается в направлении нити основы или петельного столбика материала, остальные – в направлении нити утка или петельного ряда. Например, при исследовании изменения разрывной нагрузки, удлинения при разрыве, раздирающей нагрузки.

Если методикой последующего испытания предусмотрен образец большего размера, допускается использовать элементарную пробу большего размера в соответствии с размерами оправки, но не более 310 мм в длину и 118 мм в ширину. В этом случае при подготовке образца к испытанию следует стачивать два продольных среза, перегибая элементарную пробу вдоль пополам. Например, при исследовании водонепроницаемости по ГОСТ 3816-81 (ISO 811-81), ГОСТ 413-91 (ISO 1420-87)

требуется элементарная проба большего размера. Количество образцов при определении степени изменения показателя свойства материала после моделирования механических эксплуатационных нагрузок должно соответствовать методике исследования соответствующего показателя свойства.

Если целью испытаний является определение степени изменения свойств материала после моделирования циклических комбинированных деформаций, то предшествующие и последующие результаты исследования характеристик свойств материала рекомендуется отражать в том же протоколе с вычислением относительной характеристики свойства после приложения нагрузки. Относительная характеристика свойства $B_{отн}$ после определенного количества циклов вычисляется по формуле (2.27):

$$B_{отн} = \frac{B_0}{B_i}, \quad (2.27)$$

где B_0 – среднее арифметическое значение характеристики свойства материала до испытания, выраженное в соответствующих единицах измерения; B_i – среднее арифметическое значение характеристики свойства материала после i циклов испытаний, выраженное в соответствующих единицах измерения.

Результат расчета оформляют в виде таблицы 2.2.

Таблица 2.2 – Результаты испытаний

Наименование материала	Номер элементарной пробы	Характеристика свойства, единицы измерения			
		До нагрузки (B_0)	После нагрузки		
			i тыс. циклов (B_i)	j тыс. циклов (B_j)	k тыс. циклов (B_k)
	1				
	2				
	3				
	4				
	Среднее				
	Относительная характеристика свойства после нагрузки, $B_{отн}$		$B_{отн}^i = \frac{B_0}{B_i}$	$B_{отн}^j = \frac{B_0}{B_j}$	$B_{отн}^k = \frac{B_0}{B_k}$

Форма таблицы может быть изменена в соответствии с целями исследования. Рекомендуемая форма таблицы используется для выявления

ния зависимости значения характеристики свойства от количества циклов комбинированных деформаций.

Если целью испытаний является *определение степени изменения структуры* материала после моделирования циклических комбинированных деформаций, то предшествующие и последующие результаты исследования структуры материала рекомендуется отражать в произвольной форме в зависимости от номенклатуры контролируемых параметров и применяемых методов и средств исследования структуры.

Пример оформления результатов исследования при выполнении анализа структуры образца методом микроскопии представлен ниже.

Исследованию подвергался образец композиционного текстильного материала, который содержит полимерные слои, последовательно нанесенные на текстильную основу. Анализировались характеристики структуры образца. По микрофотографии поперечного среза материала определялись следующие параметры:

Общая толщина образца, измеряемая поперек каждой нити основы. Измерения выполняются по всем нитям основы, попавшим в поле зрения. Толщина образца принимается как среднее значение.

Толщина текстильной основы определяется аналогично, только измерение проводится от верхней кромки образца до мембраны.

Толщина мембраны определяется как среднее арифметическое длин не менее 10 поперечных линий, проведенных от нижней кромки мембраны до текстильной основы с одинаковым шагом. В трехслойных образцах для измерений проводится линия опорной плоскости. Линия соединяет наиболее выступающие точки нитей трикотажной или тканой подкладки. От этой линии измеряются общая толщина образца и *толщина подкладки*, как показано на рисунке 2.13. Измерения проводятся поперек каждой нити основы, и определяется среднее значение.

Для определения *глубины проникновения мембраны* в текстильную основу измерение проводится по изображению текстильной основы: прямой линией соединяются попарно наиболее выступающие (наиболее погруженные в толщу текстильной основы) соседние точки мембраны, как показано на рисунке 2.14. Глубина проникновения определяется как расстояние от проведенной линии до края нитей основы и утка, соприкасающегося с мембранным слоем. Принимается среднее значение всех выполненных в поле видимости измерений.

Для определения *фазы строения* текстильной основы определяется *высота волны изгиба* основных h_0 и уточных h_y нитей. Для системы нитей основы проводится прямая, соединяющая самые высокие точки соседних нитей основы, лежащих над нитью утка. Величина волны изгиба основы определяется как расстояние от проведенной линии до вершины нити основы, лежащей под нитью утка. Принимается среднее значение из полученных для всех нитей основы, попавших в поле зрения.

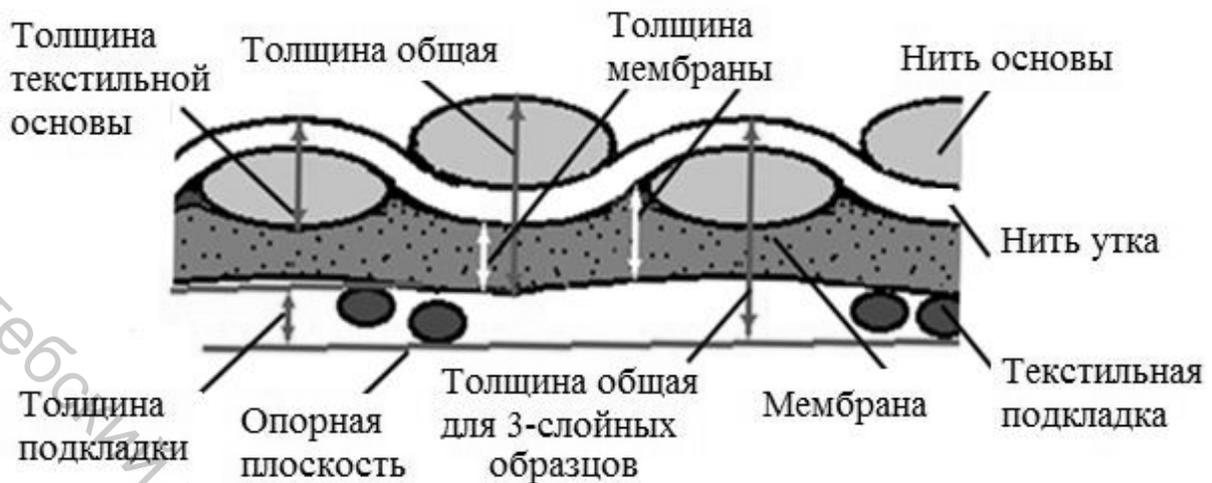


Рисунок 2.13 – Схема определения параметров структуры по микрофотографии среза образца материала

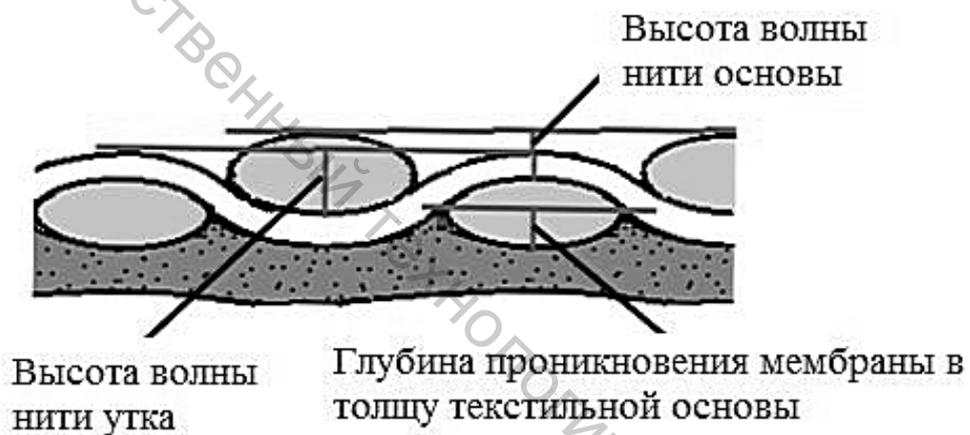


Рисунок 2.14 – Схема определения параметров структуры по микрофотографии среза образца материала

Аналогично выполняется построение и замер величины волны изгиба нити утка: от линии, соединяющей соседние волны, до вершины уточной нити, расположенной под нитью основы. Порядок фазы строения (*ПФС*) определяется из отношения высоты волны нити основы к высоте волны нити утка ($K_h = \frac{h_0}{h_y}$) по формуле (2.12), предложенной проф. Н. Г. Новиковым:

$$ПФС = \frac{1 + 9 \cdot K_h}{1 + K_h} \quad (2.12)$$

На рисунке 2.15 представлены микрофотографии среза исследуемого материала до и после испытаний. В таблице 2.3 – результат анализа параметров структуры.

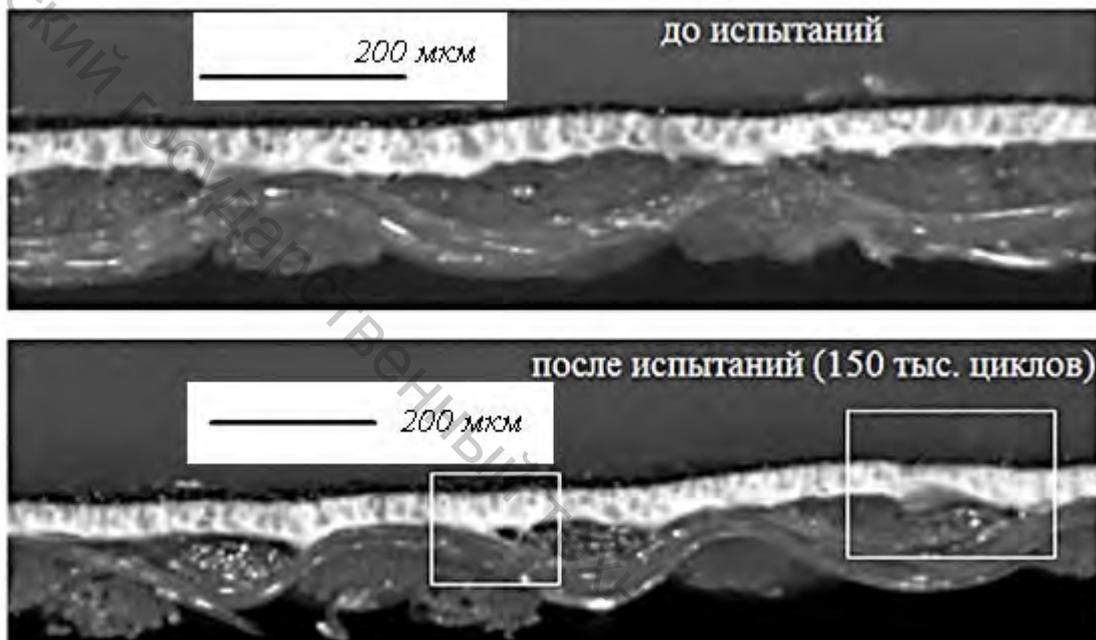


Рисунок 2.15 – Микроскопия образца композиционного материала до и после моделирования циклических комбинированных деформаций ($\times 100$)

Таблица 2.3 – Анализ микроскопии образца

Параметр структуры образца		До испытаний	После испытаний
Общая толщина образца, мкм		185,5	167,9
Толщина текстильной основы, мкм		128,1	120,5
Толщина мембраны, мкм	губчатой	47,1	46,1
	моноклитной	12,2	11,7
Глубина проникновения мембраны в основу, мкм		23,1	18,0
Коэффициент соотношения высот волн нитей основы и утка / Фаза строения		0,59 / 4	0,58 / 4

Описание геометрии пор до испытаний: губчатая структура мембранного слоя значительно толще монолитной, граница между губчатым и монолитным слоем четкая. Поры сквозные, преимущественно цилиндрической и конической формы диаметром 20–70 мкм, стенки пор неровные, складками. Поры сопоставимы друг с другом по размеру.

После испытаний общая толщина и толщина тканевой основы после воздействий уменьшились соответственно на 10 % и 5 %. Глубина проникновения губчатого мембранного слоя в толщу текстильной основы уменьшилась на 25 %. Изменение измеренной величины связано с частичным отслаиванием губчатой мембраны от текстильной основы с образованием воздушных полостей. Остальные показатели существенно не изменились.

Таким образом, методика и прибор позволяют установить наличие изменений начальной структуры образца в условиях, моделирующих условия эксплуатации материалов. Это создает предпосылки для прогнозирования стабильности свойств материалов в процессе эксплуатации. Более подробно этот вопрос рассмотрен в главе 4 монографии.

Таким образом, в результате выполненной работы по анализу номенклатуры показателей эксплуатационных свойств текстильных материалов верха для одежды и обуви обоснованы дополнительные показатели, характеризующие устойчивость материалов к циклическому нагружению, возникающему при эксплуатации обуви и одежды (циклическая формоустойчивость и циклическая долговечность).

Спроектированы, изготовлены и запатентованы приборы, которые моделируют механическое поведение тканей при циклическом комбинированном нагружении. Совмещение изгибающих знакопеременных деформаций с растяжением пробы и приложение крутящего момента в плоскости, перпендикулярной оси пробы, может предназначаться для исследования эксплуатационных свойств текстильных материалов для верха одежды и обуви. При помощи приборов возможно определение величины осевых остаточных деформаций анизотропных материалов, что является отличием от существующих приборов для одноосного растяжения в статических условиях. Цилиндрическая форма испытуемой пробы имеет ряд преимуществ по отношению к плоской – отсутствие «краевого эффекта», равномерность нагрузки по всей рабочей площади пробы, возможность пространственного деформирования, возможность одновременного исследования ниточных и других соединений, интенсивность деформации изгиба.

Обосновано, что для волокнисто-сетчатых анизотропных материалов показатель формоустойчивости, основанный на определении изменения площади пробы, не информативен. Показано, что существенное изменение формы разметки проб может не привести к изменению ее площади, в то же время приводит к существенному изменению формы изделия и снижению его потребительского качества. Проведены иссле-

дования осевых деформаций, совпадающих с продольным и поперечным направлением ткани. Установлено, что конструкция прибора (Патент № 870) обеспечивает двухосное несимметричное растяжение (без учета деформаций, получаемых в направлении толщины материала). Предложено оценивать формоустойчивость на основании измерений осевых удлинений, осевых перекосов и угла между продольным и поперечным направлениями ткани после циклического нагружения.

Разработаны методики проведения испытаний материалов в условиях циклического комбинированного нагружения и расчета значений показателей «циклическая формоустойчивость» и относительных показателей свойств материала после приложения нагрузки. Предусмотренное методикой варьирование режимов испытаний позволяет моделировать различные виды отдельных и совместных циклических нагружений; использование доступных для определения характеристик тканей при расчете величины предварительной нагрузки позволяет создавать объективные условия для сопоставления результатов испытаний различных объектов.

Разработаны прибор (Патент № 10745) и методика для моделирования эксплуатационных нагрузок материалов верха одежды и обуви, которые позволяют исследовать эксплуатационные свойства текстильных материалов в динамике их изменения под действием циклически повторяющихся комбинированных механических нагрузок. Прибор и методику можно применять для оценки надежности материалов по изменению следующих показателей эксплуатационных свойств: разрывная нагрузка, удлинение при разрыве, раздирающая нагрузка, паропроницаемость, водонепроницаемость. Кроме того, важную информацию об изменении свойств материала можно получить по результатам микроскопии его среза до и после моделирования циклических комбинированных деформаций, измеряя толщину, высоту волн изгиба нитей основы и утка, анализируя геометрию пор, форму сечения нитей, характеристики полимерных слоев и их взаимное расположение.

Обобщая материал, изложенный во 2 главе, следует отметить, что разработанный метод оценки эксплуатационных свойств текстильных материалов, основанный на моделировании условий эксплуатации материалов верха одежды и обуви, на сегодняшний день обеспечен приборной базой, методически проработан и вполне может использоваться для целей оценки эксплуатационных свойств текстильных материалов.

Литература

2.1. Куприянов, М. П. Теория и практика учета неоднородности физических свойств кожи при поточно-массовом производстве обуви: автореф. ... дис. на соиск. канд. техн. наук : 05.19.01 / М. П. Куприянов; МТИЛП. – М., 1971. – 51 с.

2.2. Зыбин, Ю. П. Конструирование изделий из кожи : учебник для студ. вузов, обуч. по спец. «Конструирование изделий из кожи», «Технология изделий из кожи» / Ю. П. Зыбин [и др.]; под общ. ред. Ю. П. Зыбина. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1982. – 264 с.

2.3. Зыбин, А. Ю. Двухосное растяжение материалов для верха обуви / А. Ю. Зыбин. – М.: Лёгкая индустрия, 1974. – 120 с.

2.4. Махонь, А. Н. Требования к текстильным материалам для верха спортивной обуви / А. Н. Махонь, О. А. Терентьева // Сборник статей VII РНК студентов и аспирантов Беларуси «НИРС–2002», Витебск, 20–21 октября 2002 г. / Мин. образования РБ, Белорусский координационный центр НИРС, УО «ВГТУ»; редкол.: д.т.н., проф. А. П. Солодков [и др.]. – Витебск, 2002. – С. 322–323.

2.5. Лисиенкова, Л. Н. Развитие теории и методов исследования деформационных свойств материалов при воздействии технологических и эксплуатационных факторов: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.19.01 / Л. Н. Лисиенкова; МГУТД. – М., 2010. – 37 с.

2.6. Бузов, Б. А. Материаловедение в производстве изделий легкой промышленности (швейное производство) : учебник для ВУЗов / Б. А. Бузов, Н. Д. Алыменкова. – М. : Академия, 2004. – 448 с.

2.7. Эксплуатационные свойства материалов для одежды и методы оценки их качества : справочник / под ред. К. Г. Гущиной. – М. : Легкая и пищевая промышленность, 1984. – 312 с.

2.8. Ткани обувные. Общие технические условия: ГОСТ 19196-93. – Введ. 01.01.95. – М.: Изд-во стандартов, 1995. – 7 с.

2.9. Лиокумович, В. Х. Структурный анализ качества / В. Х. Лиокумович. – М.: Легкая индустрия, 1980. – 160 с.

2.10. Ковчур, А. С. Материаловедение: учеб. пособие / А. С. Ковчур. – М.: Легпромиздат, 2000. – 125 с.

2.11. Петрище, Ф. А. Теоретические основы товароведения и экспертизы непродовольственных товаров / Ф. А. Петрище. – М.: ИТК «Дашков и К», 2004. – 270 с.

2.12. Кутянин, Г. И. Систематизация современных потребительских требований к качеству обувных товаров / Г. И. Кутянин // Сборник научных трудов «Изыскание путей и способов решения задач кожевенно-обувной промышленности по разработке и промышленному освоению экологически чистых технологических процессов». – М.: ЦНИИТЭИлегпром, 1993. – С. 103–109.

2.13. Система государственных испытаний продукции. Испытания и контроль качества продукции. Основные термины и определения: ГОСТ 16504-81. – Введ. 01.01.82. – М.: Изд-во стандартов, 1982. – 28 с.

2.14. Патент ВУ 7578 С1, МПК G01 N 3/00 Способ оценки свойств эластичного материала для верха обуви и шва, скрепляющего детали // А. Н. Буркин, К. С. Матвеев, М. В. Шевцова, Е. А. Шеремет (ВУ); патентообладатель Вит. гос. технол. ун-т; заявка № а 20000977; заявлено 27.10.2000; опубл. 30.12.2005 // Афіцыйны бюлетэнь Дзяржаўнага патэнтнага камітэта Рэспублікі Беларусь. – 2005. – № 4. – Часть 1. – С. 226.

2.15. Кожа. Определение прочности на изгиб. Часть 1. Метод с применением флексометра : ГОСТ ISO 5402-1-2014 = ISO 5402-1:2011. – Введ. 01.01.2016. – М. : Стандартиформ, 2015. – 8 с.

2.16. Давыдов, А. Ф. Текстильное материаловедение : учеб. пособие / А. Ф. Давыдов. – М. : Российский заочный институт текстильной и легкой промышленности, 1997. – 168 с.

2.17. Кожа искусственная. Метод определения морозостойкости в динамических условиях : ГОСТ 20876-75. – Введ. 01.01.1977. – М. : ИПК Издательство стандартов, 1987. – 7 с.

2.18. Официальный сайт компании «W.L. GORE & Associates» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.gore-tex.com/en-us/home>. – Дата доступа: 08.12.2016.

2.19. Кузнецов, А. А. Исследование изменения защитных свойств боевой одежды пожарных при многоцикловых эксплуатационных воздействиях / А. А. Кузнецов // Вестник Витебского государственного технологического университета. – 2014. – № 2 (27). – С. 38–45.

2.20. Патент № 9502, МПК G01N33/36 Способ оценки эксплуатационных свойств эластичного материала или шва детали при многоцикловом изгибе // А. Н. Буркин, А. Н. Махонь, К. С. Матвеев, Н. В. Комлева; заявка № а 20040414; заявлено 14.05.2004; патентообладатель Витебский государственный технологический университет; опубл. 30.12.2005 // Афіцыйны бюлетэнь Дзяржаўнага патэнтнага камітэта Рэспублікі Беларусь. – 2005. – № 4. – С. 77.

2.21. Буркин, А. Н. Разработка метода испытания текстильных материалов в динамических условиях / А. Н. Буркин, А. Н. Махонь // Вестник Витебского государственного технологического университета. – Витебск: УО «ВГТУ», 2004. – Вып. 6. – С. 13–17.

2.22. Терентьева, О. А. Разработка средств и методов испытания эластичных материалов в динамических условиях / О. А. Терентьева, А. Н. Махонь, С. Г. Ковчур // IX РНК студентов и аспирантов Беларуси (НИРС–2004). – Сборник научных работ студентов высших учебных заведений Республики Беларусь «НИРС–2004». В 2 частях. Часть 1, Гродно, 26–27 мая 2004 г. / Мин. образования РБ, УО «ГГУ имени Янки Ку-

палы», ГВУ «ГГМУ», УО «ГГАУ»; редкол.: д.т.н., проф. А. И. Жук [и др.]. – Гродно, 2005. – С. 181–182.

2.23. Патент № 870, МПК А43D1/00 Прибор для испытания эластичных материалов и швов // А. Н. Буркин, К. С. Матвеев, С. Г. Ковчур, А. Н. Махонь, О. А. Терентьева; заявка u20020265; заявлено 17.09.2002; патентообладатель Витебский государственный технологический университет; опубл. 30.02.2003 // Афіцыйны бюлетэнь Дзяржаўнага патэнтнага камітэта Рэспублікі Беларусь. – 2003 . – № 2. – С. 236.

2.24. Материалы текстильные. Ткани и штучные изделия. Методы определения разрывных характеристик при растяжении: ГОСТ 3813-72 (ИСО 5081-77, ИСО 5082-82). – Введ. 01.01.73. – М.: Изд-во стандартов, 1973. – 8 с.

2.25. Материалы текстильные. Полотна. Методы определения жесткости при изгибе: ГОСТ 10550-93. – Введ. 01.06.93. – Минск: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации; Минск: Госстандарт РБ, 1993. – 11 с.

2.26. Прибор для испытания материалов для одежды и обуви : полезная модель ВУ10745 / Д. К. Панкевич, А. Н. Буркин, Р. С. Петрова, В. Д. Борозна, Ю. М. Кукушкина, Е. В. Бондарева, О. А. Петрова-Буркина ; дата публ. 01.08.2014.

2.27. Новожилов, В. В. Линейная теория тонких оболочек / В. В. Новожилов. – М.: Наука, 1991. – 656 с.

2.28. Товстик, П. Е. Устойчивость тонких оболочек / П. Е. Товстик. – М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1995. – 320 с.

2.29. Гольденвейзер, А. Л. Теория упругих тонких оболочек / А. Л. Гольденвейзер. – 2-е изд., перер. и доп. – М.: Наука, 1976. – 512 с.

2.30. Зыбин, А. Ю. Двухосное растяжение материалов для верха обуви / А. Ю. Зыбин. – М.: Лёгкая индустрия, 1974. – 120 с.

2.31. Кукин, Г. Н. Новые методы исследования, строения свойств и оценка качества текстильных материалов / Г. Н. Кукин, А. Н. Соловьёв. – М.: Легпромбытиздат, 1977. – 315 с.

2.32. Кукин, Г. Н. Текстильное материаловедение (текстильные полотна и изделия) : учеб. для вузов / Г. Н. Кукин, А. Н. Соловьёв, А. И. Кобляков. – М.: Легпромбытиздат, 1992. – 272 с.

2.33. Махонь, А. Н. Моделирование напряженно-деформационного состояния при испытаниях текстильных материалов на растяжение и изгиб / А. Н. Махонь, А. Н. Буркин, К. С. Матвеев // Обувь : производство – качество – рынок. – 2006. – № 4(16). – С. 12–21.

2.34. 15–А. Махонь, А. Н. Разработка метода оценки многоциклового усталости текстильных материалов / А. Н. Махонь, А. Н. Голубев // Вестник УО «ВГТУ». – Витебск: УО «ВГТУ», 2007. – Вып. 12. – С. 17–21.

2.35. 16–А. Махонь, А. Н. Оценка формоустойчивости текстильных материалов после многоцикловых испытаний / А. Н. Махонь // 39 научно-техническая конференция преподавателей и студентов университета: тезисы докладов, Витебск, 23 апреля 2006 г. / Витебск. гос. техн. ун-т; редкол.: С. М. Литовский [и др.]. – Витебск, 2006. – С. 117.

2.36. Торкунова, З. А. Испытания трикотажа / З. А. Торкунова. – 2-е изд., перераб. – М.: Легпромбытиздат, 1985. – 200 с.

2.37. Сухарев, М. И. Свойства нетканых текстильных материалов и методы их исследования / М. И. Сухарев. – М.: Легкая индустрия, 1969. – 158 с.

2.38. Симоненко, Д. Ф. Лабораторная оценка носкости материалов для одежды / Д. Ф. Симоненко. – М.: Легкая индустрия, 1978. – С. 20–21.

2.39. Каландадзе, Е. В. Изучение влияния различных факторов на выносливость ткани к многократным изгибам / Е. В. Каландадзе // Известия ВУЗов. Технология текстильной промышленности. – 1975. – № 1. – С. 25–27.

2.40. Пугачевский, Г. Ф. изнашивание целлюлозных тканей при воздействии различных факторов / Г. Ф. Пугачевский. – М.: Легкая индустрия, 1977. – С. 109–111.

2.41. Макарова, Т. А. Изучение разрывных характеристик тканей при двухосном растяжении / Т. А. Макарова, А. И. Мельников, В. А. Соловьев // Новые методы оценки качества текстильных материалов (Труды 8-й Всесоюзной конференции по текстильному материаловедению). Ч. 2. – Ленинград, 1974. – С. 125–127.

2.42. Керимова, Д. А. Разработка метода оценки динамической усталости тканей технического назначения при многоцикловом растяжении / Д. А. Керимова // Новые методы оценки качества текстильных материалов (Труды 8-й Всесоюзной конференции по текстильному материаловедению). Ч. 2. – Ленинград, 1974. – С. 18–21.

2.43. Поздняков, Б. П. Выборочный контроль качества текстильной продукции / Б. П. Поздняков. – М.: Легкая индустрия, 1969. – С. 413.

2.44. Поздняков, Б. П. Методы статистического контроля и исследования текстильных материалов / Б. П. Поздняков. – М.: Легкая индустрия, 1978. – 280 с.

2.45. Горюшина, Л. А. Исследование свойств материалов и систем материалов для верха обуви при двухосном растяжении / Л. А. Горюшина, Л. С. Беляев, Е. Я. Михеева // Исследования, направленные на экономическое исследование ресурсов в обувной промышленности: сб. научн. тр. – М.: ЦНИИлегпром, 1983. – С. 66.

2.46. Макарышева, Т. С. Методика определения формоустойчивости обувных дублированных текстильных материалов на приборе

ПОИК / Т. С. Макарышева // Кожевенно-обувная промышленность. – 1985. – № 9. – С. 21–24.

2.47. Горюшина, Л. А. О методе оценки формоустойчивости материалов и систем материалов в динамических условиях / Л. А. Горюшина [и др.] // Кожевенно-обувная промышленность. – 1985. – № 9. – С. 21–24.

2.48. Полуэктов, В. Д. Исследование возможности применения нетканых полотен различных структур для производства обуви / В. Д. Полуэктов, Я. Н. Лейнов, Г. В. Баштыркова // Исследования в области производства обуви, направленные на интенсификацию технологических процессов и расширение ассортимента: сб. науч. тр. – М.: ЦНИИ-легпром, 1986. – С. 16–20.

2.49. Титова, Э. А. Исследование эксплуатационных свойств новых обувных материалов / Э. А. Титова, Л. Р. Павлова, Е. К. Татарушкин // Труды и берегающие технологии производства обуви и кожи, повышающие надежность изделий: сб. научн. тр. – М.: ЦНИИлегпром, 1987. – С. 87–90.

2.50. Шеремет, Е. А. Устройство для исследования эксплуатационных характеристик верха обуви / Е. А. Шеремет // Актуальные проблемы науки, техники и экономики легкой промышленности: тез. докл. МНТК. – М.: Московский гос. университет дизайна и технологии. – 2000. – С. 265–266.

2.51. Жихарев, А. П. Теоретические основы и экспериментальные методы исследования для оценки качества материалов при силовых, температурных и влажностных воздействиях: монография / А. П. Жихарев. – М.: ИИЦ МГУДТ, 2003. – 327 с.

ГЛАВА 3

ИССЛЕДОВАНИЕ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ОБУВИ

Анализ функционального процесса носки обуви показывает, что растяжение и изгиб являются доминирующими механическими воздействиями, которые испытывают детали верха при ходьбе. Наружные детали верха обуви испытывают различные деформирующие нагрузки; союзка, находящаяся над плюснефаланговым сочленением, подвергается значительным нагрузкам при движении человека [3.1]. При сгибании стопы на материале образуются складки, направленные перпендикулярно продольной линии стопы. Под действием многократного растяжения и изгиба эти складки становятся исчезающими, портят внешний вид обуви и разрушение материала происходит именно здесь. К берцам и голенищам, охватывающим предплюсневую часть стопы, голеностопный сустав и голень, предъявляют менее жесткие требования, т.к. эти детали совершают значительно меньшую работу [3.1]. Таким образом, разработанный метод циклических испытаний служит средством моделирования нагружения верха обуви (союзки) в пучках. Возможность интенсивного нагружения позволяет значительно снизить временные затраты на проведение испытаний.

Циклическая долговечность и циклическая формоустойчивость как важные потребительские показатели отнесены к показателям *сопротивления усталости* (рис. 2.1). Наименование и назначение этих показателей не противоречит стандарту ГОСТ 23207-78 «Сопротивление усталости. Основные термины, определения и обозначения» [3.2]. Исследования свойств сопротивления усталости необходимы на этапе выбора тканей в качестве основного материала верха обуви. Так, значительная величина остаточной деформации деталей верха обуви в процессе носки может оказать влияние не только на потерю формы, но и плохое закрепление обуви на стопе, переход ее в другую полнотную группу. В настоящее время основными критериями подбора ткани при проектировании обуви является внешний вид (фактура, цвет, рисунок) и ограниченный перечень механических показателей ГОСТ 19196: стойкость к истиранию, разрывная нагрузка и разрывное удлинение [3.3]. В распоряжении проектировщиков также должны быть типовые зависимости между величиной циклических характеристик и некоторыми структурными параметрами тканей, легко определяемыми в условиях производства.

3.1 Исследование циклической долговечности тканей

В работах по текстильному материаловедению часто применяется термин «выносливость» в отношении долговечности текстильных материалов при циклических нагружениях. Однако, согласно ГОСТ 23207-78 [3.2], пределом выносливости служит максимальное по абсолютному значению напряжение цикла (деформация), при которой еще не происходит усталостное разрушение. Долговечностью выступает число циклов деформаций, выдержанных объектом до усталостного разрушения [3.4], с чем связано название предложенного показателя качества «циклическая долговечность».

Наибольший вклад в развитие теории выносливости текстильных материалов внесли Г. Н. Кукин, А. Н. Соловьев, М. С. Бородавский, М. П. Носов и другие ученые. На фоне обширного материала о выносливости текстильных материалов, изучению взаимосвязи циклических характеристик и строения полотен посвящены немногочисленные работы, основанные на параллельных исследованиях при многократных растяжениях и изгибах. Так, в работах М. И. Павловой, В. М. Купчиковой, Г. П. Капицы, анализ которых приведен в источнике [3.5], установлены зависимости выносливости от плотности заполнения и вида переплетений тканей при многократных растяжениях; в работе Н. В. Васильчиковой и А. К. Киселева [3.4] – при многократном изгибе. Основные выводы, сделанные в этих работах: лучшие показатели устойчивости к циклической деформации тканей достигаются при заполнении по основе и утку 40–45 %; ткани производных переплетений имеют более низкую выносливость по сравнению с тканями главных переплетений, особенно с полотняным; предельная нагрузка при многократном изгибе значительно ниже, чем при многократном растяжении; при постоянстве заданной амплитуды циклической нагрузки существует различие в механизме разрушения тканей разной плотности.

Циклическая долговечность тканей исследована при варьировании заданной деформации предварительного растяжения от 0,05 до 0,15 % от разрывной нагрузки и угле изгиба 30° и 60° . Испытания при угле изгиба 90° показали избыточность нагрузок и были проведены только в целях планирования эксперимента. Результаты исследований нашли отражение в работах [3.6, 3.7].

Исследовали льняные ткани поверхностной плотности $m_s = 130 \div 395 \text{ г/м}^2$. Результаты исследований приведены в таблицах 3.1 и 3.2. Циклические испытания продолжались до первых признаков разрушения элементарных проб. Обозначение проб включает их порядковый номер из таблицы 2.1 и ориентацию продольного среза пробы относительно одной из систем нитей ткани. Объекты исследования, при-

веденные в таблицах 3.1 и 3.2, подобраны по принципу подобия сырьевого состава (лен 100 %) для установления связи между структурой тканей и циклическими характеристиками в области малых деформаций.

Таблица 3.1 – Результаты исследования циклической долговечности льняных тканей при угле изгиба 30^0

Наименование ткани ($m_s, \text{г/м}^2$)	Обозначение элементарных проб	Циклическая долговечность N_j , циклов ($\cdot 10^3$) при величине предварительной нагрузки k_H					
		0	0,05	0,1	%	0,15	%
1	2	3	4	5	6	7	8
Ткань сорочечная (130)	8 T_0	47,20	46,17	41,99	9,9	36,04	21,5
	8 T_y	38,10	38,09	35,70	6,3	29,06	23,7
Ткань костюмная (240)	9 T_0	40,01	39,19	36,81	6,1	31,05	20,8
	9 T_y	38,90	37,87	34,90	7,7	28,70	24,2
Ткань костюмная (244)	10 T_0	26,60	24,60	22,11	10,2	18,23	25,9
	10 T_y	25,0	23,50	20,68	12,0	17,04	27,5
Ткань сорочечная (250)	7 T_0	54,90	54,20	49,05	5,1	38,60	28,8
	7 T_y	53,40	50,98	46,71	8,4	35,61	30,2
Ткань костюмная (290)	5 T_0	50,0	49,06	45,17	7,9	32,80	33,1 4
	5 T_y	36,7	35,03	32,601	6,9	21,45	38,8
Ткань костюмная (395)	6 T_0	15,5	14,71	12,40	15,7	8,34	43,3
	6 T_y	11,2	9,13	6,86	24,9	3,91	57,2
Среднее значение, %					10,1		31,3

Испытание материалов сопровождается сложным напряженным состоянием проб, вызванным комбинированным воздействием растяжения и изгиба. Результаты исследований подтверждают вывод о большем вкладе циклического деформирования знакопеременным симметричным изгибом в накопление усталости и увеличение интенсивности снижения долговечности. Так, увеличение заданной амплитуды циклической деформации в диапазоне от 5 до 15 % от F_p приводит к снижению

N_j в среднем на 31,4 %. Увеличение интенсивности испытаний с изменением угла изгиба с 30° до 60° приводит к снижению N_j в среднем на 45,7 %. Можно отметить более интенсивный износ образцов, выкроенных в поперечном направлении, что выражается снижением N_j по отношению к аналогичным пробам продольного направления.

Таблица 3.2 – Результаты исследования циклической долговечности льняных тканей при угле изгиба 60°

Наименование ткани (m_s , г/м ²)	Обозначение элементарных проб	Циклическая долговечность N_j , циклов ($\cdot 10^3$) при величине предварительной нагрузки k_H					
		0	0,05	0,1	%	0,15	%
1	2	3	4	5	6	7	8
Ткань сорочечная (130)	8 _{T0}	44,2	37,99	30,11	20,7	18,18	27,9
	8 _{Ty}	36,1	31,06	22,39	27,9	13,60	56,2
Ткань костюмная (240)	9 _{T0}	38,0	34,87	28,04	26,0	18,04	48,3
	9 _{Ty}	35,9	32,0	24,04	24,9	15,27	47,8
Ткань костюмная (244)	10 _{T0}	24,9	22,54	17,60	21,9	13,09	41,9
	10 _{Ty}	19,22	18,32	15,67	14,5	10,70	44,6
Ткань сорочечная (250)	7 _{T0}	51,9	48,06	41,76	13,1	30,44	36,7
	7 _{Ty}	49,65	44,98	34,34	23,7	22,55	49,9
Ткань костюмная (290)	5 _{T0}	42,9	39,42	32,34	18,0	24,35	38,2
	5 _{Ty}	34,70	31,09	24,08	22,5	17,09	45,0
Ткань костюмная (395)	6 _{T0}	14,81	12,9	9,95	22,9	6,9	46,5
	6 _{Ty}	8,01	6,39	4,08	36,2	1,68	73,7
Среднее значение, %					22,9		46,1

Примечание: приведено уменьшение значений N_j по отношению к циклической долговечности при $k_H = 0,05$.

По принципу подобия сырьевого состава подобрана и вторая группа тканей, сырьевой состав которой включает натуральные и химические волокна, поверхностной плотности $m_s = 189 \div 414$ г/м². Результаты эксперимента содержат таблицы 3.3 и 3.4.

Результаты исследования циклической долговечности смесовых тканей также показывают, что деформация многократного изгиба играет существенную роль в накоплении усталости, однако химический состав сырья влияет на значения исследуемого показателя. Увеличение величины растягивающей нагрузки в диапазоне от 5 до 15 % от F_p приводит к снижению N_j в среднем на 13,7 %. Увеличение интенсивности испытаний с изменением угла изгиба с 30° до 60° приводит к снижению N_j в среднем на 21,5 %, что значительно ниже, чем в группе льняных тканей.

Таблица 3.3 – Результаты исследования циклической долговечности смесовых тканей при угле изгиба 30°

Наименование ткани (m_s , г/м ²)	Обозначение элементарных проб	Циклическая долговечность N_j , циклов ($\cdot 10^3$) при величине предварительной нагрузки k_H					
		0	0,05	0,1	%	0,15	%
1	2	3	4	5	6	7	8
Ткань плащевая «Грета» (189)	14T ₀	80,05	79,14	74,93	5,4	70,04	11,5
	14T _y	74,0	72,7	67,89	6,6	60,11	17,3
Ткань плащевая «Горизонт» (210)	16T ₀	81,06	80,03	76,01	5,0	71,09	11,2
	16T _y	79,5	78,76	73,61	6,5	67,88	13,8
Ткань плащевая (254)	12T ₀	83,76	82,17	78,86	4,1	74,83	8,9
	12T _y	81,96	80,72	76,88	6,4	70,91	12,2
Ткань плащевая (259)	15T ₀	78,90	77,99	73,24	6,1	67,07	14,0
	15T _y	77,04	74,87	70,51	5,8	61,48	17,9
Ткань плащевая (414)	13T ₀	85,4	84,34	80,51	4,5	75,58	10,4
	13T _y	82,9	81,12	77,07	4,9	70,06	13,6
Среднее значение, %					5,5		13,1

Статистическая обработка результатов усталостных испытаний, осуществленная на основании гипотезы нормального закона распределения, позволила установить, что сырьевой состав оказывает влияние на циклическую долговечность исследуемых тканей, увеличивая вероятность разрушения проб из натурального сырья без добавления химических волокон (нитей). Процентное увеличение сырья химического про-

исхождения практически не сказывается на форме усталостных кривых, но приводит к монотонному увеличению циклической долговечности.

Очевидно влияние химического сырья в составе тканей на увеличение количества циклов до первых признаков разрушения. Так, в группе льняных тканей циклическая долговечность в среднем на 40 % ниже, чем в группе смесовых тканей, в составе которых более 30 % химических волокон (ПП, ПЭ, ПАН).

Таблица 3.4 – Результаты исследования циклической долговечности смесовых тканей при угле изгиба 60^0

Наименование ткани ($m_s, \text{г/м}^2$)	Обозначение элементарных проб	Циклическая долговечность N_j , циклов ($\cdot 10^3$) при величине предварительной нагрузки k_H					
		0	0,05	0,1	%	0,15	%
1	2	3	4	5	6	7	8
Ткань плащевая «Грета» (189)	14 T_0	75,12	68,05	56,88	16,4	45,38	33,3
	14 T_y	68,43	61,99	49,77	19,7	38,07	38,6
Ткань плащевая «Горизонт» (210)	16 T_0	77,9	71,18	62,02	12,9	51,04	28,3
	16 T_y	75,6	70,03	59,11	15,6	47,45	32,2
Ткань плащевая (254)	12 T_0	82,06	76,5	68,2	11,1	59,02	22,9
	12 T_y	79,96	73,4	64,86	11,6	56,24	23,4
Ткань плащевая (259)	15 T_0	70,9	66,12	56,13	15,1	42,64	35,5
	15 T_y	69,87	63,91	53,55	16,2	40,18	37,1
Ткань плащевая (414)	13 T_0	81,65	77,84	70,05	10,0	61,18	21,4
	13 T_y	80,99	75,21	67,56	10,2	59,18	21,3
Среднее значение, %					13,9		29,4

На рисунках 3.1–3.4 представлены графики зависимости циклической долговечности от величины предварительной нагрузки, вызывающей растяжение проб.

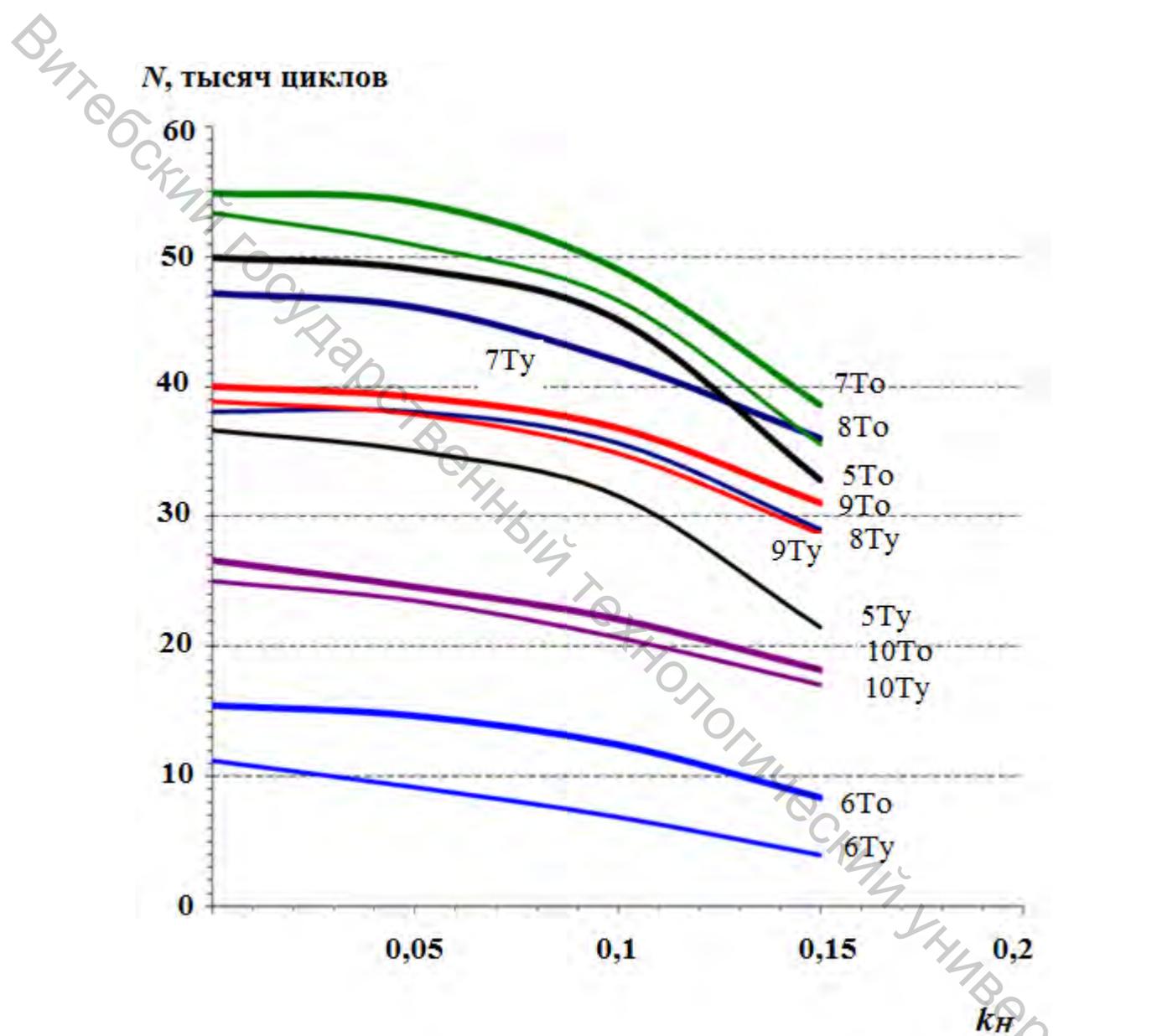


Рисунок 3.1 – Зависимости, связывающие величину циклической долговечности льняных тканей с величиной предварительной нагрузки (при угле изгиба 30°)

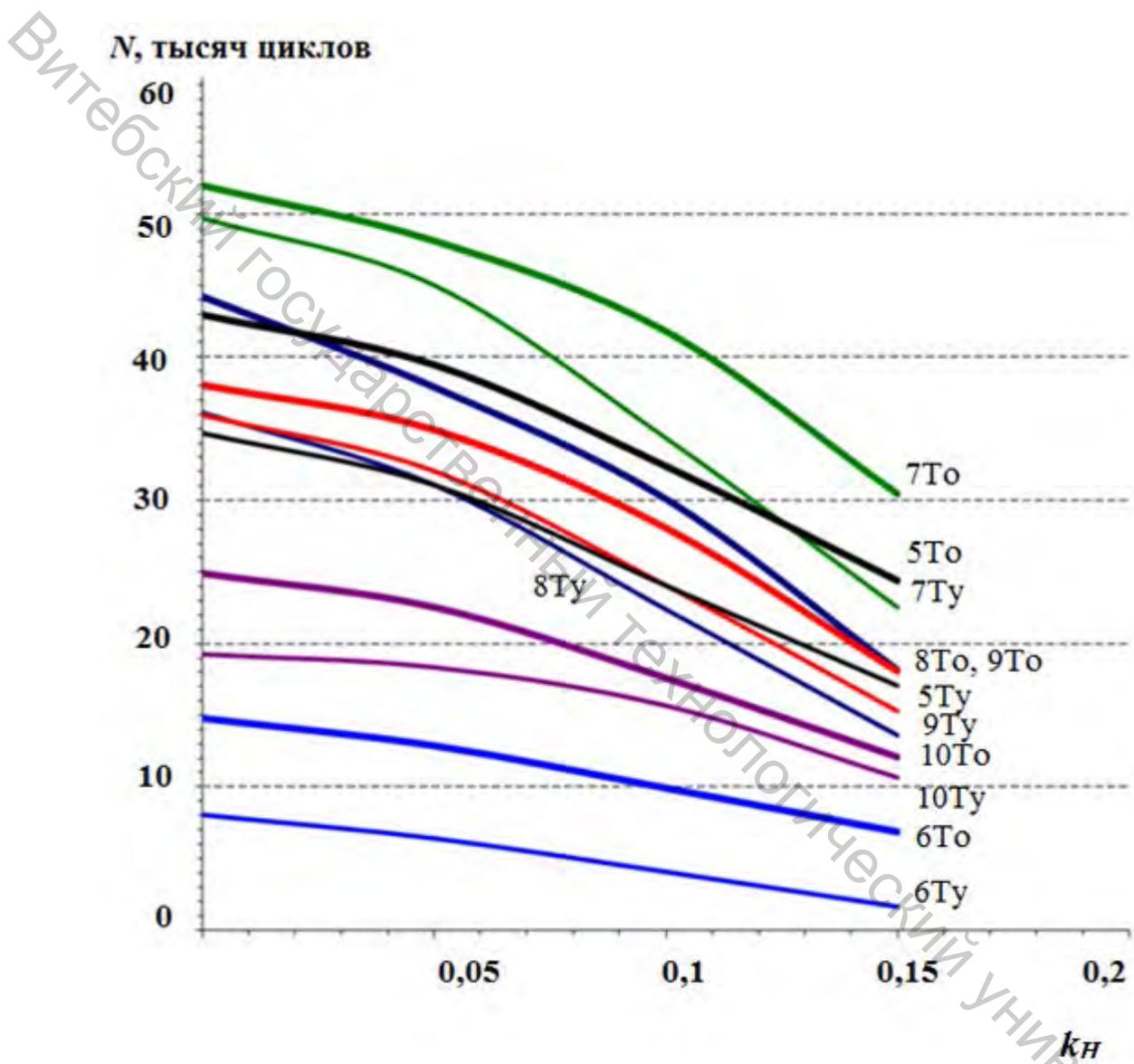


Рисунок 3.2 – Зависимости, связывающие величину циклической долговечности льняных тканей с величиной предварительной нагрузки (при угле изгиба 60°)

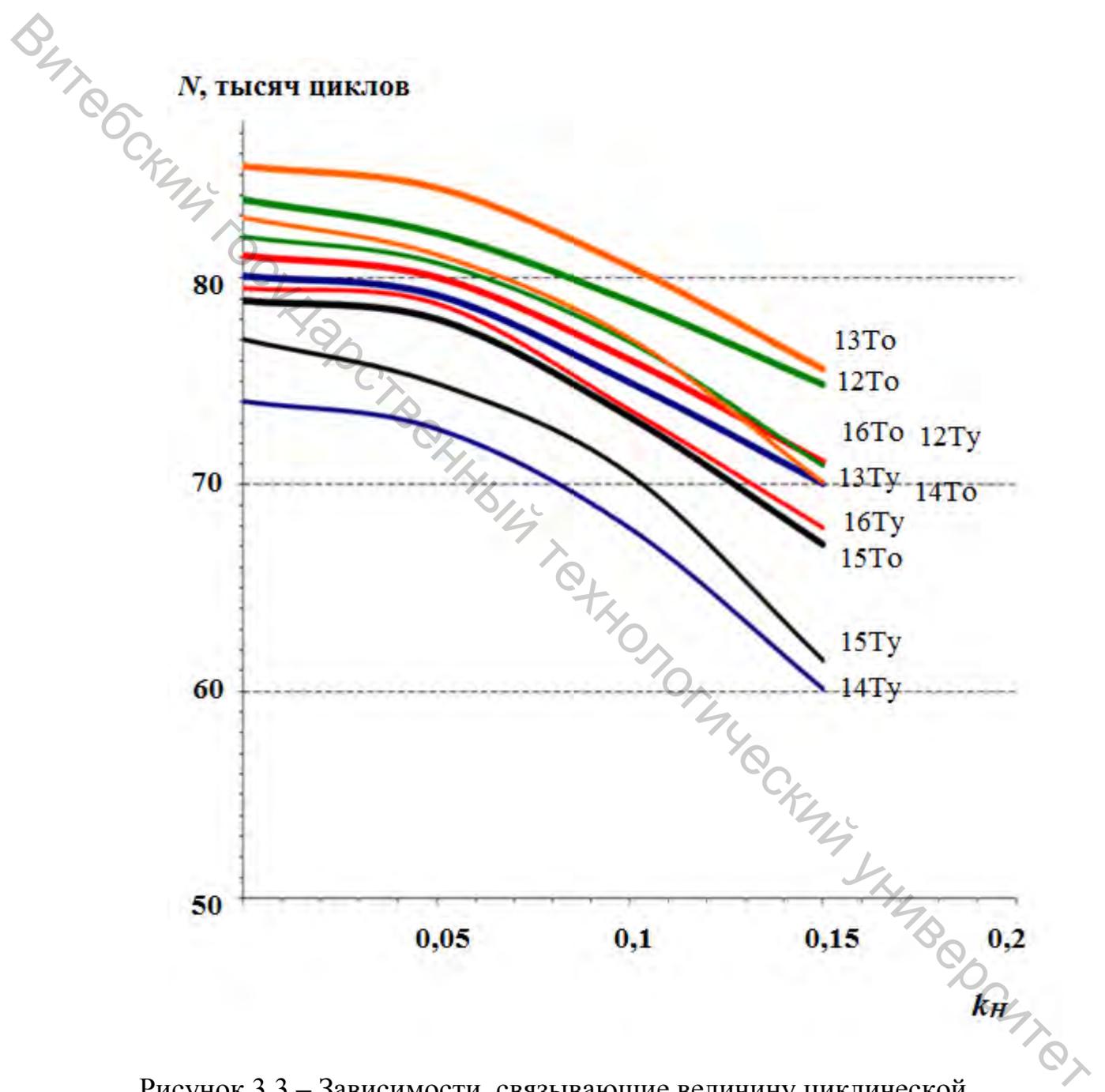


Рисунок 3.3 – Зависимости, связывающие величину циклической долговечности смесовых тканей с величиной предварительной нагрузки (при угле изгиба 30^0)

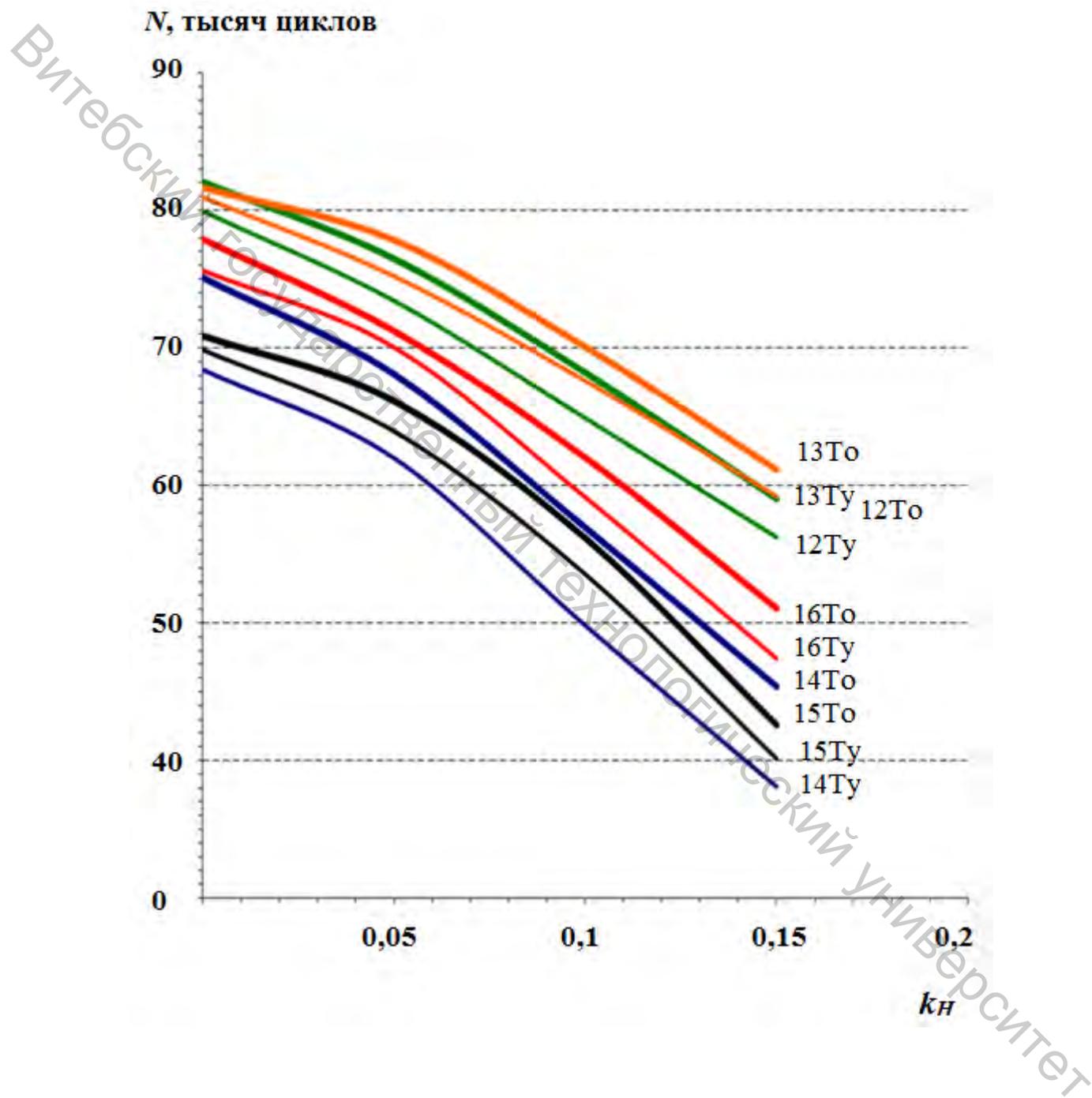


Рисунок 3.4 – Зависимости, связывающие величину циклической долговечности смесовых тканей с величиной предварительной нагрузки (при угле изгиба 60°)

Наблюдается отсутствие взаимосвязи между m_s и N_j . Так, в группе льняных тканей (рис. 3.1 и 3.2) самое низкое значение циклической долговечности у пробы 6т, имеющей наибольшую из исследуемых тканей поверхностную плотность (395 г/м^2); в группе смесовых тканей (рис. 3.3 и 3.4) – низкое значение N_j у пробы 14т, имеющей относительно других меньшую поверхностную плотность (189 г/м^2).

Можно отметить увеличение интенсивности снижения долговечности с увеличением предварительного растяжения k_n у всех тканей. Увеличение угла изгиба более ощутимо влияет на протекание процесса накопления усталости, значительно интенсифицируя падение циклической долговечности материалов. Результаты исследования циклической долговечности тканей позволяют сделать вывод о большем вкладе накопеременного симметричного изгиба в накопление усталости по отношению к растяжению. Так, увеличение заданной амплитуды циклической деформации в диапазоне от 5 до 15 % от разрывной нагрузки приводит к снижению циклической долговечности в группе льняных тканей на 22,2 %, в группе смесовых тканей на 7,8 %; *в среднем на 15,0 %*. Увеличение интенсивности испытаний с изменением угла изгиба с 30° до 60° приводит к снижению данного показателя в группе льняных тканей на 27,7 %, в группе смесовых тканей на 15,5 %; *в среднем на 21,6 %*. Установлено, что более интенсивный износ наблюдается у проб, выкроенных в поперечном направлении, что выражается снижением значений циклической долговечности этих проб по отношению к пробам продольного направления той же ткани. Так, у тканей 5т, 6т, 8т, 14т, 15т наблюдается значительное различие в накоплении усталости в направлении основы и утка, что сказывается на величине N_j .

Все вышеперечисленное позволило предположить отсутствие значимых различий в физической структуре процесса накопления усталости тканями различного сырьевого состава и строения, для подтверждения чего был проведен дополнительный анализ результатов исследования.

Лабораторные испытания показали, что при циклическом нагружении признаки внешнего износа в меньшей степени наблюдаются у тканей, обладающих равномерностью значений плотности ткани и линейной плотности нитей в продольном и поперечном направлениях. Для установления связи между структурой тканей и показателем циклической долговечности введен коэффициент анизотропии тканей $K_{анз}$, рассчитываемый по формуле

$$K_{анз} = \frac{P_o \cdot T_o}{P_y \cdot T_y}, \quad (3.1)$$

где P_o – плотность ткани по основе, количество нитей на 100 мм; P_y – плотность ткани по утку, количество нитей на 100 мм; T_o – линейная плотность нитей основы, текс; T_y – линейная плотность нитей утка, текс.

Коэффициент анизотропии представляет собой отношение характеристик продольного и поперечного направления ткани, поэтому показатель долговечности точечной пробы N_j на основании известных рекомендаций [3.8] рассчитан с помощью среднего геометрического величин N_i элементарных проб двух направлений. Результаты расчета представлены графически в виде диаграммы рассеивания на рисунке 3.5 и аналитически в таблице 3.5.

Таблица 3.5 – Взаимосвязь циклической долговечности и коэффициента анизотропии тканей

Обозначение элементарных проб	$\overline{N_i}(\cdot 10^3)$	$\overline{N_j}(\cdot 10^3)$	$K_{анз}$
5T _o	49,06	41,46	1,143
5T _y	35,03		
6T _o	21,62	14,05	1,556
6T _y	9,13		
7T _o	54,2	52,57	1,148
7T _y	50,98		
8T _o	46,17	41,94	1,153
8T _y	38,09		
9T _o	39,19	38,52	1,167
9T _y	37,87		
10T _o	24,6	24,04	1,370
10T _y	23,5		
12T _o	84,17	82,94	1,087
12T _y	81,72		
13T _o	84,34	82,71	1,045
13T _y	81,12		
14T _o	81,14	76,8	1,066
14T _y	72,7		
15T _o	79,99	77,39	1,014
15T _y	74,87		
16T _o	80,03	79,76	1,075
16T _y	79,5		

Анализ диаграммы позволяет судить о взаимосвязи $K_{анз}$ тканей и циклической долговечности. В группу I на диаграмме входят ткани с $K_{анз} = 1,045 \div 1,130$, то есть со значениями, наиболее близкими к 1. В

группу II – ткани с $K_{анз} = 1,143 \div 1,167$; и в группу III со значениями $K_{анз}$, значительно удаленными от 1. Наличие в тканях химических волокон и нитей, безусловно, повышает значение N_j , однако диаграмма иллюстрирует различие в поведении материалов и в рамках одного сырьевого состава. Так, в группу II и III входят только чистольняные ткани, однако, у ткани 7т при $K_{анз} = 1,148$ значение $N_7 = 52,57 \cdot 10^3$ циклов, а у ткани 6т при $K_{анз} = 1,556$ значение $N_6 = 14,05 \cdot 10^3$ циклов.

Суждение о существовании корреляции между этими переменными подтверждено проведением корреляционного анализа. Выявлена отрицательная корреляция (с ростом x у уменьшается); коэффициент корреляции $r = -0,83$ свидетельствует о значительной степени взаимосвязи переменных.

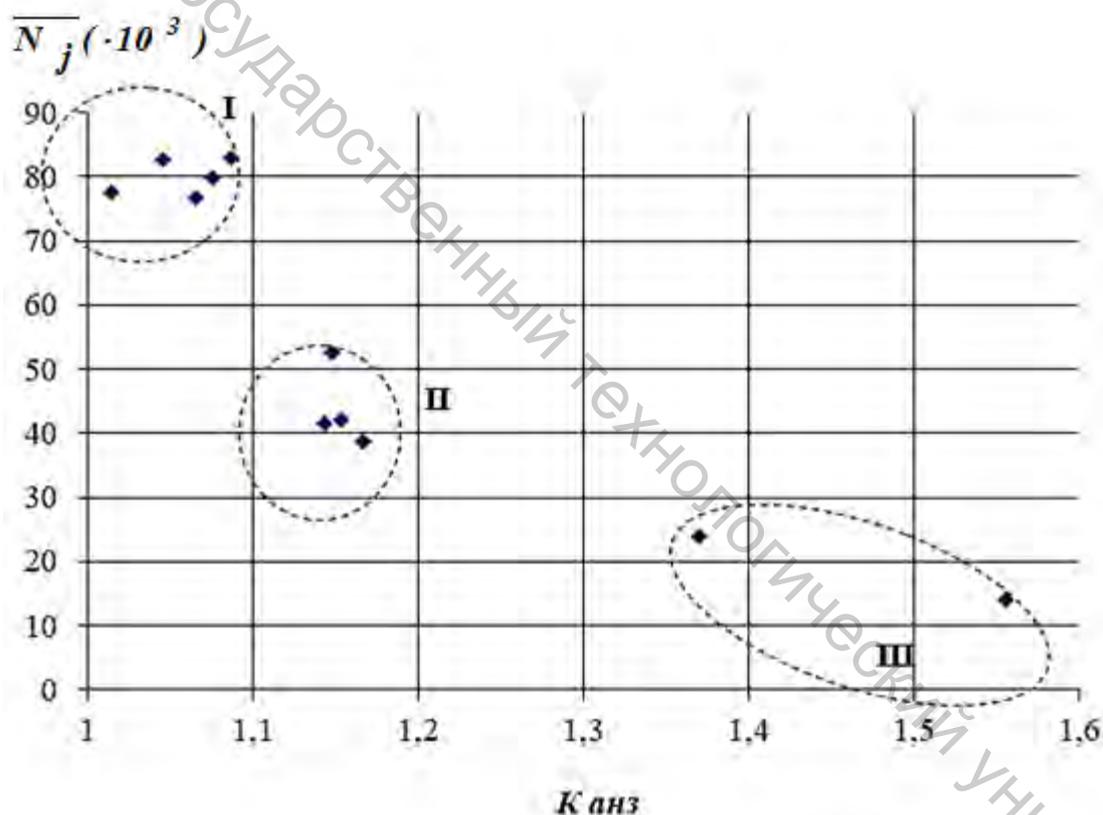


Рисунок 3.5 – Диаграмма рассеивания значений циклической долговечности и коэффициента анизотропии тканей:
 I – хлопок + ПЭ: ткани 12т, 13т, 14т, 15т, 16т; II – лен : ткани 5т, 7т, 8т,9т;
 III – лен : ткани 6т,10т

Критерием оценки $K_{анз}$ выбраны стандартные оценки шкалы желательности [3.9] $0,8 \div 1,0$, соответствующие градации качества «отлично». Учитывая тот факт, что значение $K_{анз}$ может быть как меньше, так и больше единицы, критерием оценки данного коэффициента служит диапазон $0,8 \div 1,2$.

Представляет интерес изучение характера изменения циклической долговечности от величины предварительной нагрузки, которое прослеживается на графиках рисунков 3.1–3.4. Однако непосредственное сравнение \overline{N}_i затрудняется различиями в абсолютных значениях данного показателя. Для устранения влияния этих различий на возможность сравнения тканей в работе использован прием перехода к относительным значениям. Сущность его состоит в следующем. Абсолютные значения \overline{N}_i , полученные при $k_H = 0,15$ и $k_H = 0,1$ делятся на значение \overline{N}_i при $\min k_H$. В результате получаем преобразованный график, в котором значения \overline{N}_i при $k_H = 0,05$ будет всегда равно 1. Этот график можно назвать *приведенным*, так как все ординаты приводятся к первой. Такой график уже не отражает влияние абсолютных значений \overline{N}_i , он отражает лишь относительное изменение этого показателя. Это дает возможность сравнивать \overline{N}_i различных тканей, учитывая *характер изменения* этого показателя в зависимости от условий испытаний. Описанный прием позволяет семейство кривых на рисунках 3.1–3.4 преобразовать в пучок. С другой стороны, использование приведенных кривых дает основание рассматривать все возможные материалы, полученные одним технологическим способом как конкретизации одного объекта. Например, все ткани можно рассматривать как конкретизации материала, полученного в процессе ткачества. С таких позиций пучок полученных кривых можно рассматривать как *паттерн*, т.е. узор состояния объекта [3.10]. Таким образом, совокупность кривых представляет собой набор состояний исследуемых тканей как системы, в которой каждая кривая характеризует элемент этой системы, а пучок (паттерн) характеризует систему в целом.

Пучок приведенных кривых на рисунках 3.6–3.9 наглядно отображает различия в поведении исследуемых тканей в одинаковых режимах испытаний. Очевидно, что, если бы все ткани вели бы себя одинаковым образом, то есть не различались бы по показателю \overline{N}_i , то пучок приведенных кривых был бы представлен единственной кривой. Чем больше площадь, занимаемая пучком, тем больше степень различий между динамикой свойств тканей после циклических испытаний.

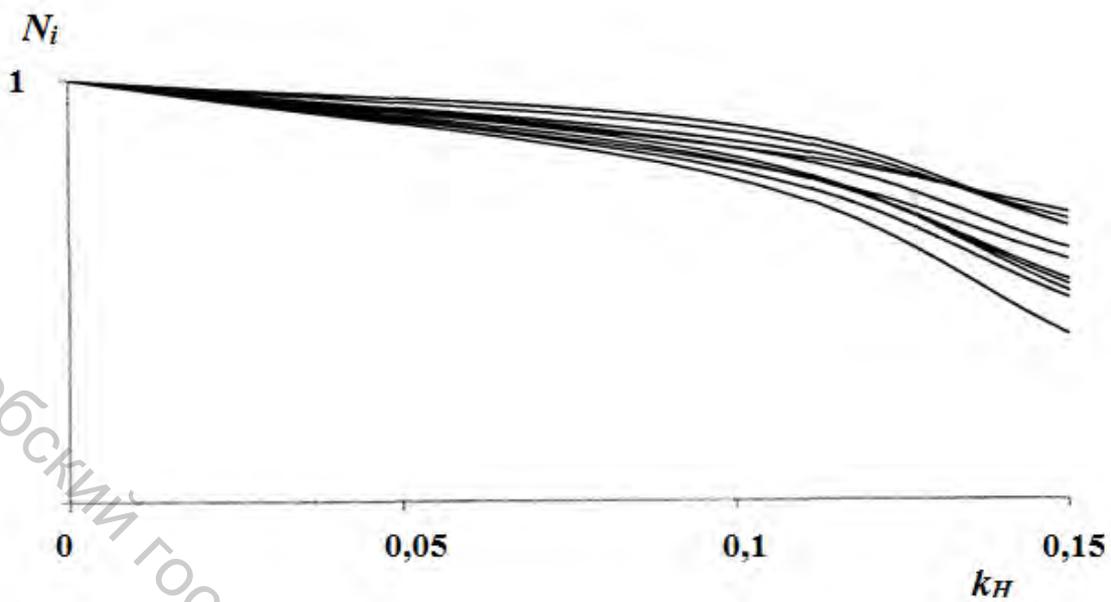


Рисунок 3.6 – Паттерн поведения льняных тканей (угол 30°)

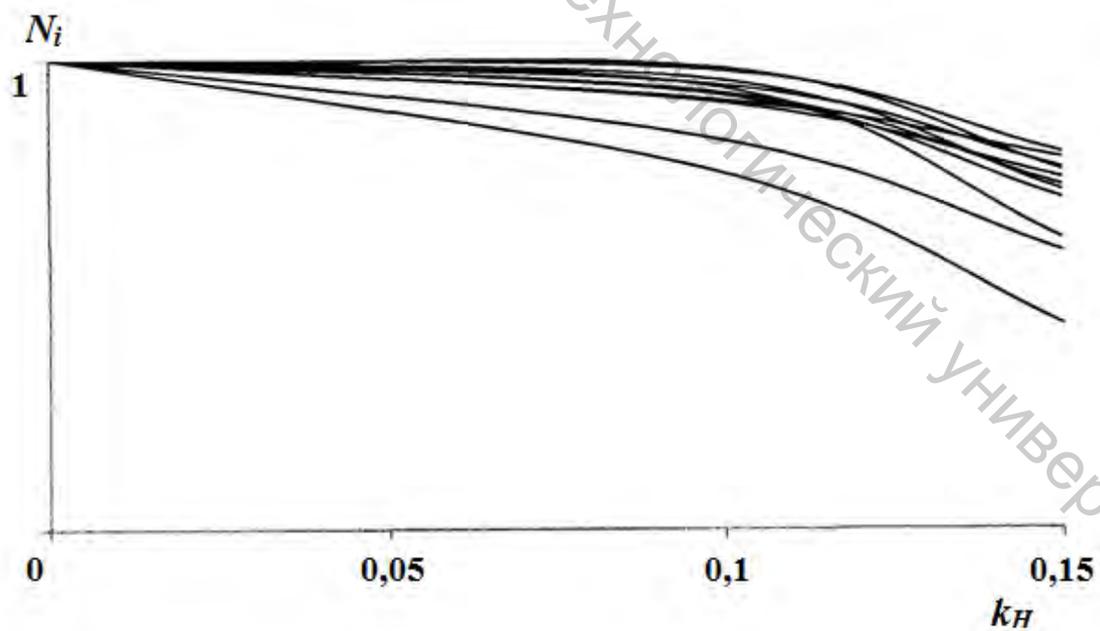


Рисунок 3.7 – Паттерн поведения льняных тканей (угол 60°)

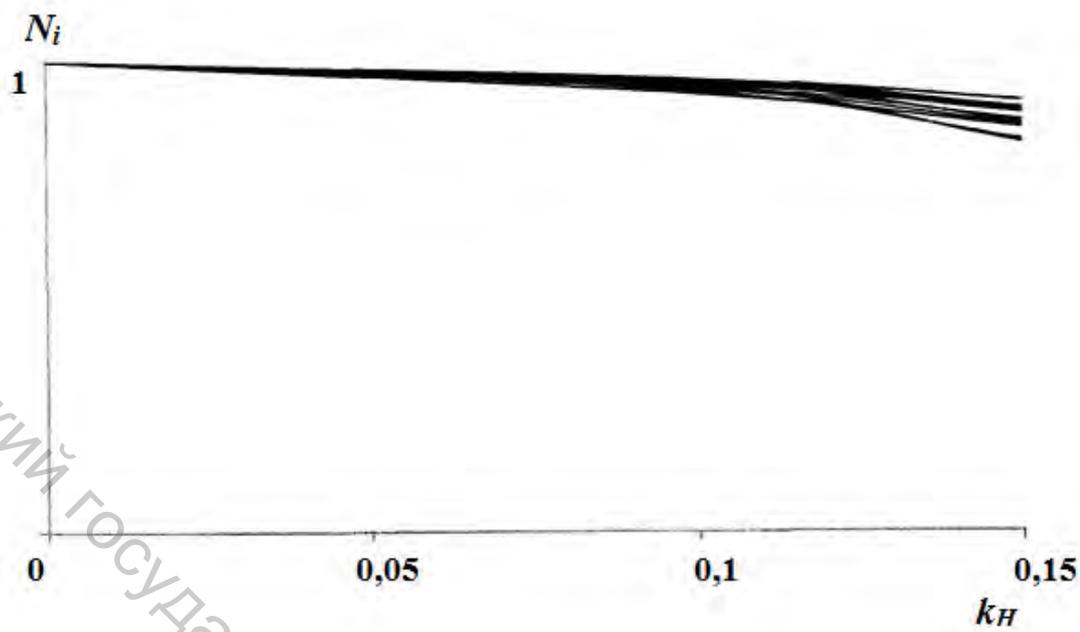


Рисунок 3.8 – Паттерн поведения смесовых тканей (угол 30°)

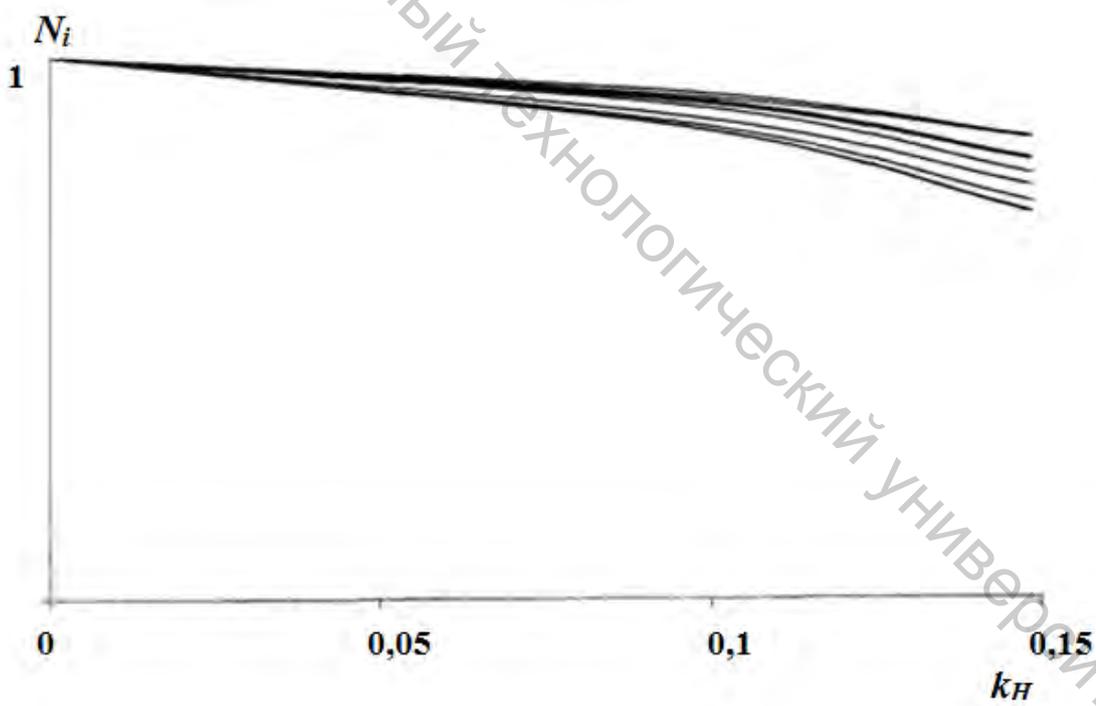


Рисунок 3.9 – Паттерн поведения смесовых тканей (угол 60°)

3.2 Исследование циклической формоустойчивости тканей

В разделе 2.5 описан алгоритм определения величины циклической формоустойчивости на основании величин осевых остаточных деформаций материалов. Существенным отличием методики определения данного показателя от ранее разработанных методик, содержащихся в работах [3.11–3.14], является учет последствий циклических комбинированных воздействий на материал. Для использования нового метода испытания как экспрессного необходимо оперативное определение расчетных параметров, что в современных условиях невозможно без информационных технологий [3.7].

После циклических испытаний элементарную пробу снимают с цилиндрического устройства, удаляют соединительную строчку и через установленный период сканируют изображение разметки. Определение осевых удлинений, осевых перекосов и отклонений угла между продольным и поперечным направлениями элементарных проб предложено выполнять с использованием программного средства – чертежно-графического редактора системы трехмерного твердотельного моделирования КОМПАС-3D. На рисунке 3.10 приведен пример автоматической обработки цифрового изображения разметок элементарной пробы: до и после испытаний. Высокая точность программного средства позволяет выявить даже незначительные отклонения при нанесении разметки на элементарную пробу и получать объективные результаты изменения линейных размеров проб после циклических испытаний.

Обоснование точности преобразования измеряемой величины в цифровой сигнал проведено путем метрологической аттестации измерительной установки для определения величины деформации материалов.

Измерительной установкой в соответствии с международным метрологическим словарем [3.15] может быть признана «совокупность функционально объединенных мер, измерительных приборов, измерительных преобразователей и других устройств, предназначенных для измерения ... физических величин, расположенная в одном месте». Измерительной установкой в данном случае служит совокупность следующих устройств: в качестве *приемного устройства* – сканер, обеспечивающий регистрацию первичного информативного параметра оптического излучения, после его взаимодействия с объектом контроля; в качестве *измерительного преобразователя* – программное средство (КОМПАС-3D) и персональный компьютер. Сканер представляет собой оптическую систему, состоящую из осветительных, оптических и регистрирующих устройств и в соответствии с ГОСТ 24521-80 [3.16] является *прибором оптического неразрушающего контроля*.

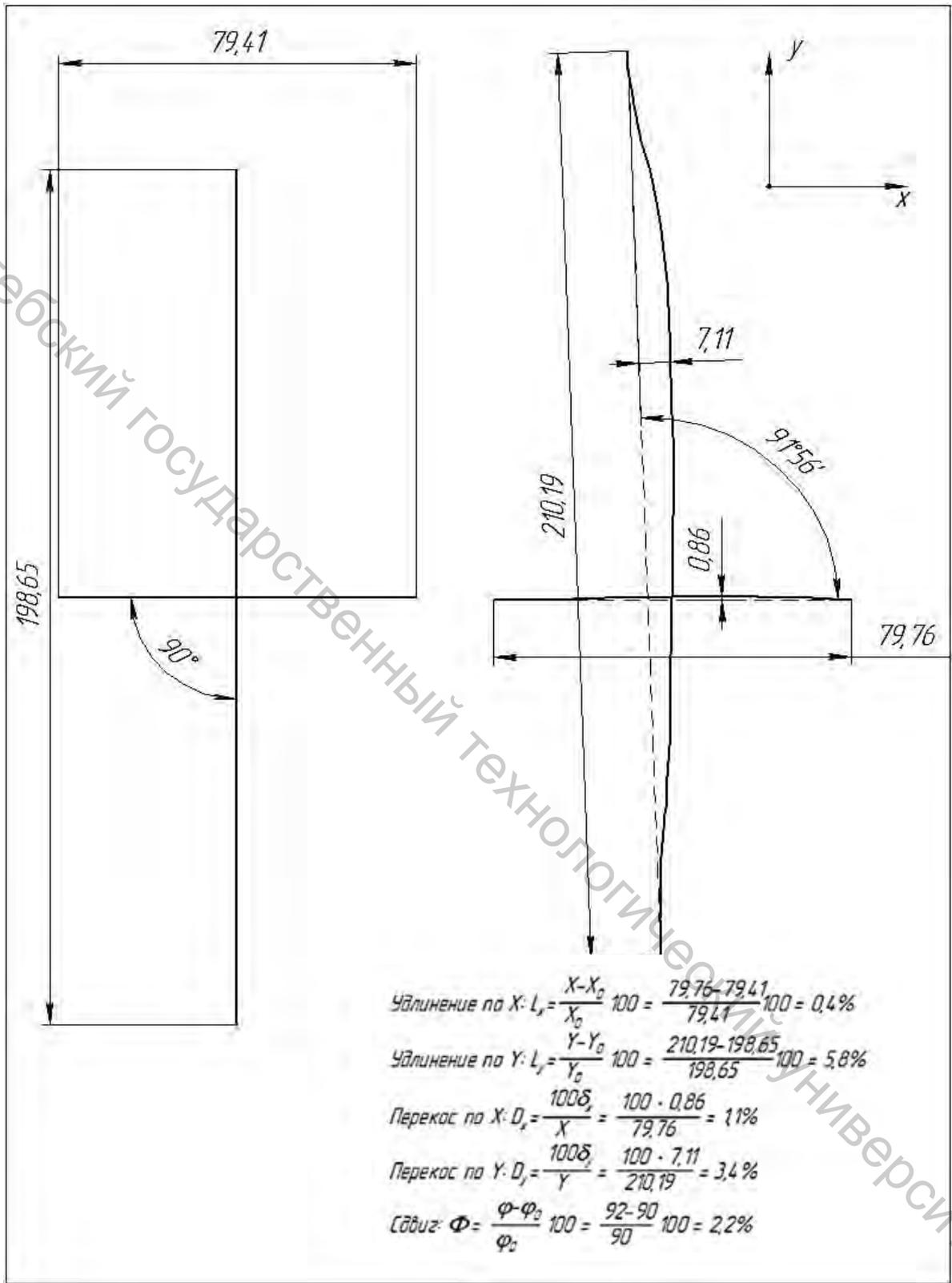


Рисунок 3.10 – Пример автоматической обработки цифрового изображения разметки элементарной пробы ткани

Измерительным преобразователем может служить техническое средство с нормативными метрологическими характеристиками, слу-

жащее для преобразования измеряемой величины в другую величину или измерительный сигнал, удобный для обработки, хранения, дальнейших преобразований, индикации или передачи [3.15]. Чертежно-графический редактор КОМПАС-3D является таким средством, т.к. позволяет осуществлять проектирование объектов с заданными параметрами в установленном масштабе.

Объектами исследования циклической формоустойчивости выступали ткани, отличающиеся сырьевым составом, поверхностной плотностью, переплетением. План проведения испытаний: $k_H = 0,1$, $n = 10^4$ циклов. На основании полученных средних значений произведен расчет циклической формоустойчивости элементарных проб – $\bar{E}_{\text{ци}}$ по формуле (2.25) и точечных проб – $\bar{E}_{\text{цj}}$ как среднее геометрическое из значений циклической формоустойчивости проб двух направлений. Полученные результаты представлены в таблице 3.6 и на рисунке 3.11.

Таблица 3.6 – Результаты экспериментальной оценки циклической формоустойчивости тканей

Обозначение элементарной пробы	\bar{L}_i , %	\bar{D}_i , %	\bar{S}_i , %	$\bar{E}_{\text{ци}}$, %	Обозначение точечной пробы	$\bar{E}_{\text{цj}}$, %
10T _o	4,31	1,66	2,77	5,25	10T	6,32
10T _y	2,91	1,20	1,57	3,52		
6T _o	4,41	2,05	2,71	5,57	6T	7,35
6T _y	3,37	2,16	2,63	4,79		
11T _o	2,45	0,38	0,27	2,49	11T	3,36
11T _y	2,15	0,55	0,37	2,25		
2T _o	2,40	1,02	0,48	2,65	2T	3,96
2T _y	2,58	0,97	1,01	2,94		
3T _o	0,77	0,7	4,4	4,52	3T	4,87
3T _y	1,6	0,73	0,4	1,80		
1T _o	0,5	0,62	0,95	1,24	1T	1,73
1T _y	0,54	0,77	0,77	1,21		
15T _o	1,95	1,16	2,53	3,40	15T	4,29
15T _y	0,36	1,07	2,36	2,62		
12T _o	0,99	2,34	3,38	4,23	12T	4,48
12T _y	1,15	0,66	0,61	1,46		
17T _o	2,03	1,39	2,14	3,26	17T	5,63
17T _y	4,28	1,20	1,16	4,60		
19T _o	1,59	1,15	1,6	2,53	19T	5,33
19T _y	4,32	1,22	1,34	4,69		

Результаты обработки цифровых изображений разметки элементарных проб показали, что такой подход обеспечивает выявление даже незначительных осевых деформаций, а объединение параметров \bar{L}_i , \bar{D}_i и \bar{g}_i в показатель \bar{E}_{ij} позволяет с высокой объективностью провести сравнительный анализ объектов по данному показателю. Наибольшие изменения линейных размеров после испытаний наблюдаются у тканей, в состав которых входит лен, хлопок без добавления химических нитей, а также у тканей, в составе которых более 50 % шерсти. На значения \bar{E}_{ij} переплетения тканей (полотняное, саржевое, рогожка, комбинированное) не оказывают существенной роли. Сравнительно лучшей циклической формоустойчивостью обладают ткани из (с содержанием) сырья химического происхождения.



- Пробы тканей из натуральных волокон
- ▨ Пробы тканей с содержанием химических волокон

Рисунок 3.11 – Результаты определения циклической формоустойчивости тканей для верха обуви

Для исследования зависимости $f(\bar{E}_{ij}, N)$ проведены лабораторные испытания, в которых участвовали пробы тканей, обладающие различным сырьевым составом и величиной циклической формоустойчивости после 10^4 циклов нагружения – 1т (ПЭ 100 %), 11т (шерсть 75

%, ПАН 15 %), 15т (х/б 67 %, ПЭ 33 %), 17т (лен 53 %, х/б 47 %). В связи со значительной длительностью эксперимента провести испытания всех исследуемых тканей сложно, поэтому для исследования зависимости, связывающей величину циклической формоустойчивости и количество циклов нагружений, испытания проведены следующим образом. План эксперимента: $k_H = 0,1$, $n_1 = 0,25 \cdot 10^4$ циклов, $n_2 = 0,5 \cdot 10^4$ циклов, $n_3 = 0,75 \cdot 10^4$ циклов, $n_4 = 10^4$ циклов, $n_5 = 2 \cdot 10^4$ циклов. Элементарные пробы после испытаний при n_1 сканировали, измеряли осевые деформации и подвергали циклическому деформированию до n_2 . Затем пробы снова сканировали, по разработанной методике рассчитывали \overline{E}_{uj} и снова продолжались испытания до n_3 циклов. Исследования циклической формоустойчивости при $n_1 \div n_4$ проведены с целью изучения темпа нарастания \overline{E}_{uj} . В таблице 3.7 приведены результаты исследования циклической формоустойчивости.

Таблица 3.7 – Результаты экспериментальной оценки циклической формоустойчивости при различном количестве циклов нагружений

Обозначение элементарных проб	Циклическая формоустойчивость \overline{E}_{uj} , % при				
	$n_1=0,25 \cdot 10^4$ циклов	$n_2=0,5 \cdot 10^4$ циклов	$n_3=0,75 \cdot 10^4$ циклов	$n_4=10^4$ циклов	$n_5=2 \cdot 10^4$ циклов
1т	$\frac{0,57}{28,1}$	$\frac{1,13}{55,7}$	$\frac{1,6}{78,8}$	$\frac{1,73}{82,5}$	$\frac{2,03}{100}$
11т	$\frac{1,93}{32,2}$	$\frac{2,13}{41,0}$	$\frac{3,09}{59,5}$	$\frac{3,36}{64,7}$	$\frac{5,19}{100}$
6т	$\frac{4,11}{51,4}$	$\frac{4,98}{62,3}$	$\frac{6,67}{84,5}$	$\frac{7,35}{91,9}$	$\frac{7,99}{100}$
15т	$\frac{1,14}{20,1}$	$\frac{3,15}{55,7}$	$\frac{3,94}{69,6}$	$\frac{4,29}{75,8}$	$\frac{5,66}{100}$
17т	$\frac{2,22}{31,6}$	$\frac{3,91}{55,7}$	$\frac{5,17}{73,7}$	$\frac{5,63}{80,2}$	$\frac{7,02}{100}$
1н	$\frac{0,69}{32,1}$	$\frac{1,19}{55,3}$	$\frac{1,76}{81,9}$	$\frac{1,88}{87,4}$	$\frac{2,15}{100}$

Примечание: в знаменателе указана доля циклической формоустойчивости в %, за 100 % принято \overline{E}_{uj} при $n_5 = 2 \cdot 10^4$ циклов.

Очевидна общая тенденция всех тканей постепенно накапливать остаточные деформации при циклическом деформировании [3.17]. При этом наблюдается значительная разница в скорости накопления необратимых изменений линейных размеров проб: после $0,25 \cdot 10^4$ циклов у пробы 6т (лен – 100 %) – 51,4 %, у пробы 1т (ПЭ – 100 %) – 28,1 %, у пробы 1н (х/б – 50 %, лен – 20 %, ПП – 30 %) – 32,1 %. Скорость накоп-

ления необратимых деформаций характеризует *интенсивность* данного процесса. Анализ данных таблицы 3.7 показывает, что в остальных контрольных точках (n_2 , n_3 , n_4) интенсивность процессов накопления необратимых деформаций разная, что говорит о различном проявлении свойств сопротивления усталости исследуемых тканей.

На рисунке 3.12 представлены графические зависимости циклической формоустойчивости от числа циклов деформирования, иллюстрирующие различие темпа нарастания \overline{E}_{ij} в период до 10^4 циклов деформирования и накопление изменений линейных размеров и формы проб до $4 \cdot 10^4$ циклов.

Циклическая формоустойчивость, %



Рисунок 3.12 – Зависимость циклической формоустойчивости от числа циклов деформирования

Следует отметить значительное отличие в накоплении необратимых деформаций тканями 1Т и 1Н от остальных тканей. Высокую сравнительную формоустойчивость ткани 1Т обеспечивает сырьевой состав (ПЭ – 100 %), тогда как у новой льносодержащей ткани есть преимущества – 70 % состава натурального происхождения (х/б – 50 %, лен – 20 %, ПП – 30 %), что обеспечивает этой ткани высокие гигиенические свойства и «натуральный» внешний вид.

Результаты исследования циклической формоустойчивости тканей позволяют сделать следующие выводы:

– при одинаковых режимах циклического деформирования процессы накопления усталости протекают в тканях неодинаково, что выражается в разном значении циклической формоустойчивости \overline{E}_{ij} ;

– сравнительный анализ процессов накопления усталости тканями разного строения, сырьевого состава и ткацких переплетений возможен при помощи анализа интенсивности данных процессов;

– наибольшие изменения линейных размеров и формы после испытаний наблюдаются у проб тканей, в состав которых входит лен, хлопок без добавления химических нитей, а также у тканей, в составе которых более 50 % шерсти; наименьшие изменения линейных размеров после циклических испытаний наблюдаются у тканей, в состав которых входят химические волокна – ПЭ, ПАН и ПП.

3.3 Исследование деформационных показателей тканей после моделирования эксплуатационных воздействий

Усталость текстильных материалов проявляется в результате циклических деформаций, при которых происходит процесс постепенного расшатывания структуры, накапливание пластических и уменьшение упругих и эластических деформаций и, как следствие, ухудшение механических свойств [3.5].

В перечень контролируемых до и после циклических испытаний параметров отобраны деформационные показатели – разрывная нагрузка, разрывное удлинение и жесткость при изгибе (табл. 2.2.).

При исследовании влияния циклических испытаний на деформационные показатели были поставлены следующие задачи:

– органолептический анализ изменений внешнего вида элементарных проб;

– проведение комплексного анализа изменений деформационных показателей тканей, прошедших циклические испытания;

– определение значений деформационных показателей до и после циклического нагружения для последующего расчета комплексного показателя качества;

– установление связи между структурой и деформационными свойствами исследуемых тканей в области малых деформаций.

Анализ внешнего вида проб после циклических испытаний показывает, что значительные изменения (вплоть до разрушения) происходят в тканях, обладающих неравномерностью значений показателей деформационных свойств в продольном и поперечном направлениях

полотна. Так, на рисунке 3.13 представлен внешний вид льняной ткани 10т до и после испытаний. У всех проб 10т_у, выкроенных в направлении нитей утка, наблюдаются разрушения в области рабочей зоны, которые обусловлены использованием в качестве уточных нитей менее прочной пряжи, не устойчивой к многократным комбинированным нагрузкам. Характер данных разрушений отчетливо виден на рисунках 3.14 и 3.15.

Комплексный анализ изменений деформационных показателей всех тканей проведен по итогам циклических деформаций при плане: $K_n = 0,1$, $n = 2 \cdot 10^4$ циклов. Результаты измерений показателей тканей до и после циклических испытаний приведены в таблице 3.8 и в публикациях [3.18, 3.19].

Данные таблицы 3.8 свидетельствуют о различном проявлении усталостных явлений в тканях при одинаковых условиях испытаний. Снижение значений прочности при разрыве наблюдается в исследуемых тканях от 10 до 47 %; абсолютного разрывного удлинения – от 2,5 до 60 %; жесткости – от 9 до 43 %.

Анализ значений показателей указывает на то, что высокие исходные значения показателей не гарантируют их сохранение после многократных нагружений. Например, значение R_p у пробы 12т – 330 Н и снизилось после испытаний на 11,9 %, тогда как у пробы 18т значение R_p снизилось на 28,8 % от первоначального 1430 Н.

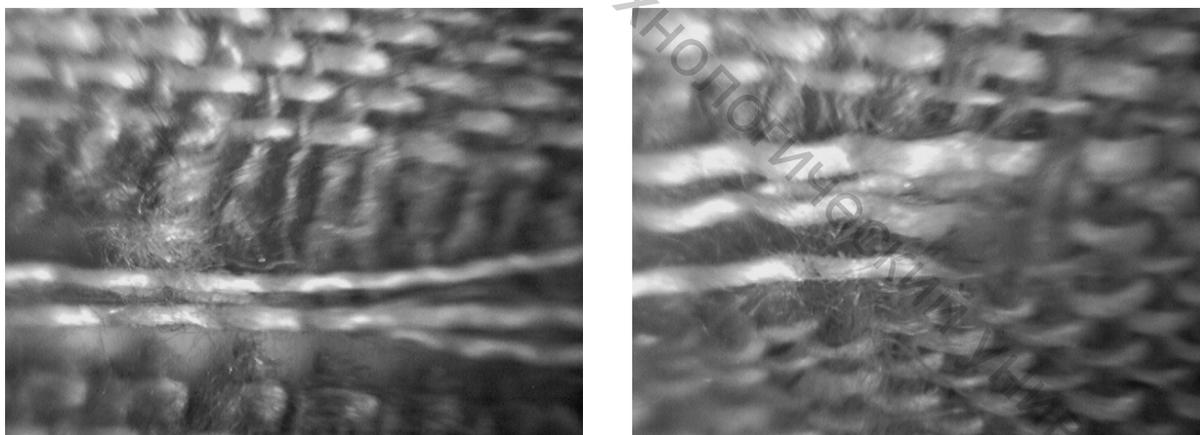


Рисунок 3.13 – Внешний вид разрушений уточных нитей льняной ткани 10т

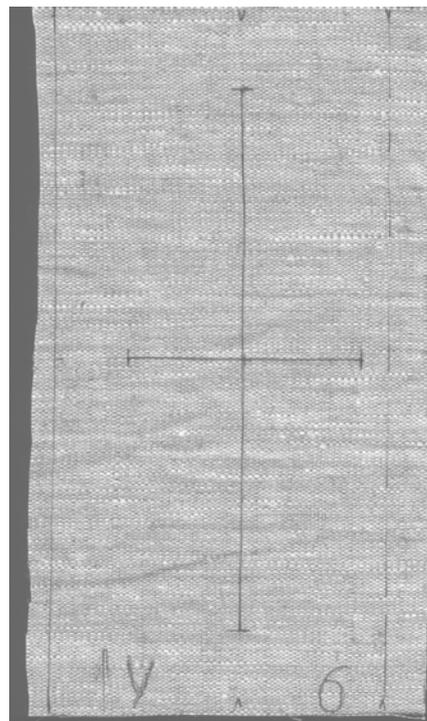
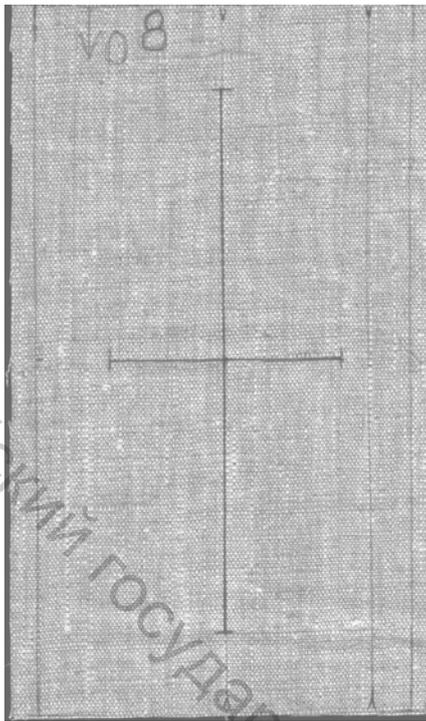


Рисунок 3.14 – Сканированные изображения разметки элементарных проб льняной ткани 10т до циклического нагружения

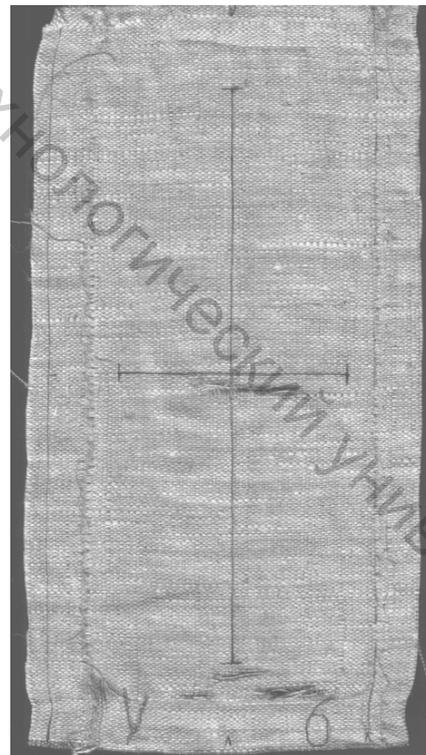
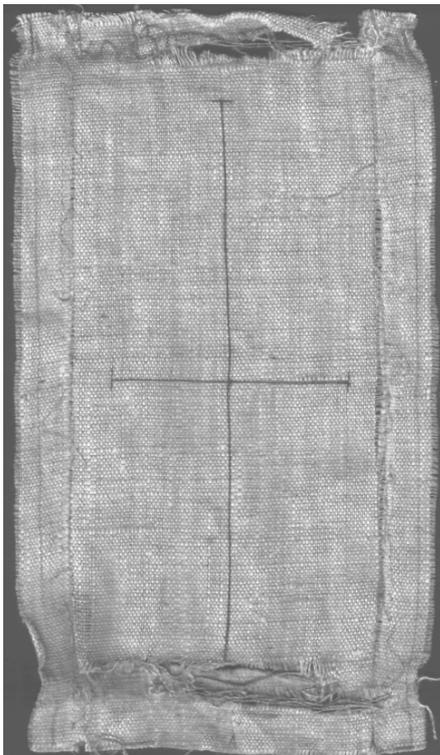


Рисунок 3.15 – Сканированные изображения разметки элементарных проб льняной ткани 10т после циклического нагружения

Таблица 3.8 – Результаты измерений механических показателей тканей до и после циклических испытаний при $k_H = 0,1$, $n = 2 \cdot 10^4$ циклов

Обозначение элементарной пробы	Разрывная нагрузка \bar{F}_p , Н		$\Delta \bar{F}_p$, %	Разрывное удлинение \bar{l}_p , мм		$\Delta \bar{l}_p$, %	Жесткость \bar{B} (10^6), мкН·см ²		$\Delta \bar{B}$, %
	до испытаний	после испытаний		до испытаний	после испытаний		до испытаний	после испытаний	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1T ₀	330	295	11,9	24,0	22,7	5,6	3,9	3,5	10,1
1T _y	330	287	14,9	22,0	20,8	9,1	3,5	3,0	13,2
2T ₀	180	148	21,6	20,0	18,2	10,0	4,7	3,7	20,7
2T _y	170	137	24,1	17,3	16,0	7,7	3,9	3,0	23,1
3T ₀	290	210	38,1	13,3	11,3	15,0	4,1	2,6	36,2
3T _y	273	195	40,1	13,4	12,0	10,0	3,9	2,4	39,4
4T ₀	860	658	30,7	15,3	10,7	30,4	2,2	1,6	29,2
4T _y	619	449	37,9	15,5	10,0	34,8	1,9	1,2	36,0
5T ₀	930	746	24,7	14,7	10,7	27,3	2,3	1,8	22,9
5T _y	710	565	26,8	17,3	11,3	34,6	2,1	1,5	26,0
6T ₀	625	427	27,2	14,0	10,1	19,1	5,1	3,8	25,8
6T _y	396	211	36,2	16,2	10,7	20,8	4,9	3,3	32,7
7T ₀	284	205	38,5	9,3	5,3	42,9	2,0	1,3	37,2
7T _y	272	201	35,3	12,0	7,3	38,9	1,8	1,2	34,7
8T ₀	216	196	10,2	6,7	2,7	60,0	1,5	1,4	9,4
8T _y	194	171	13,5	9,3	5,5	42,9	1,4	1,2	12,2
9T ₀	440	328	34,2	7,4	3,3	54,6	1,7	1,1	32,8

Окончание таблицы 3.8

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
9 _{Sy}	356	260	36,9	17,3	9,5	46,2	1,3	1,8	37,6
10 _{T₀}	751	532	29,9	20,0	17,3	13,3	1,9	0,4	28,4
10 _{T_y}	417	266	32,4	23,3	18,7	11,4	1,7	1,2	30,9
11 _{T₀}	475	399	19,0	19,3	18,0	6,9	6,2	5,1	18,1
11 _{T_y}	299	241	24,1	27,3	25,3	7,3	5,9	4,5	23,5
12 _{T₀}	1102	930	18,5	20,7	19,0	6,3	4,6	3,8	17,5
12 _{T_y}	604	489	23,5	18,0	16,7	7,4	3,9	3,0	22,6
13 _{T₀}	1335	1140	17,1	20,6	16,0	20,0	4,8	3,9	19,4
13 _{T_y}	880	695	26,6	19,4	16,6	17,2	4,5	3,3	25,6
14 _{T₀}	1766	1580	13,7	30,7	20,5	32,6	4,7	4,1	11,9
14 _{T_y}	620	524	18,3	14,6	11,4	19,1	3,7	3,1	17,5
15 _{T₀}	618	512	17,0	16,8	14,1	2,5	3,6	3,0	16,4
15 _{T_y}	540	422	21,2	21,3	20,5	6,3	3,6	2,9	20,0
16 _{T₀}	962	862	10,0	18,6	14,3	25,0	0,9	0,8	8,9
16 _{T_y}	430	375	12,7	17,3	12,6	26,9	1,2	1,0	14,0
17 _{T₀}	1550	1210	21,9	11,2	8,9	25,0	14,5	11,3	22,3
17 _{T_y}	1500	1140	24,0	15,4	12,5	17,4	15,6	12,2	21,8
18 _{T₀}	1430	1110	28,8	10,1	6,2	46,7	12,8	9,4	26,4
18 _{T_y}	1390	1012	37,6	12,8	6,3	52,6	12,9	8,3	35,9
19 _{T₀}	637	502	26,9	9,3	6,8	23,1	2,1	1,6	21,3
19 _{T_y}	382	291	31,3	14,3	11,8	19,1	1,7	1,2	30,3
20 _{T₀}	980	725	35,2	15,5	7,1	56,5	2,1	1,4	31,4
20 _{T_y}	343	233	47,2	16,6	7,3	56,0	1,5	0,9	42,9

Для более объективной оценки влияния циклических деформаций на прочность тканей рассчитаны значения удельной разрывной нагрузки проб. Для осуществления сравнительного анализа тканей предложен коэффициент усталости $K_{уст}$, рассчитанный по формуле:

$$K_{уст} = \frac{P_{уд}^u}{P_{уд}^o}, \quad (3.2)$$

где $P_{уд}^u$ – удельная прочность пробы после некоторого числа циклов испытаний, Нм/г; $P_{уд}^o$ – исходная удельная прочность пробы, Нм/г.

Результаты расчетов $K_{уст}$ (табл. 3.9) указывают на неправомерность выбора ткани для верха обуви только по стандартизированному показателю «прочность при разрыве», так как исходное высокое значение показателя не гарантирует его сохранение после циклического нагружения.

Значения $K_{уст}$ точечных проб исследуемых тканей расположились в диапазоне (0,72÷0,9), причем без видимой зависимости от сырьевого состава, содержания химических волокон, переплетения полотен. Рекомендуемые значения $K_{уст}$ при выборе тканей находятся в диапазоне (0,8÷1,0).

Выполнен анализ изменений значений разрывного удлинения, который показывает, что с накоплением необратимых деформаций значения l_p у исследуемых тканей снижаются в разной степени. Подтверждением служит корреляционный анализ взаимосвязи коэффициента $K'_{уст}$ и $\overline{E_{uj}}$. Коэффициент $K'_{уст}$ рассчитан аналогично формуле (3.2), но исходя из значений абсолютного разрывного удлинения:

$$K'_{уст} = \frac{l_p^u}{l_p^o} \quad (3.3)$$

где l_p^u – абсолютное разрывное удлинение пробы после некоторого числа циклов испытаний, мм; l_p^o – исходное абсолютное разрывное удлинение пробы, мм.

Рассчитанный коэффициент корреляции составляет $r = 0,89$, что подтверждает взаимосвязь накопления пластических деформаций и $\overline{E_{uj}}$.

Анализ экспериментальных данных исследования деформационных свойств позволяет сделать следующие выводы:

– при одинаковых режимах испытаний наблюдается различная потеря прочности исследуемых проб – от 10 до 47 % от исходной;

– снижение значений разрывного удлинения l_p обусловлено накоплением необратимых деформаций и тесно коррелирует с $\overline{E_{uj}}$;

– снижение значений жесткости при изгибе \overline{B} также обусловлено накоплением необратимых деформаций и связанных с ними разрежением структуры ткани, утонением нитей за счет обрыва элементарных волокон, нарушением целостности ткани;

– критерием выбора тканей не могут служить только исходные значения разрывной нагрузки, разрывного удлинения и жесткости при изгибе, даже удовлетворяющие техническим требованиям ТНПА.

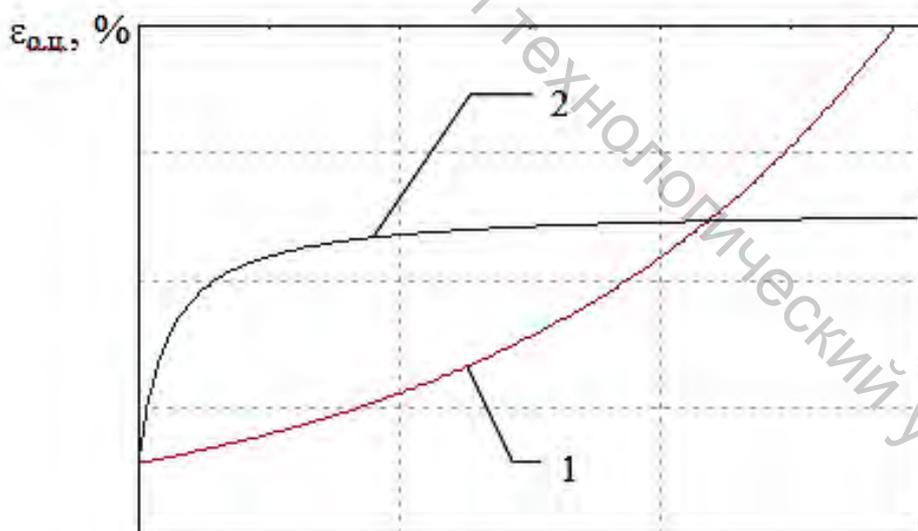
Таблица 3.9 – Результаты расчета коэффициента усталости элементарных и точечных проб

Обозначение элементарной пробы	Удельная разрывная нагрузка, \overline{P}_{y0} НМ/Г	Коэффициент усталости элементарной пробы $K_{ycm i}$	Коэффициент усталости точечной пробы $K_{ycm j}$	Обозначение элементарной пробы	Удельная разрывная нагрузка, \overline{P}_{y0} НМ/Г	Коэффициент усталости элементарной пробы $K_{ycm i}$	Коэффициент усталости точечной пробы $K_{ycm j}$
1	2	3	4	5	6	7	8
1T ₀	22,26	0,89	0,88	11T ₀	17,73	0,84	0,8
1T _y	21,66	0,87		11T _y	10,71	0,81	
2T ₀	9,71	0,82	0,82	12T ₀	73,23	0,84	0,83
2T _y	8,98	0,81		12T _y	38,50	0,81	
3T ₀	17,87	0,72	0,72	13T ₀	55,07	0,85	0,79
3T _y	16,60	0,72		13T _y	33,58	0,74	
4T ₀	47,0	0,77	0,75	14T ₀	167,20	0,90	0,88
4T _y	32,07	0,73		14T _y	55,45	0,85	
5T ₀	51,45	0,80	0,8	15T ₀	39,54	0,83	0,81
5T _y	38,97	0,80		15T _y	32,59	0,78	
6T ₀	36,81	0,79	0,76	16T ₀	82,10	0,9	0,89
6T _y	25,87	0,73		16T _y	35,71	0,87	
7T ₀	16,4	0,72	0,73	17T ₀	61,27	0,78	0,77
7T _y	16,08	0,74		17T _y	57,72	0,76	
8T ₀	30,15	0,91	0,9	18T ₀	94,47	0,78	0,76
8T _y	26,31	0,88		18T _y	86,13	0,73	
9T ₀	27,33	0,75	0,74	19T ₀	43,65	0,79	0,78
9S _y	21,67	0,73		19T _y	25,30	0,76	
10T ₀	60,0	0,77	0,77	20T ₀	53,31	0,74	0,71
10T _y	38,20	0,76		20T _y	17,13	0,68	

3.4 Прогнозирование эксплуатационных свойств тканей для верха обуви

Одной из задач, решенных в данной работе, является анализ возможности оценки тканей для верха обуви по результатам кратковременных испытаний. Экспрессная оценка качества тканей на этапе проектирования обуви, когда формируется качество будущих изделий, на практике может быть осуществима при наличии методики прогнозирования показателей сопротивления усталости.

Большой вклад в разработку научных основ оценки и прогнозирования усталостных свойств текстильных материалов внесли Г. Н. Кукин, М. С. Бородавский, А. Н. Соловьев, Б. П. Поздняков, К. Е. Перепелкин, В. П. Щербаков, С. Д. Николаев и другие ученые. Профессором Г. Н. Кукиным и профессором А. Н. Соловьевым в работе [3.20] отмечается, что характер изменения остаточной деформации при циклическом нагружении позволяет произвести анализ структуры текстильного материала. На рисунке 3.15 приведены типовые кривые зависимости остаточной деформации текстильных материалов от числа циклов нагружения.



1-материал с дефектной структурой
2-материал со структурой без дефектов

Рисунок 3.15 – Типовые кривые зависимости остаточной деформации текстильного материала от числа циклов нагружения

Исследование закономерностей накопления остаточной деформации текстильного материала при циклическом нагружении позволяет разрабатывать методы экспресс-оценки их выносливости. Вопросам разработки экспресс-методов прогнозирования свойств усталости текстильных материалов на основе применения параметрического принципа оценки качества сложных технических систем посвящены работы А. А. Кузнецова [3.21–3.24]. Сущность *параметрического подхода* заключается в том, что вместо данных о разрушении материала при циклическом испытании проводятся кратковременные эксперименты с наблюдением за изменением контролируемого показателя, по результатам которых осуществляется прогноз минимального числа циклов, которое может выдержать текстильный материал, не разрушаясь с заданной долей вероятности [3.21].

В работах [3.21, 3.22] разработаны эмпирические и вероятностные модели взаимосвязи показателей усталостных свойств текстильных нитей и количества циклов нагружения при проведении испытаний на многократное растяжение. На рисунке 3.16 представлены примеры установления изменения остаточной циклической деформации текстильных нитей в зависимости от количества циклов нагружения, содержащиеся в работе [3.21].

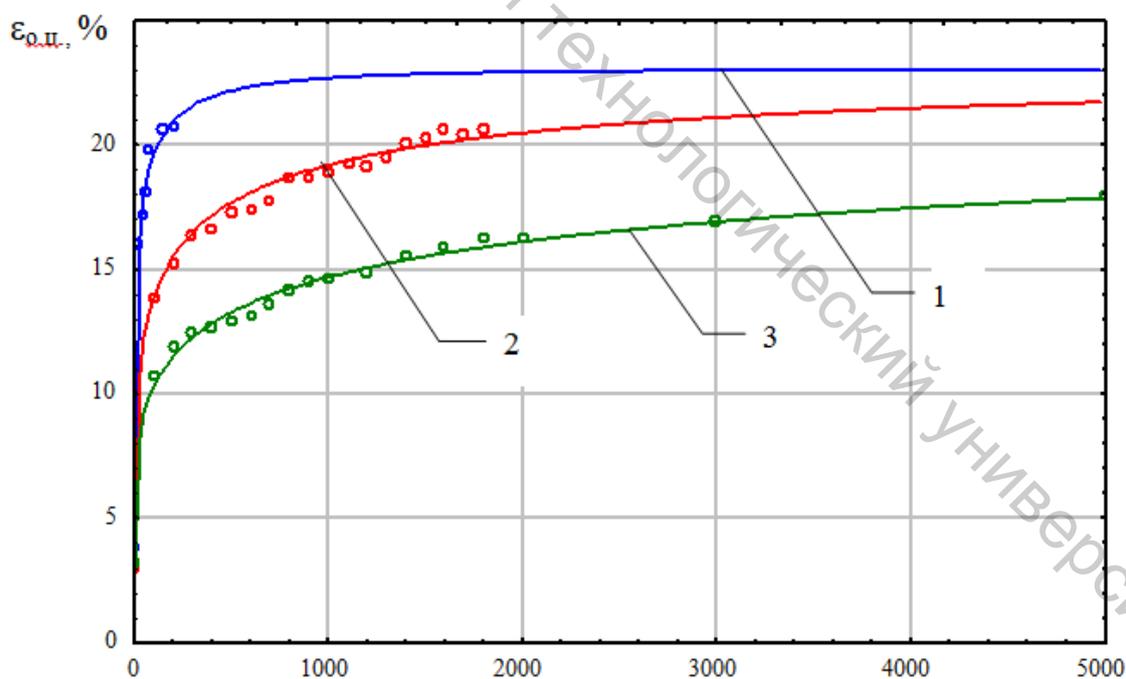


Рисунок 4.2 – Зависимость остаточной циклической деформации $\varepsilon_{o.ц.}$ полиэфирной пряжи 100 текс от количества циклов нагружения n при различных значениях заданной циклической деформации $\varepsilon_{з.ц.}$:

$$1 - \varepsilon_{з.ц.} = 3,0 \%; 2 - \varepsilon_{з.ц.} = 2,0 \%; 3 - \varepsilon_{з.ц.} = 1,0 \%$$

На основе сопоставления результатов экспериментальных исследований тканей для верха обуви можно утверждать, что существуют общие закономерности изменения остаточной циклической деформации $\varepsilon_{o.ц.}$ текстильных нитей и циклической формоустойчивости $E_{ц}$ тканей от количества циклов нагружения при проведении испытаний текстильных материалов.

В этой связи задачами прогнозирования эксплуатационных свойств обувных тканей являются:

- исследование возможности адаптации математических моделей взаимосвязи показателей усталостных свойств текстильных нитей для прогнозирования показателей свойств сопротивления усталости тканей для верха обуви;
- разработка экспресс-методики прогнозирования усталостных свойств при циклическом нагружении тканей для верха обуви.

В работах [3.20, 3.25, 3.26 и др.] установлено, что наиболее значимыми характеристиками, используемыми для оценки поведения текстильных нитей в процессах переработки и эксплуатации, является их выносливость при многократном растяжении и остаточная циклическая деформация. Выносливостью n в данном случае выступает число циклов растяжения, которое выдерживает материал до своего разрушения [цикл]. Остаточная циклическая деформация $\varepsilon_{o.ц.}$ – величина деформации, накопившаяся за некоторое число циклов и не исчезающая в процессе непрерывного приложения этих нагрузок [%].

Предположив, что процесс накопления остаточной циклической деформации при проведении испытаний на многократное растяжение идентичен процессу накопления уровня повреждений в процессе Пуассона [3.21, 3.24], А. А. Кузнецовым разработана теоретическая математическая модель процесса накопления остаточной циклической деформации текстильными нитями с целью решения задачи снижения временных затрат на проведение испытаний и обеспечения достоверности прогнозирования показателей:

$$\varepsilon_{o.ц.}(n) = \varepsilon_{кр.} - (\varepsilon_{кр.} - \varepsilon_0) \cdot \exp[-M^c n^c], \quad (3.4)$$

где $\varepsilon_{o.ц.}(n)$ – остаточная циклическая деформация после n циклов нагружения, %; ε_0 – относительное удлинение, вызванное действием статической нагрузки, %; $\varepsilon_{кр.}$ – относительное критическое удлинение, при достижении которого нить разрушается, в предположении приближается к относительному разрывному удлинению, %; c – параметр стационарности процесса накопления повреждений в процессе Пуассона, если $c = 1$, то процесс Пуассона – стационарный; M – количество циклов нагружения нити, необходимое для выполнения условия (3.5).

$$\frac{1}{2}(\varepsilon_0 + \varepsilon_{кр.}) = \varepsilon_{кр.} - (\varepsilon_{кр.} - \varepsilon_0) \cdot \exp[-M^c n_{ср}^c], \quad (3.5)$$

где $n_{ср}$ – число циклов нагружения, при котором текущее значение остаточной циклической деформации нити численно равно среднему арифметическому значению параметров ε_0 и $\varepsilon_{кр.}$ модели (3.4), цикл.

Для определения физического смысла параметра M соотношение (3.5) подставили в модель (4.1), после чего получили

$$\frac{1}{2}(\varepsilon_0 + \varepsilon_{кр.}) = \varepsilon_{кр.} - (\varepsilon_{кр.} - \varepsilon_0) \cdot \exp[-M^c n_{ср}^c] \quad (3.6)$$

После преобразований модель (3.3) привели к виду (3.7) для выражения физического смысла параметра M :

$$\frac{1}{2} = \exp[-M^c n_{ср}^c] \Rightarrow M^c = \frac{\ln 2}{n_{ср}^c} \quad (3.7)$$

Таким образом, параметр M является *темповым показателем*, то есть показателем характеризующим темп нарастания остаточной циклической деформации.

На основании результатов экспериментальных исследований и типовых кривых изменения остаточной циклической деформации в процессе испытания (рис. 3.15) для математического описания зависимости относительного остаточного удлинения от количества циклов нагружения А. А. Кузнецовым разработана также *эмпирическая* математическая модель [3.21]:

$$\varepsilon_{о.у.}(n) = \frac{n}{a_0 + a_1 \cdot n} + a_2, \quad (3.8)$$

где $\varepsilon_{о.у.}$ – относительное остаточное удлинение нити, возникающее после n циклов нагружения, %; n – число циклов нагружения нити, циклы; a_0, a_1, a_2 – параметры модели.

Размерность параметра a_2 идентична размерности относительного остаточного удлинения (%). Параметр модели a_2 характеризует отно-

сительное удлинение нити ε_0 , вызываемое действием статической нагрузки P :

$$a_2 = \varepsilon_{o.u.}(n \rightarrow 0) = \varepsilon_0 . \quad (3.9)$$

Параметр a_1 модели (4.5) имеет размерность $(\%)^{-1}$ и характеризует предельно возможное изменение остаточного удлинения $\varepsilon_{o.u.}$ нити при проведении усталостных испытаний на многократное растяжение:

$$a_1 = \frac{1}{\varepsilon_p - \varepsilon_0} . \quad (3.10)$$

Удлинение текстильной нити при разрыве принято за критическое, то есть значение остаточной циклической деформации достигает своего критического значения $\varepsilon_{кр}$ при разрыве нити:

$$\varepsilon_p = \varepsilon_{o.u.}(n \rightarrow \infty) = \frac{1}{a_1} + a_2 = \frac{1}{a_1} + \varepsilon_0 ,$$

$$\frac{1}{a_1} = \varepsilon_p - \varepsilon_0 . \quad (3.11)$$

Для определения физического смысла параметра a_0 соотношение (3.8) продифференцировано по n и устремлено к нулю:

$$\frac{d\varepsilon_{o.u.}}{dn} = \frac{1}{(a_0 + a_1 \cdot n)} - \frac{n \cdot a_0}{(a_0 + a_1 \cdot n)^2} ,$$

$$\frac{d\varepsilon_{o.u.}}{dn}(n \rightarrow 0) = \frac{1}{a_0} . \quad (3.12)$$

Геометрический смысл параметра модели a_0 (рис. 3.17) описан соотношением (3.13)

$$\frac{d\varepsilon_{o.ц.}}{dn}(n \rightarrow 0) = \operatorname{tg} \alpha, \text{ следовательно } \frac{1}{a_0} = \operatorname{tg} \alpha, \quad (3.13)$$

где α – угол наклона касательной, проведенной из точки $[\varepsilon_0, 0]$ к кривой $\varepsilon_{o.ц.}(n)$ к оси абсцисс.

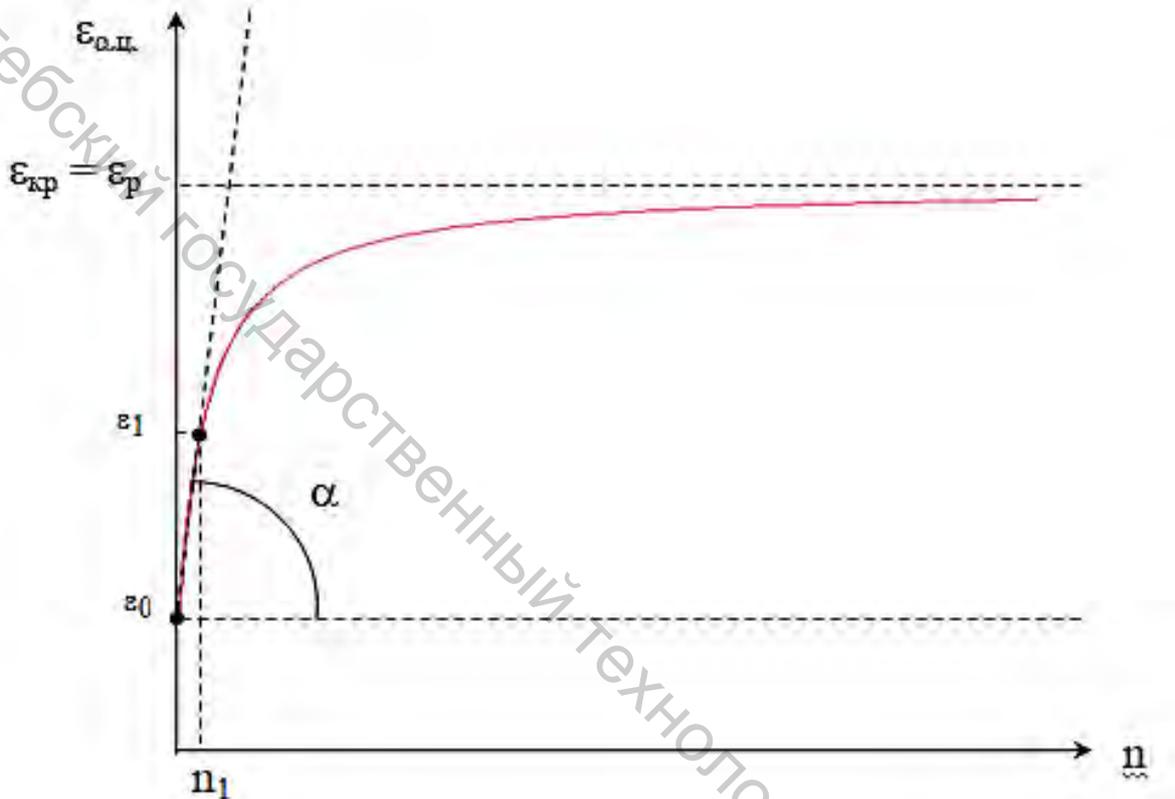


Рисунок 3.17 – Схематическое представление зависимости остаточной циклической деформации $\varepsilon_{o.ц.}$ от количества циклов нагружения n при испытании на многократное растяжение

Из соотношения (3.13) следует, что параметр a_0 модели (3.8) является безразмерной величиной и служит *темповым показателем*, определяющим темп нарастания относительного удлинения нити на начальном этапе циклического нагружения в процессе усталостного испытания. Данный параметр модели определяется на основе кратковременных испытаний. Для оценки параметра a_0 модели для текстильных нитей рекомендуется произвести измерение относительного циклического удлинения после 50 циклов (n_1) нагружения [3.21].

На основании модели (3.13) параметр a_0 имеет вид (3.14):

$$a_0 = \frac{1}{\operatorname{tg} \alpha} = \frac{1}{\frac{\varepsilon_1 - \varepsilon_0}{n_1}} = \frac{n_1}{\varepsilon_1 - \varepsilon_0} \quad (3.14)$$

Таким образом, использование математических моделей (3.8), (3.10) и (3.14) позволяет произвести оценку параметров модели (3.8) по результатам кратковременных испытаний и рассчитать прогнозируемое значение $\varepsilon_{0,ц}$.

Важным показателем, который позволяет провести анализ интенсивности процесса накопления остаточной деформации и сравнить объекты между собой, является показатель интенсивности I , предложенный в работе [3.21] А. А. Кузнецова, рассчитываемый по формуле (3.15):

$$I(n) = \frac{a_0}{(a_0 + a_1 \cdot n)^2}, \quad [\%/цикл]. \quad (3.15)$$

Показатель интенсивности процесса накопления остаточной деформации $I(n)$ характеризует скорость накопления необратимой деформации после n циклов нагружения.

Математические модели взаимосвязи остаточной циклической деформации и количества циклов нагружения (3.4) и (3.15) позволяют осуществлять прогноз значений остаточной циклической деформации текстильных нитей при многократном растяжении. Математическая модель интенсивности процесса накопления остаточной деформации позволяет проводить сравнительный анализ поведения текстильных материалов при *циклическом нагружении*.

Учитывая идентичность общих закономерностей накопления усталости текстильными нитями и тканями, в работе сделано предположение о возможности применения указанных математических моделей с целью прогнозирования величины циклической формоустойчивости и интенсивности потери формы тканями для верха обуви.

Согласно принятым в работе обозначениям, модель (3.4) примет вид (3.16):

$$E_{ц}(n) = E_{кр} \left(1 - \exp \left[-M^c \cdot n^c \right] \right), \quad (3.16)$$

где $E_{ц}$ – циклическая формоустойчивость тканей, %; $E_{кр}$ – критическое значение циклической формоустойчивости, соответствующее наиболь-

шей потере формы верха обуви при экспериментальной носке, принятое равным 7,5 %.

Модель (3.8) примет вид (3.17):

$$E_u(n) = \frac{n}{a_0 + a_1 \cdot n}, \quad (3.17)$$

параметры модели:

$$a_0 = \frac{n_1}{E_1}, \quad a_1 = \frac{1}{E_{KP}}, \quad a_2 = E_0 = 0.$$

В связи с отсутствием единого признанного метода определения формоустойчивости материалов для верха обуви и большим разнообразием их свойств, в литературных источниках приводятся противоречивые данные о критериях оценки данного показателя.

Например, в источнике [3.1] приводится диапазон растяжения союзки в области мизинца при ходьбе – от 2,9 до 10,9 %. В работе по обоснованию интервалов безразличия обуви [3.27] отмечается переход обуви в следующую полнотную группу при увеличении периметра союзки на величину 6 %. В работах [3.28–3.30] содержатся сведения о критерии оценки формоустойчивости, соответствующему наибольшей потере формы верха обуви при экспериментальной носке – 7,5 % и более, поэтому за критерий оценки формоустойчивости тканей для верха обуви при моделировании условий эксплуатации выбрано указанное значение.

На основании результатов экспериментальных исследований произведена численная оценка параметров эмпирической математической модели (3.17) для шести различных тканей: 1т, 6т, 11т, 15т, 17т, а также новой льносодержащей ткани 1н. В таблице 3.10 приведены результаты расчета параметров модели (3.17) для исследуемых тканей.

В таблице 3.11 приведены результаты проверки адекватности модели (3.17) экспериментальным данным, полученным при $3 \cdot 10^4$ циклов и $4 \cdot 10^4$ циклов деформирования.

На рисунках 3.18 и 3.19 представлены зависимости величины циклической формоустойчивости от длительности нагружения, полученные экспериментальным путем.

Таблица 3.10 – Параметры математической модели (3.17) взаимосвязи циклической формоустойчивости и количества циклов нагружения

Обозначение элементарных проб	Наименование ткани и сырьевой состав	Параметры математической модели		Величина достоверности модели R^2
		a_0 , цикл/%	a_1 , 1/%	
1Т	ткань декоративная ПЭ – 100 %	2268,93	0,389	0,989
11Т	ткань пальтовая шерсть – 75 % ПАН – 15 %	1452,96	0,129	0,992
6Т	ткань скатертная лен – 100 %	390,1	0,103	0,996
15Т	ткань плащевая х/б – 67 % ПЭ – 33 %	1131,06	0,119	0,994
17Т	ткань костюмная лен – 53 % х/б – 47 %	741,69	0,105	0,998
1Н	ткань техническая х/б – 50 % лен – 20 %, ПП – 30 %	2175,8	0,342	0,993

Таблица 3.11 – Прогнозные и экспериментальные значения циклической формоустойчивости тканей (модель 3.17)

Обозначение элементарных проб	$n=3 \cdot 10^4$ циклов		Величина достоверности модели R^2	$n=4 \cdot 10^4$ циклов		Величина достоверности модели R^2
	Прогноз. значение $E_{ij}, \%$	Экспериментальное значение $E_{ij}, \%$		Прогноз. значение $E_{ij}, \%$	Экспериментальное значение $E_{ij}, \%$	
1Т	2,26	2,12	0,989	2,38	2,16	0,991
11Т	6,42	5,84	0,992	6,52	5,94	0,995
6Т	9,89	8,66	0,996	9,64	8,79	0,997
15Т	6,73	6,33	0,995	7,39	6,73	0,994
17Т	8,04	7,41	0,998	8,74	8,04	0,998
1Н	2,51	2,39	0,996	2,76	2,51	0,999

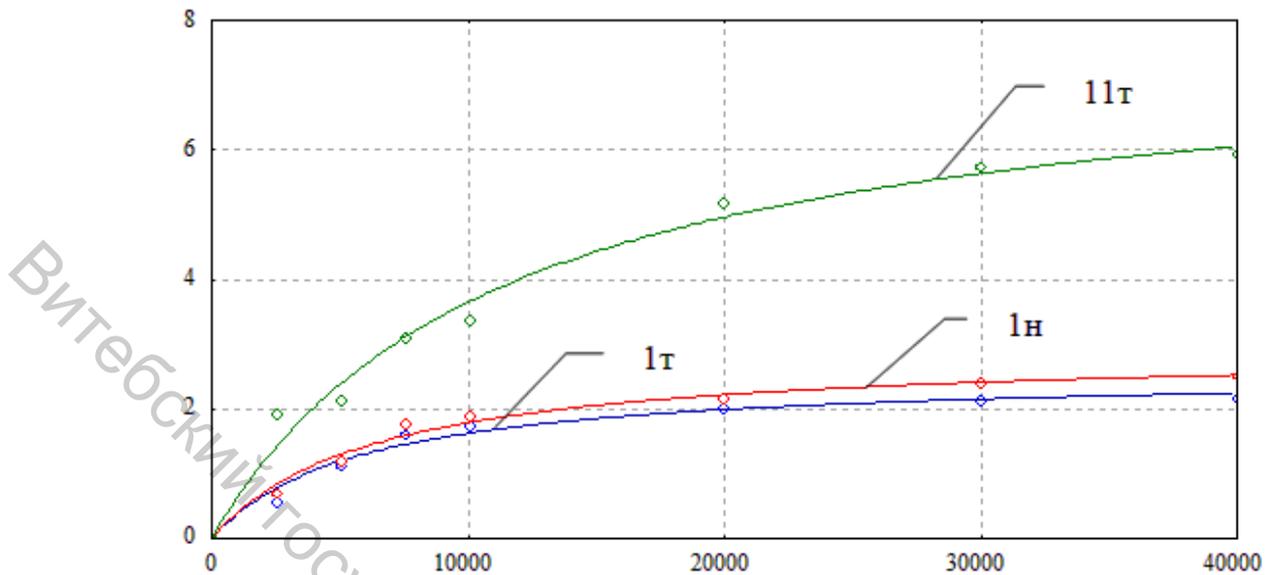


Рисунок 3.18 – Зависимость циклической формоустойчивости от числа циклов деформирования для проб, построенная с использованием эмпирической математической модели (3.17)

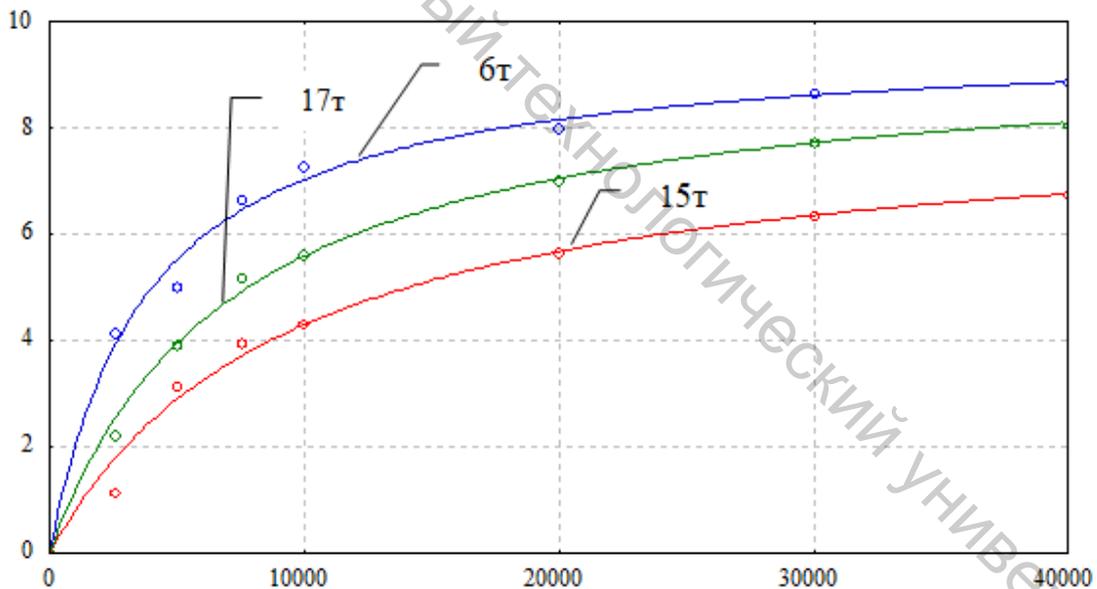


Рисунок 3.19 – Зависимость циклической формоустойчивости от числа циклов деформирования для проб, построенная с использованием эмпирической математической модели (3.17)

Проверка адекватности математических моделей производилась на основании критерия достоверности модели R^2 . Для всех моделей наблюдаемое значение критерия меньше критического, что указывает

на адекватность математической модели (3.17) результатам эксперимента с доверительной вероятностью 0,95. Определение параметров математической модели проведено, исходя из условия: $n = 10^4$ циклов, угол изгиба 60° и соответствующего значения E_{ij} . На основании результатов экспериментальных исследований также произведена численная оценка параметров *теоретической* математической модели (3.16). В таблице 3.12 приведены результаты расчета параметров модели (3.16) для исследуемых тканей.

Таблица 3.12 – Параметры математической модели (3.16) взаимосвязи циклической формоустойчивости и количества циклов нагружения

Наименование ткани и обозначение элементарных проб	Параметр M , 1/%	Параметр c , 1/%	Величина достоверности модели R^2
ткань декоративная 1т	0,000166	1,176	0,995
ткань пальтовая 11т	0,000049	0,633	0,950
ткань скатертная 6т	0,000185	0,622	0,991
ткань плащевая 15т	0,000028	0,484	0,934
ткань костюмная 17т	0,000019	0,339	0,961
ткань техническая 1н	0,000024	0,314	0,942

В таблице 3.13 приведены результаты проверки адекватности модели (3.16) экспериментальным данным, полученным при $3 \cdot 10^4$ циклов и $4 \cdot 10^4$ циклов деформирования.

Таблица 3.13 – Прогнозные и экспериментальные значения циклической формоустойчивости тканей (модель 3.17)

Обозначение элементарных проб	$n = 3 \cdot 10^4$ циклов		Величина достоверности модели R^2	$n = 4 \cdot 10^4$ циклов		Величина достоверности модели R^2
	Прогноз. значение E_{ij} , %	Экспериментальное значение E_{ij} , %		Прогноз. значение E_{ij} , %	Экспериментальное значение E_{ij} , %	
1т	2,69	2,12	0,995	3,02	2,16	0,995
11т	6,77	5,74	0,949	7,56	6,94	0,948
6т	9,23	8,66	0,991	10,14	9,89	0,991
15т	7,11	6,33	0,934	7,89	6,73	0,945
17т	8,05	7,74	0,961	8,89	8,04	0,960
1н	3,19	2,39	0,942	4,16	2,51	0,945

Проверка адекватности математических моделей производилась на основании критерия достоверности модели R^2 . Выявлено, что не для всех моделей наблюдаемое значение критерия меньше критического, что говорит о предпочтительности использования эмпирической модели (3.17) в целях прогнозирования циклической формоустойчивости. Кроме того, практическое использование математической модели (3.16) является затруднительным по причине значительных временных затрат по определению численного значения параметра нестационарности.

С целью оценки скорости накопления разными тканями необратимых деформаций по модели (3.15) рассчитан показатель интенсивности процессов накопления усталости. Результаты расчета представлены в таблице 3.14.

Таблица 3.14 – Результаты расчета интенсивности процессов накопления усталости тканями для верха обуви

Наименование ткани и обозначение элементарных проб	Интенсивность процессов накопления усталости I , %/цикл, при числе циклов				
	$n=0$	$n=10^4$	$n=2 \cdot 10^4$	$n=3 \cdot 10^4$	$n=4 \cdot 10^4$
ткань декоративная 1т	$4,3 \cdot 10^{-4}$	$6 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-5}$
ткань пальтовая 11т	$6,9 \cdot 10^{-4}$	$1,9 \cdot 10^{-4}$	$1,1 \cdot 10^{-4}$	$7,2 \cdot 10^{-5}$	$4,1 \cdot 10^{-5}$
ткань скатертная 6т	$2,6 \cdot 10^{-3}$	$2,2 \cdot 10^{-4}$	$1,3 \cdot 10^{-4}$	$6,2 \cdot 10^{-5}$	10^{-5}
ткань плащевая 15т	$9,6 \cdot 10^{-4}$	$2,7 \cdot 10^{-4}$	$1,2 \cdot 10^{-4}$	$5,9 \cdot 10^{-5}$	10^{-5}
ткань костюмная 17т	$1,3 \cdot 10^{-3}$	$2,5 \cdot 10^{-4}$	$1,2 \cdot 10^{-4}$	$6,1 \cdot 10^{-5}$	10^{-5}
ткань техническая 1н	$4,5 \cdot 10^{-4}$	$7 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-5}$

Зависимости, проиллюстрированные рисунками 3.20 и 3.21, указывают на различную степень интенсивности процессов накопления тканями необратимых деформаций. На этот факт указывалось также в разделе 3.2 (рис. 3.13), где приведены графические зависимости величины циклической деформации от числа циклов нагружения, построенные по экспериментальным данным. На рисунках 3.20 и 3.21 представлены зависимости интенсивности процесса накопления усталости I при циклическом нагружении числа циклов нагружения n , построенные по модели (3.15).

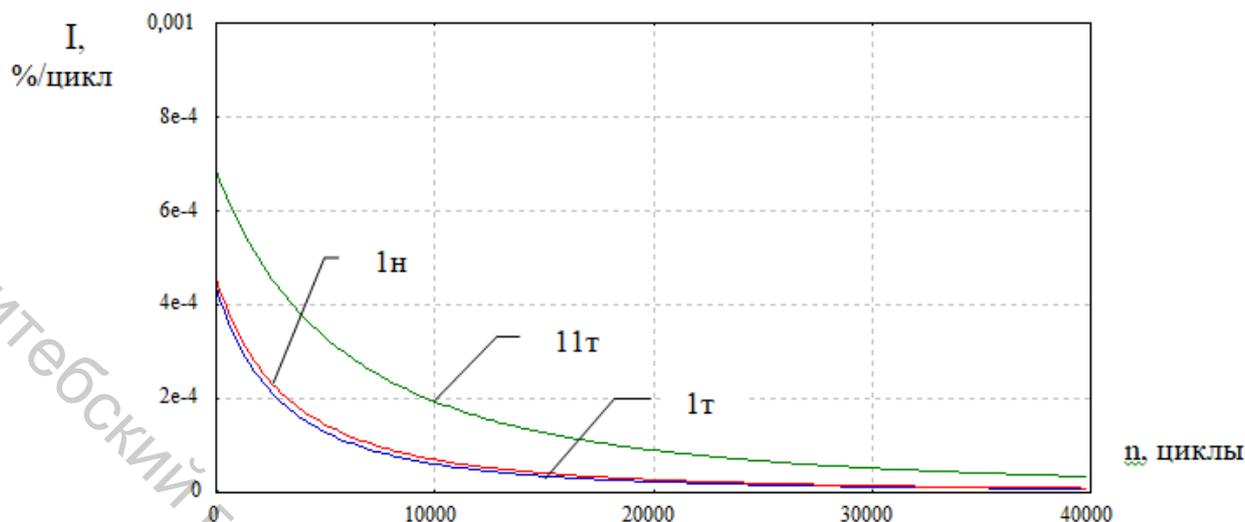


Рисунок 3.20 – Зависимости интенсивности процесса накопления циклической формоустойчивости от числа циклов нагружения n , построенные по модели (3.15) для проб 11г; 1н; 1г

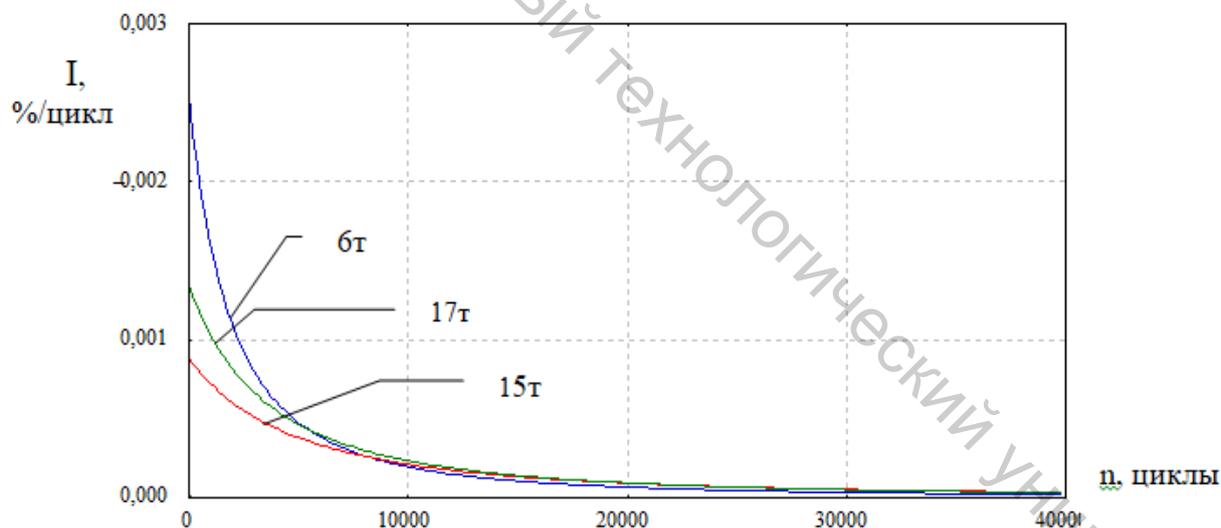


Рисунок 3.21 – Зависимости интенсивности процесса накопления циклической формоустойчивости от числа циклов нагружения n , построенные по модели (3.15) для проб 6г; 17г; 15г

Анализ зависимостей на рисунках 3.20 и 3.21 указывает на значительные различия значений I , увеличение которых характеризует ухудшение свойств сопротивления усталости тканей. Показатель интенсивности процесса накопления циклической формоустойчивости очень ин-

формативен и может служить для сравнительного анализа качества тканей. Получение значений I не является трудоемким; кроме того, при его расчете используются прогнозные значения циклической формоустойчивости.

Таким образом, экспериментальные исследования тканей в условиях циклического нагружения всего до 10^4 циклов (или 1,8 часа работы прибора) позволяет вынести оценочное суждение об устойчивости ткани к циклическому нагружению. В результате проведенных исследований обоснована возможность прогнозирования циклической формоустойчивости тканей по результатам кратковременных испытаний.

Экспресс-методика прогнозирования показателей сопротивления усталости тканей для верха обуви выглядит следующим образом.

1. Отбор точечных проб тканей, подготовка элементарных проб, нанесение разметки, выдерживание в кондиционных условиях, сканирование проб в соответствии с методикой проведения испытаний при циклическом комбинированном нагружении.

2. Проведение испытаний при установленных режимах до $n = 10^4$ циклов, удаление швов, выдерживание проб в кондиционных условиях.

3. Сканирование проб, определение изменения геометрических параметров проб, расчет $E_{ц}$.

4. Определение параметров a_0 и a_1 эмпирической модели (3.17).

5. Определение расчетного значения $E_{ц}(n)$ и величины достоверности модели R^2 .

6. Определение показателя интенсивности процесса накопления усталости I и выбор ткани с оптимальными значениями $E_{ц}$ и I .

Подводя итоги исследования и прогнозирования эксплуатационных свойств материалов для верха обуви, можно отметить некоторые важные тезисы.

Проведено комплексное исследование тканей, используемых в легкой промышленности для деталей верха обуви по показателям «циклическая долговечность» и «циклическая формоустойчивость». Установлено, что разработанный метод определения эксплуатационных показателей дает возможность проводить сравнительную оценку текстильных материалов по изменению внешнего вида и контролируемым показателям.

Изучение процесса разрушения и закономерностей развития деформации показало, что более высокой деформационной устойчивостью обладают материалы, текстильная структура и механические свойства которых являются сходными в продольном и поперечном направлениях; локализация разрушений происходит, в основном, в поперечном направлении текстильного полотна. Равномерность текстильной структуры предложено оценивать при помощи коэффициента анизотропии

$K_{анз}$.

Выявлено отсутствие значимых различий в процессах накопления усталости в исследуемых тканях. Установлено, что наличие в тканях до 30 % сырья химического происхождения (ПП, ПЭ, ПАН) повышает циклическую долговечность в среднем на 40 %.

При помощи паттерн-анализа показана динамика свойств тканей после циклических нагружений. Паттерн (пучок из приведенных кривых) указывает на значительные различия в поведении тканей и участие в этом процессе текстильной структуры. Быстрое разрушение структуры наблюдается у тканей, значение $K_{анз}$ которых не удовлетворяет условию $0,8 < K_{анз} < 1,2$.

Проведены исследования осевых деформаций, совпадающих с продольным и поперечным направлением ткани. Установлено, что конструкция прибора обеспечивает двухосное несимметричное растяжение (без учета деформаций, получаемых в направлении толщины материала). Разработан алгоритм расчета показателя «циклическая формоустойчивость», который рассчитывается на основании измерений осевых удлинений, осевых перекосов и изменений угла между нитями основы и утка с точностью ($\pm 0,1$ мм) в чертежно-графическом редакторе КОМПАС-3D.

Выполнен анализ изменений деформационных показателей тканей после циклических испытаний. Предложено оценивать влияние деформационного старения на внешний вид и циклические характеристики тканей при помощи коэффициента усталости $K_{уст}$. Рекомендуемые значения $K_{уст}$ при выборе тканей находятся в диапазоне (0,8÷1,0). Установлено, что при выборе тканей в качестве верха обуви критерием отбора не могут служить только исходные значения механических показателей, даже удовлетворяющие техническим требованиям ТНПА.

Подтверждена возможность прогнозирования циклической формоустойчивости тканей по результатам кратковременных испытаний (10^4 циклов или 1,8 часа работы прибора). Учитывая идентичность общих закономерностей накопления усталости текстильными нитями и тканями, показано, что математические модели изменения остаточной циклической деформации при многократном растяжении нитей применимы для прогнозирования показателей сопротивления усталости тканей для верха обуви.

По результатам проведенных исследований разработана экспресс-методика прогнозирования циклической формоустойчивости и интенсивности процесса ее накопления от числа циклов нагружения тканей различного сырьевого состава, применение которой позволяет решить проблему снижения временных затрат на проведение циклических испытаний, обеспечить достоверность прогноза, уточнить целевое назначение ткани и разработать научные основы получения новых материалов с заданными свойствами.

Показана возможность экспресс-прогнозирования циклической формоустойчивости тканей различного сырьевого состава и строения. Прогнозирование величины циклической формоустойчивости проведено с использованием теоретической и эмпирической математических моделей, на основании критерия достоверности модели R^2 обосновано предпочтение применения эмпирической математической модели в целях прогнозирования циклической формоустойчивости.

Выполнена проверка адекватности эмпирической математической модели результатам экспериментальных данных с доверительной вероятностью 0,95 для всех исследуемых образцов тканей. Погрешность прогноза значений не превышает 10 % для всех тканей, что является допустимым в области исследования обувных материалов.

Литература

3.1. Зыбин, Ю. П. Конструирование изделий из кожи : учебник для студентов и вузов / Ю. П. Зыбин [и др.]. – Москва : Легпромбытиздат, 1982. – 264 с.

3.2. Сопротивление усталости. Основные термины, определения и обозначения: ГОСТ 23207-78. – Введ. 01.01.1979. – М.: Изд-во стандартов, 1978. – 48 с.

3.3. Ткани обувные. Общие технические условия: ГОСТ 19196-93. – Введ. 01.01.95. – М.: Изд-во стандартов, 1995. – 7 с.

3.4. Васильчикова, Н. В. Проектирование, строение и свойства меланжевых тканей из лавсановискозной пряжи / Н. В. Васильчикова, А. К. Киселев. – М.: Легпромбытиздат, 1970. – 232 с.

3.5. Склянников, В. П. Строение и качество тканей: монография / В. П. Склянников. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1984. – 176 с.

3.6. Махонь, А. Н. Исследование стойкости тканей к многоцикловым деформационным нагрузкам / А. Н. Махонь // «Социально-экономическое и гуманитарное развитие белорусского общества в 21 веке»: материалы РНК студентов, магистрантов, аспирантов, Минск, 16 декабря 2004 г. / Мин. образования РБ, УО «БГЭУ». – Минск, 2005. – С. 342–343.

3.7. Буркин, А. Н. Исследование эксплуатационных свойств текстильных материалов в условиях многоцикловых динамических нагрузжений / А. Н. Буркин, А. Н. Махонь // «Новое в технике и технологии текстильной и легкой промышленности»: сборник статей МНТК, Витебск, 18–19 октября 2005 г. / Мин. образования РБ, УО «ВГТУ»; редкол.: к.т.н., доц. С. М. Литовский. – Витебск, 2005. – С. 99–101.

3.8. Виноградов, Ю. С. Математическая статистика и ее применение в текстильной и швейной промышленности / Ю. С. Виноградов. – М.: Легкая индустрия, 1970. – С. 76.

3.9. Исследование непродовольственных товаров: учеб. пособие для студентов вузов / И. М. Лифиц [и др.]. – М.: Экономика, 1988. – 343 с.

3.10. Гренандер, У. Лекции по теории образов: Анализ образов / У. Гренандер; пер. с англ. – М.: Мир, 1981. – 448 с.

3.11. Шевцова, М. В. Определение формоустойчивости носочной части обуви в динамических условиях и оценка свойств материалов для подносков. : автореф. ... дис. канд. техн. наук: 05.19.08 / М. В. Шевцова; Бел. торгово-экон. ун-т потреб. кооп. – Гомель, 2004. – 22 с.

3.12. Шеремет, Е. А. Оценка эксплуатационных свойств верха обуви по показателям формоустойчивости. : автореф. ... дис. канд. техн.

наук: 05.19.08 / Е. А. Шеремет; Бел. торгово-экон. ун-т потреб. кооп. – Гомель, 2001. – 21 с.

3.13. Командрикова, Е. Я. Применение комплексного показателя качества для оценки формоустойчивости платьевых тканей / Е. Я. Командрикова, К. Ю. Орлова // Исследование свойств материалов для швейных изделий: сборник научн. тр.; под ред. С. А. Беляевой. – М.: ЦНИИТЭИлегпром, 1986. – С. 4–5.

3.14. Арцишаускайте, Р. В. Формовочные свойства кож для верха обуви в зависимости от вида сырья. : автореф. ... дис. канд. техн. наук: 05.19.01 / Р. В. Арцишаускайте ; Каунас. политехн. ин-т. – Каунас, 1988. – 21 с.

3.15. Международный словарь по метрологии: основные и общие понятия и соответствующие термины: пер. с англ. и фр. / Всерос. науч.-исслед. ин-т метрологии им. Д. И. Менделеева, Белорус. гос. ин-т метрологии. – 2-е изд., испр. – СПб.: НПО «Профессионал», 2010. – 82 с.

3.16. Контроль неразрушающий оптический. Термины и определения: ГОСТ 24521-80. – Введ. 01.01.1982. – М. : Изд-во стандартов, 1981. – 9 с.

3.17. Махонь, А. Н. Эксплуатационные свойства льносодержащих тканей для верха обуви / А. Н. Махонь // Потребительская кооперация, № 3 (26). – Гомель: УО «БГЭУ», 2009. – С. 62–65.

3.18. Махонь, А. Н. Определение формоустойчивости волокнисто – сетчатых анизотропных материалов / А. Н. Махонь // Современные методы и приборы контроля качества и диагностики состояния объектов – Материалы 2-й международной научно-технической конференции, Могилев, 19–20 октября 2006 г. / Мин. образования и науки Республики Беларусь, Мин. образования и науки РФ, ГУ ВПО «Белорусско – российский университет»; редкол.: д.т.н., проф. С. И. Сазонов [и др.]. – Могилев, 2006. – С. 220–222.

3.19. Махонь, А. Н. Определение эксплуатационных свойств текстильных материалов в условиях динамических нагрузжений / А. Н. Махонь // Рынок легкой промышленности. – СПб., 2004. – № 40. – С. 49–51.

3.20. Кукин, Г. Н. Новые методы исследования, строения свойств и оценка качества текстильных материалов / Г. Н. Кукин, А. Н. Соловьёв. – М.: Легпромбытиздат, 1977. – 315 с.

3.21. Кузнецов, А. А. Оценка и прогнозирование механических свойств текстильных нитей : монография / А. А. Кузнецов, В. И. Ольшанский. – Витебск: УО «ВГТУ», 2004. – 225 с.

3.22. Кузнецов, А. А. Разработка экспресс-методов оценки и прогнозирования физико-механических свойств текстильных нитей : автореф. ... дис. докт. техн. наук: 05.19.01 / А. А. Кузнецов; Моск. гос. текст. ун-т. им. А.Н. Косыгина. – Москва, 2007. – 36 с.

3.23. Кузнецов, А. А. Прогнозирование выносливости текстильных нитей методами имитационного моделирования многоцикловых испытаний на растяжение / А. А. Кузнецов, Д. А. Иваненков // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2006. – № 6. – С. 25–29.

3.24. Кузнецов, А. А. Вероятностная модель накопления остаточной циклической деформации при проведении многоцикловых испытаний на растяжение / А. А. Кузнецов // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2007. – № 1. – С. 23–27.

3.25. Кобляков, А. И. Текстильное материаловедение (текстильные полотна и изделия): учеб. для вузов / А. И. Кобляков, Г. Н. Кукин, А. Н. Соловьев. – М.: Легпромиздат, 1992. – С. 134.

3.26. Кукин, Г. Н. Текстильное материаловедение (текстильные полотна и изделия) : учеб. для вузов / Г. Н. Кукин, А. Н. Соловьёв, А. И. Кобляков. – М.: Легпромбытиздат, 1992. – 272 с.

3.27. Медзерян, Д. Е. Исследование интервалов безразличия обуви / Д. Е. Медзерян, А. В. Павлин // Кожевенно-обувная промышленность, 1978. – № 7. – С. 45–47.

3.28. Полуэктова, В. Д. Изучение формоустойчивости материалов для верха текстильной обуви / В. Д. Полуэктова, Л. Г. Плотникова, Я. Н. Лейнов / Совершенствование технологии производства обуви: сб. научн. тр. / ЦНИИКП; под ред. В. П. Рохлина. – М.: ЦНИИТЭлегпром, 1982. – С. 63–71.

3.29. Зайончковский, А. Д. Некоторые вопросы динамической стойкости и структуры искусственной кожи для верха обуви (цикл лекций) / А. Д. Зайончковский. – М.: Легкая индустрия, 1967. – 31 с.

3.30. Буркин, А. Н. Оптимизация технологического процесса формования верха обуви: монография / А. Н. Буркин. – Витебск: УО «ВГТУ». – 2007. – 220 с.

ГЛАВА 4

ИССЛЕДОВАНИЕ И ОЦЕНКА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ВОДОЗАЩИТНЫХ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ОДЕЖДЫ

Методическая база исследования эксплуатационных свойств текстильных материалов для одежды способом циклических комбинированных деформаций представлена двумя основными направлениями. С помощью циклических комбинированных деформаций моделируют условия эксплуатации материалов, при этом исследования свойств материала проводят до и после приложения нагрузок и сравнивают:

- 1) значения показателей свойств материалов;
- 2) параметры структуры материалов.

В зависимости от целей исследования моделирование условий эксплуатации может выполняться с различной скоростью и интенсивностью, при различной температуре и влажности воздуха.

Цели исследования многообразны:

- прогнозирование срока эксплуатации конкретного материала в конкретных условиях эксплуатации;
- выбор материалов из числа имеющихся путем определения наилучшего варианта, обеспечивающего наиболее стабильный уровень показателей свойств или параметров структуры;
- выбор рациональной структуры, способа получения или режимов обработки материала (переплетение нитей в ткани, вид отделочного препарата, температура склеивания, количество и толщина слоев композита и т. п.), при котором его свойства или структура изменяются в допустимых пределах;
- разработка технологии изготовления новых материалов, обладающих высокой степенью надежности в эксплуатации, путем выявления функциональных зависимостей показателей свойств или параметров структуры (что в некоторых случаях взаимообусловлено) от различных факторов при моделировании эксплуатационных нагрузок.

Согласно перечисленным целям, все упомянутые методики исследования помимо прочего включают этап *моделирования эксплуатационных нагрузок*, выполняемый с применением различных средств. Некоторые из них рассмотрены в главе 2.

В настоящей главе рассматриваются результаты исследования водозащитных текстильных материалов по показателям эксплуатационных свойств и методика оценки свойств материалов, включающая анализ условий эксплуатации и моделирование эксплуатационных нагрузок.

4.1 Исследование деформационных показателей текстильных материалов для одежды после моделирования эксплуатационных нагрузок

Значительный интерес для прогнозирования поведения материалов в процессе эксплуатации представляет информация об изменении их механических свойств под воздействием нагрузок, моделирующих условия носки. Основными стандартными характеристиками механических свойств материалов являются разрывная нагрузка и удлинение при разрыве. Цель данного исследования – изучение влияния циклических комбинированных деформаций на характеристики механических свойств плащевых материалов при одноосном растяжении. Для этого контрольные пробы материалов были испытаны согласно ГОСТ 3813-72 с определением показателей абсолютной разрывной нагрузки и абсолютного разрывного удлинения. Пробы такого же размера были подвергнуты моделированию эксплуатационных нагрузок, после чего испытаны тем же методом, что и контрольные.

Для определения разрывной нагрузки и разрывного удлинения при одноосном растяжении использовался стрип-метод. Испытания проводились на разрывной машине РТ-250 при скорости опускания нижнего зажима 100 мм/мин.

Для моделирования эксплуатационных нагрузок использовалась экспресс-методика [4.1] и прибор для определения свойств материалов при многоцикловом нагружении [4.2]. Образцы подвергались испытаниям при угле изгиба оправки 90° , скорости вращения главного вала прибора 1340 оборотов в минуту в течение 15 минут каждый, что соответствует 20 тысячам циклов деформации. После релаксации образцов в течение 24 часов соединительные швы аккуратно распарывались и образцы использовались для испытания при одноосном растяжении в тех же условиях, что и контрольные пробы.

Исследовались полиэфирные и хлопково-полиэфирные плащевые материалы, имеющие водоотталкивающую отделку или полиуретановое водозащитное покрытие, а также мембранные композиционные слоистые материалы на полиэфирной текстильной основе, содержащие беспоровую мембрану, соединенную с основой пористым полиэфируретановым слоем. Характеристика объектов исследования представлена в таблице 4.1. На рисунках 4.1 и 4.2 представлены гистограммы абсолютной разрывной нагрузки и абсолютного разрывного удлинения до и после моделирования эксплуатационных нагрузок (ЭН).

Исследования показали, что наибольшие значения разрывной нагрузки при растяжении вдоль нитей основы и утка у образцов № 1 и № 6, выработанных из нитей различной линейной плотности (утолщенные нити расположены через равные промежутки), значения разрывной

нагрузки при растяжении в направлении нитей утка ниже, чем в направлении основы.

Таблица 4.1 – Характеристика объектов исследования

№ образца	Вид отделки/состав текстильной основы	Толщина, мм	Поверхностная плотность, г/м ²	Переплетение
1	сплошное полиуретановое изнаночное покрытие / ПЭ	0,38	210	полотняное (типа rip-stop)
2	водоотталкивающая отделка / ПЭ	0,22	152	полотняное
3	водоотталкивающая отделка / ПЭ+Хл	0,38	217	саржа
4	водоотталкивающая отделка / ПЭ+Хл	0,42	226	саржа
5	водоотталкивающая отделка / ПЭ+Хл	0,38	223	саржа
6	сплошное полиуретановое изнаночное покрытие / ПЭ	0,34	205	полотняное (типа rip-stop)
7	мембранный слой ПУ микропористый + ПУ беспоровый / ПЭ	0,2	137	комбинированное
8	мембранный слой ПУ микропористый + ПУ беспоровый / ПЭ	0,19	136	комбинированное
9	мембранный слой ПУ микропористый + ПУ беспоровый / ПЭ	0,18	132	комбинированное

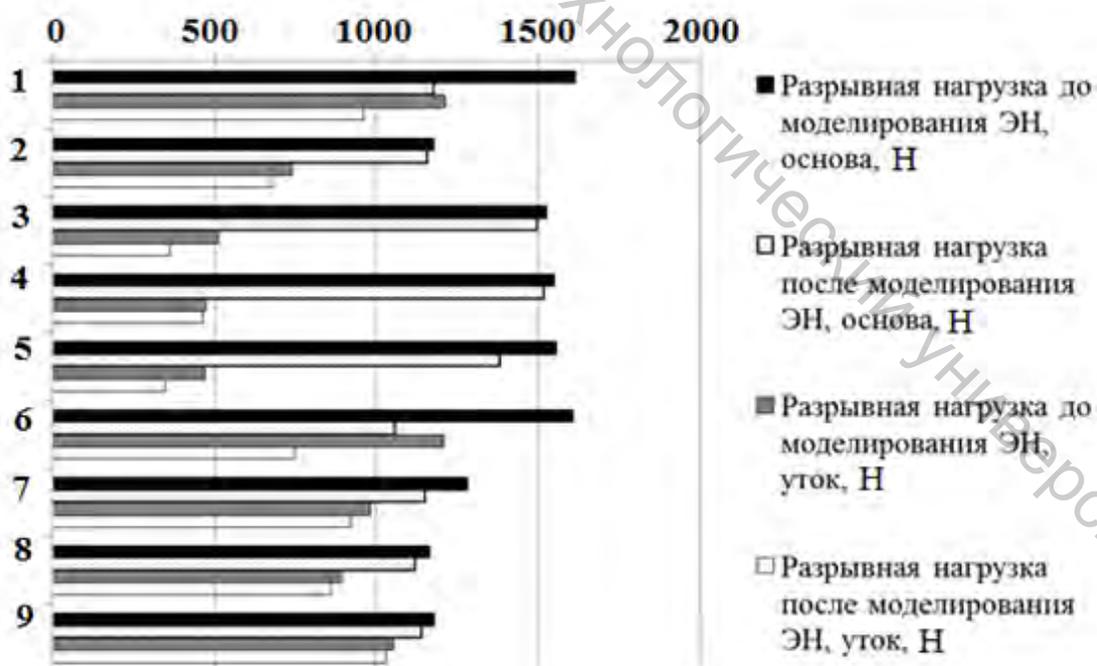


Рисунок 4.1 – Разрывная нагрузка до и после моделирования эксплуатационных нагрузок (ЭН)

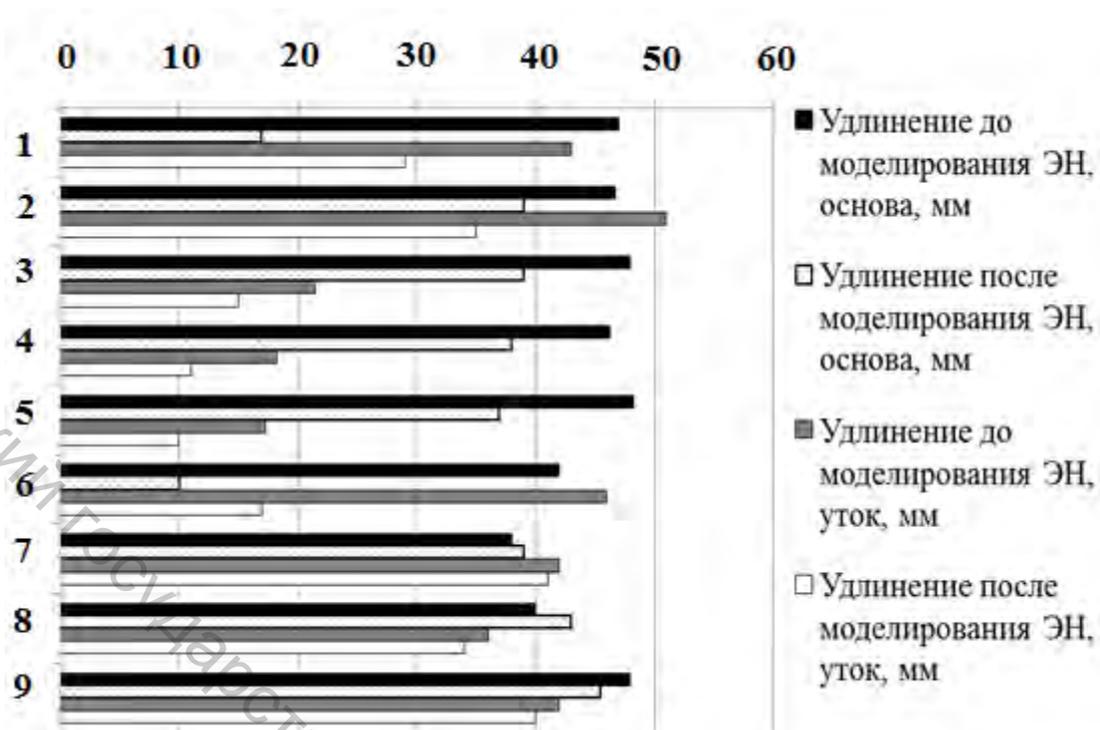


Рисунок 4.2 – Разрывное удлинение до и после моделирования эксплуатационных нагрузок (ЭН)

Более неоднородны по показателям разрывной нагрузки при растяжении в направлении основы и утка образцы № 3, № 4, № 5. Очевидна связь между переплетением и степенью анизотропии исследуемых однослойных материалов – образцы с полотняным переплетением № 1, № 2, № 6 характеризуются меньшей разницей значений абсолютной разрывной нагрузки при растяжении в направлении нитей основы и утка. Образцы № 7, № 8, № 9 отличаются от остальных по структуре – они содержат полимерный мембранный слой, соединенный с текстильной основой. По фактическим значениям разрывной нагрузки они уступают всем остальным образцам, однако их толщина и поверхностная плотность значительно меньше, чем у всех остальных образцов. Именно эти образцы проявляют наименьшую анизотропию свойств, то есть обладают более стабильной разрывной нагрузкой независимо от направления приложения растягивающих усилий. Наименьшая разрывная нагрузка вдоль основы у образца № 8. Наименьшая разрывная нагрузка вдоль утка у образцов № 3, № 4, № 5.

Изменение разрывной нагрузки и разрывного удлинения после моделирования эксплуатационных нагрузок в процентном отношении к первоначальному значению показано на рисунке 4.3.

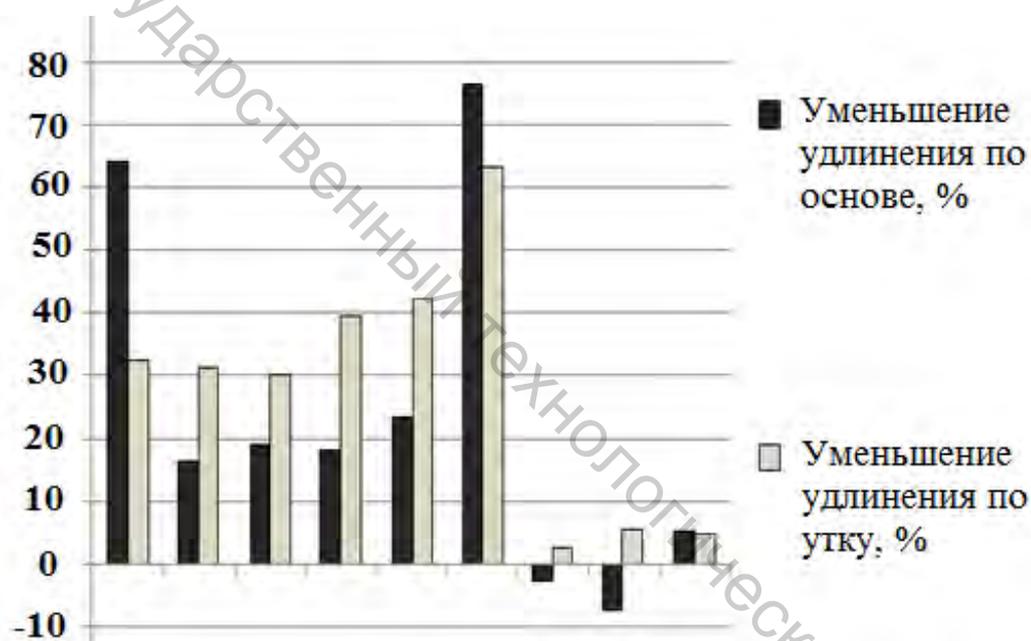
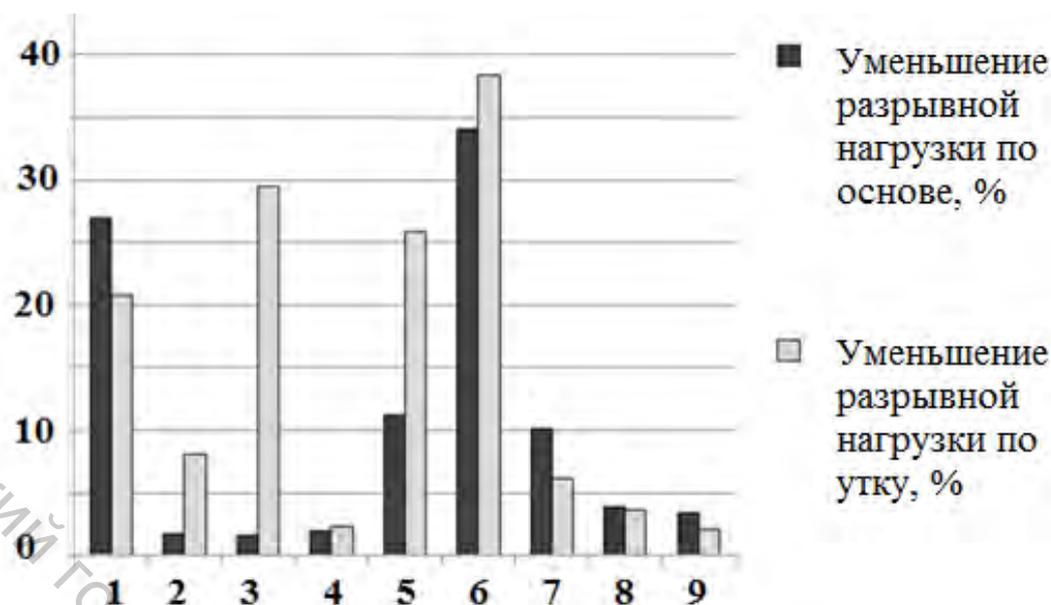


Рисунок 4.3 – Изменение показателей разрывной нагрузки и разрывного удлинения водозащитных материалов после моделирования эксплуатационных нагрузок

Наибольшее снижение разрывной нагрузки (на 38,3 % вдоль утка и на 34,2 % вдоль основы) и разрывного удлинения (76,2 % вдоль основы и 63 % вдоль утка) зафиксировано у образца № 6, близкие результаты и у образца № 1. Эти образцы имеют одинаковую структуру и выработаны с одинаковой отделкой – полиуретановым сплошным изнаочным покрытием. Наименьшие изменения разрывной нагрузки у образцов № 4 и № 2, а также у группы образцов № 7, № 8, № 9. Именно

эта группа образцов показала наилучший результат по показателю изменения удлинения после моделирования эксплуатационных нагрузок. Заметно, что слоистая структура материалов сообщает им определенную стабильность полумоноклового разрывных характеристик при воздействии эксплуатационных нагрузок. Образцы № 3 и № 5 более подвержены изменениям после моделирования эксплуатационных нагрузок в направлении уточных нитей.

При этом наибольшие значения абсолютной разрывной нагрузки при растяжении вдоль нитей основы после моделирования эксплуатационных нагрузок показали образцы № 3, № 4, № 5, тогда как лидеры контрольной группы образцов – № 1, № 6 по этому показателю оказались значительно хуже.

Полученные результаты позволяют заключить, что эксплуатационные воздействия значительно влияют на прочность и деформацию водозащитных материалов при одноосном растяжении. Разрывное удлинение снижается после моделирования эксплуатационных воздействий значительно, чем разрывная нагрузка. Это связано с остаточной деформацией, полученной образцами при приложении многоциклового нагружения, в результате которой изменились и приобрели необратимое перемещение друг относительно друга элементы строения исследуемых материалов (волокна и нити). Вывод справедлив для однослойных материалов с различной отделкой. Композиционные слоистые материалы, содержащие в своей структуре полимерный слой, характеризуются наименьшим изменением удлинения в исследуемом диапазоне нагружения.

В группе исследуемых образцов наиболее устойчивыми к циклическим комбинированным деформациям являются многослойные образцы, содержащие моноклового полимерный слой. Они обладают наиболее стабильной структурой. Материалы с водоотталкивающей отделкой, выработанные саржевым переплетением, проявляют заметную анизотропию свойств – у них процентное изменение разрывных характеристик значительно различается в зависимости от направления приложения растягивающей нагрузки (вдоль нитей основы или нитей утка). У образцов с покрытием разрывная нагрузка и удлинение снижаются резко, они подвержены наиболее значительным изменениям разрывных характеристик после моделирования эксплуатационных нагрузок.

Образцы, сильнее проявляющие анизотропию свойств в контрольной группе (выработанные саржевым переплетением из комплексных полиэфирных нитей в основе и хлопково-полиэфирной пряжи в утке), усугубили эту особенность за счет того, что их свойства в направлении нитей утка изменяются сильнее, чем в направлении нитей основы. К окончанию испытаний они вышли на первые места по разрывной нагрузке вдоль основы и одновременно утвердились на последних позициях по этому же показателю вдоль утка.

Наименьшие изменения по всем показателям наблюдались у образцов № 7, № 8, № 9, механические характеристики которых оказались более стабильными. Таким образом, показано, что на стабильность деформационных характеристик плащевых материалов с водозащитной отделкой в процессе эксплуатации значительно влияют *показатели структуры материала* (волоконный состав, переплетение, количество и тип слоев).

4.2 Исследование водонепроницаемости текстильных материалов после моделирования эксплуатационных нагрузок

Прибор для моделирования циклических комбинированных деформаций материалов для верха одежды и обуви был применен для исследования влияния циклических комбинированных деформаций изгиба, кручения, сжатия и растяжения на водонепроницаемость композиционных слоистых текстильных материалов (КСМ) [4.3].

Исследуемые материалы – это водозащитные композиционные материалы, содержащие мембранный слой. Они характеризуются определенным сочетанием свойств, которое обусловлено структурными особенностями и придает им потребительскую ценность: высоким уровнем водонепроницаемости, воздухопроницаемостью наряду с паропроницаемостью. Благодаря наличию мембранного слоя, такие материалы обеспечивают защиту от воды, ветра и снега, являясь барьером для неблагоприятных воздействий окружающей среды, но не препятствуя при этом прониканию парообразной влаги в среду с наименьшей её концентрацией. Область использования материалов с мембраной широка: изготовление бытовой, спортивной и специальной одежды и обуви, гидроизоляционных строительных оболочек [4.4].

Основные особенности водозащитных материалов для одежды, содержащих мембранный слой, обусловлены составом, химической природой и строением слоев, способом получения слоистой структуры. Наиболее популярны и широко представлены на рынке материалов для одежды материалы с полиэфирными текстильными слоями и полиэфируретановой мембраной, которая, в зависимости от наличия модифицирующих добавок, может проявлять гидрофильность или гидрофобность. По морфологии мембранного слоя принято разделять губчатые или корпускулярные пористые структуры для гидрофобных полимеров и монолитные беспоровые для гидрофильных полимеров. Мембранные материалы чаще всего вырабатывают 2-слойными, 2,5-слойными и 3-слойными [4.5]. В качестве половины слоя обычно указывают ультратонкий (около 20 мкм) слой или «накат» в виде сетки, полос, штрихов, точек полимера. Микрофотографии продольных срезов губчатого и

корпускулярного пористых мембранных слоев представлены на рисунке 4.4.

Несмотря на возрастающую популярность, материалы с мембраной до сих пор являются «terra incognita» для специалистов-швейников. В частности, отсутствует систематизированная информация о стабильности свойств этих материалов в процессе эксплуатации, что приводит к нерациональному выбору материалов в пакет изделия, не учитывающему возможные изменения свойств материалов под влиянием условий эксплуатации. Многократный изгиб, растяжение, сжатие – циклически повторяющиеся механические воздействия, которые в той или иной мере испытывают материалы для одежды любого назначения в процессе носки.

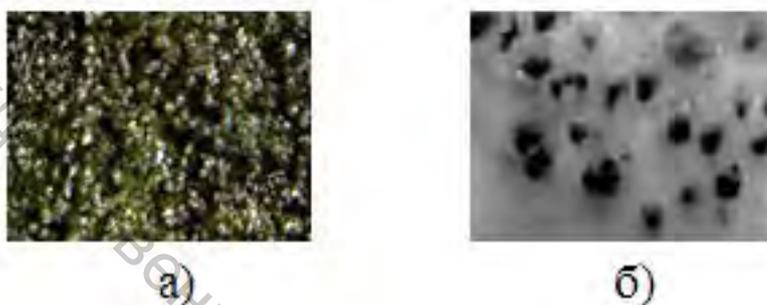


Рисунок 4.4 – Микрофотографии продольных срезов мембранного слоя ($\times 100$): а – корпускулярная структура мембраны; б – губчатая структура мембраны

С течением времени усталостные явления в структуре материала накапливаются, связи между элементами структуры ослабевают, наблюдается разрушение материала в местах наиболее частого приложения нагрузок [4.6]. Не избегают такого влияния и водозащитные материалы, содержащие мембранный слой.

Материалы, свойства которых изменяются в процессе эксплуатации, уже не способны выполнять водозащитную функцию, а обещанный потребителю комфорт сменяется разочарованием и недоверием к производителю. Поэтому исследование влияния эксплуатационных нагрузок на водонепроницаемость водозащитных материалов, содержащих мембранный слой, является актуальной задачей, решение которой позволит повысить долговечность водозащитной одежды за счет обоснованного выбора материалов.

Исследовались композиционные материалы следующих типов:

Тип 1 – 2-слойные с гидрофобным пористым губчатым мембранным слоем, нанесенным на текстильную основу.

Тип 2 – 2,5-слойные с толстым гидрофобным пористым корпускулярным и тонким гидрофильным монолитным мембранным слоем, нанесенным на текстильную основу.

Тип 3 – 2,5-слойные с толстым гидрофобным пористым губчатым и тонким гидрофильным монолитным мембранным слоем, нанесенным на текстильную основу.

Тип 4 – 3-слойные с гидрофобным пористым корпускулярным мембранным слоем, расположенным между слоями текстильной основы и текстильной подкладки.

Тип 5 – то же, но мембранный слой гидрофобный пористый губчатый, в некоторых образцах соединенный с текстильной подкладкой посредством точечно нанесенного связующего.

Характеристика материалов представлена в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Характеристика композиционных слоистых материалов

Номер образца	Фирма, страна	Состав основы / мембраны / подкладки	Поверхностная плотность, г/м ²	Толщина основы / (мембраны) / подкладки, мкм	Переплетение, фаза строения	Плотность нитей на 10 см		Количество слоев (тип)
						по основе	по утку	
1	Ultrex, Корея	ПЭ/ПУ	115	200/(52)	ус. саржа, VI	488	410	2 (тип 1)
2			122	180/(65)	полотн., VII	540	274	
3			118	170/(63)	ус. саржа, V	490	320	
4			133	215/(56)	комбин., VI	582	310	
5			146	162/(51)	полотн., VII	550	364	
6	Sportchief R, Канада	ПЭ / ПУ/ ПЭ	167	174/(15)/172	полотн., V	593	420	3 (тип 5)
7			151	162/(16)/145	полотн., VI	520	520	
8	Моготекс,	ПЭ / ПУ	211	169/(70/24)	осн. репс, VI	450	450	2,5 (тип 2)
9	РБ	ПЭ / ПУ	185	199/(72/22)	комбин., V	310	310	
10	Taslan, Корея	ПЭ / ПУ	139	128/(47/11)	комбин., IV	620	540	2,5 (тип 3)
11	Hiroga, Корея	ПЭ / ПУ	136	121/(38/8)	сложн., VI	580	400	2,5 (тип 3)
12			137	117/(42/15)	сложн., IV	520	410	
13			132	125/(40/13)	сложн., V	560	400	
14	Моготекс, РБ	ПЭ / ПУ/ ПЭ	214	107/(57)/96	полотн., VI	500	500	3 (тип 4)
15	Sportchief R, Канада	ПЭ / ПУ/ ПЭ	121	104/(11)/155	полотн., V	780	780	3 (тип 5)
16			272	152/(13)/455	полотн., VI	540	540	
17			202	168/(19)/347	полотн., VI	430	430	
18	Ultrex, Корея	ПЭ / ПУ	142	269/(75)	полотн., V	340	220	2 (тип 1)
19	117		168/(61)	полотн., V	480	460		
20	Моготекс,		157	179/(58)	саржа, VI	680	460	
21	РБ		171	221/(63)	полотн., V	216	388	
22	Моготекс, РБ		ПЭ + ХЛ / ПУ	266	295/(63/26)	комбин., IV	250	
23	Моготекс, РБ	ПЭ / ПУ / ПЭ	183	107/(66)/105	комбин., VI	480	480	3 (тип 4)
24	Ultrex, Корея	ПЭ/ПУ	142	269/(74)	полотн., V	340	220	2 (тип 1)

Методика исследования изложена в главе 2 разделе 2.6. Исследование выполнялось в несколько этапов: определение начального значения водонепроницаемости материалов, моделирование эксплуатационных нагрузок методом циклических комбинированных деформаций в течение 50, 100 и 150 тысяч циклов, повторное определение водонепроницаемости, расчет относительной водонепроницаемости (в долях от начального её значения).

Результаты исследования представлены на рисунках 4.5–4.7 в виде графиков изменения водонепроницаемости КСМ различных структур относительно начального её значения. Характер кривых, построенных по результатам испытания у всех образцов одинаков – с высокой достоверностью аппроксимации (R^2 от 0,96 до 0,98) кривые описываются графиком экспоненциальной функции, уравнение которой имеет вид (4.1):

$$y = a \cdot e^{b \cdot x} \quad (4.1)$$

Учитывая физический смысл исследуемого процесса, коэффициент a равен 1.

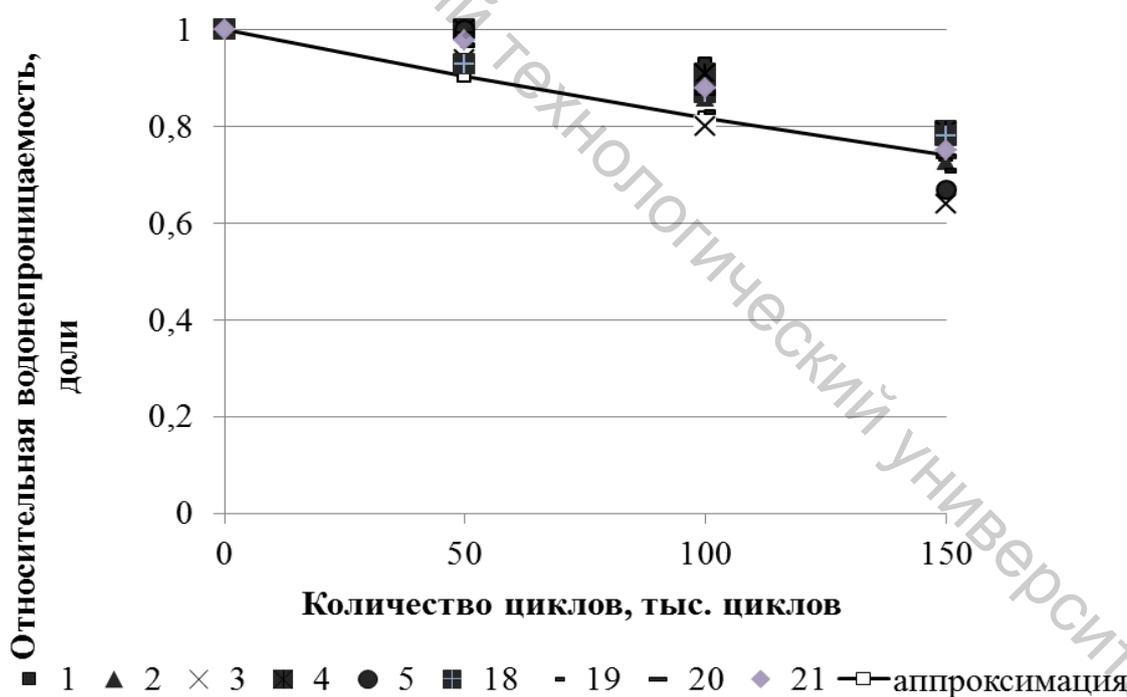


Рисунок 4.5 – График зависимости водонепроницаемости 2-слойных КСМ от количества циклов комбинированных деформаций

Анализ рисунка 4.5 позволяет установить характер и закономерности изменения водонепроницаемости *2-слойных КСМ* в результате моделирования эксплуатационных воздействий. Снижение водонепроницаемости КСМ двухслойной структуры происходит под действием циклических комбинированных деформаций медленно. Разброс значений показателя относительной водонепроницаемости на отметке 150 тысяч циклов наименьший среди исследуемых структурных групп КСМ – все материалы показали уровень относительной водонепроницаемости в диапазоне от 0,6 до 0,8 в конце испытания. Математической моделью процесса изменения водонепроницаемости *2-слойных КСМ* под действием механических нагрузений можно считать уравнение (4.2), описывающее с небольшой относительной средней ошибкой аппроксимации ($\bar{A} = 5,6\%$) общую тенденцию для исследуемых КСМ:

$$y = a \cdot e^{-0.002 \cdot x} \quad (4.2)$$

где y – относительная водонепроницаемость после моделирования эксплуатационных нагрузок, доли от единицы; x – количество тысяч циклов комбинированных деформаций; e – основание натурального логарифма.

После корреляционного анализа показателей толщины мембранного слоя и относительной водонепроницаемости после 150 тысяч циклов выявлена их линейная зависимость (коэффициент корреляции $r_k = 0,73$ при выборке из 9 видов КСМ, уровень значимости 0,05).

Таким образом, при анализе влияния циклических комбинированных деформаций на водонепроницаемость двухслойных КСМ выявлено, что материалы этой структуры наиболее устойчивы к многократному изгибу, растяжению и кручению, причем эта устойчивость зависит от толщины мембранного слоя: чем он толще, тем стабильнее уровень водонепроницаемости при моделировании эксплуатационных нагрузок.

Для материалов *2,5-слойной* структуры, в которых нанесенный на текстильную основу гидрофобный корпускулярный или пористый слой покрыт тончайшим гидрофильным монолитным слоем, также наблюдается экспоненциальный характер кривых снижения показателя относительной водонепроницаемости с ростом количества циклов деформаций. График изменения водонепроницаемости *2,5-слойных КСМ*, представленный на рисунке 4.6, показывает закономерное снижение показателя в результате моделирования эксплуатационных нагрузок. Корреляционный анализ показателей структуры и относительной водонепроницаемости после 150 тысяч циклов показал отрицательную линейную

корреляцию этого показателя с общей толщиной КСМ (коэффициент корреляции $r_k = -0,84$).

Достаточно точно (относительная средняя ошибка аппроксимации 10,7 %) все полученные результаты исследования описываются уравнением (4.3):

$$y = a \cdot e^{-0,004 \cdot x} \quad (4.3)$$

где y – относительная водонепроницаемость после моделирования эксплуатационных нагрузок, доли от единицы; x – количество тысяч циклов комбинированных деформаций; e – основание натурального логарифма.

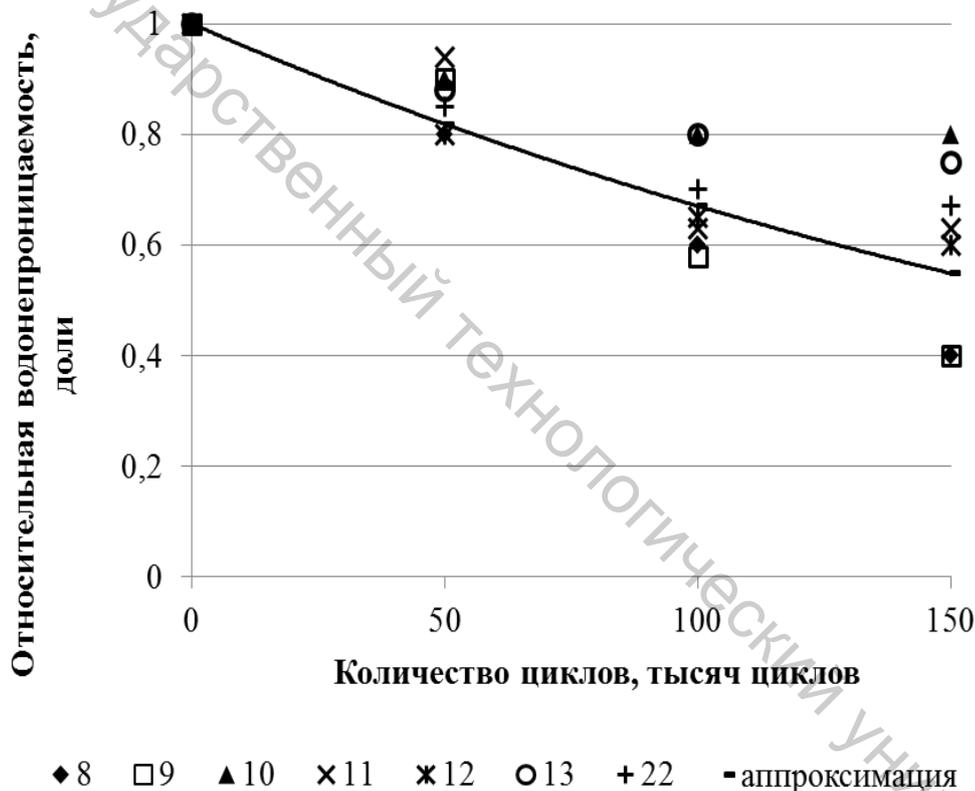


Рисунок 4.6 – График зависимости водонепроницаемости 2,5-слойных КСМ от количества циклов комбинированных деформаций

Таким образом, водонепроницаемость 2,5-слойных КСМ большей толщины после моделирования эксплуатационных нагрузок снижается значительно. Интенсивнее всего снижается водонепроницаемость 2,5-слойных КСМ с корпускулярным мембранным гидрофобным слоем (образцы № 8 и № 9).

Анализ точечной диаграммы рассеяния результатов исследования на рисунке 4.7 показывает, что водонепроницаемость *трехслойных КСМ* с увеличением количества циклов деформаций значительно снижается.

Наибольшее снижение водонепроницаемости после 150 тысяч циклов комбинированных деформаций (до 0,21 относительно начального значения) показал образец № 23, имеющий корпускулярную структуру мембранного слоя. Средними значениями относительной водонепроницаемости (0,27 и 0,31) обладают трехслойные КСМ с малой толщиной мембраны, в которых соединение подкладки и мембраны производится с помощью точно нанесенного на мембрану связующего.

Достаточно точно (относительная средняя ошибка аппроксимации 12 %) все полученные результаты исследования описываются уравнением (4.4):

$$y = a \cdot e^{-0.009 \cdot x} \quad (4.4)$$

где y – относительная водонепроницаемость после моделирования эксплуатационных нагрузок, доли от единицы; x – количество тысяч циклов комбинированных деформаций; e – основание натурального логарифма.

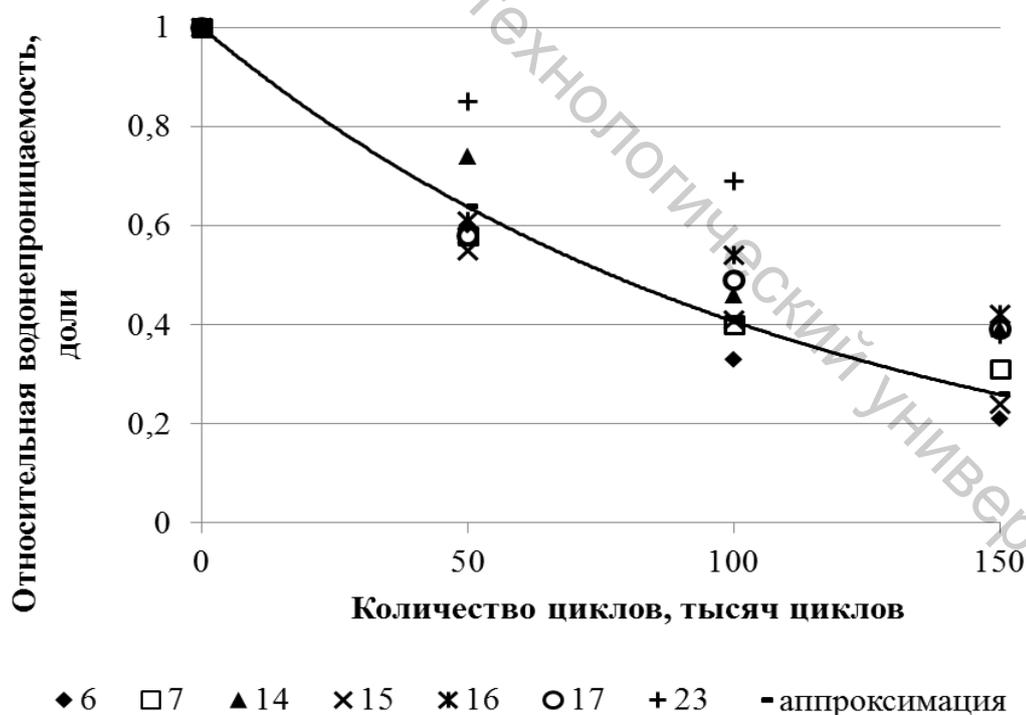


Рисунок 4.7 – График зависимости водонепроницаемости трехслойных КСМ от количества циклов комбинированных деформаций

Если анализировать информацию о результатах опыта без разделения на структурные группы в зависимости от числа слоев, то наблюдается большее снижение водонепроницаемости у образцов, содержащих корпускулярный мембранный слой в составе композита (среднее значение относительной водонепроницаемости после 150 тысяч циклов воздействий – 0,34). Образцы КСМ с толщиной губчатого мембранного слоя свыше 35 мкм показывают в среднем высокое значение относительной водонепроницаемости после 150 тысяч циклов воздействий – 0,71. Материалы с толщиной мембранного слоя до 16 мкм характеризуются различной устойчивостью к многоцикловым нагрузкам, но есть предпосылки считать значимым наличие точечно нанесенного связующего между слоями мембраны и подкладки, снижающего вероятность сохранения начального значения водонепроницаемости после циклических комбинированных деформаций.

Таким образом, применение методики моделирования эксплуатационных нагрузок оказывается полезным для выявления влияния циклических комбинированных деформаций на стабильность уровня водонепроницаемости материалов. Эта информация важна на этапе создания новых композиционных материалов при разработке их структуры, а также на этапе конфекционирования материалов.

4.3 Исследование структуры текстильных материалов после моделирования эксплуатационных нагрузок

Сегодня важным подходом к проблеме создания текстильных изделий бытового и технического назначения с оптимальными потребительскими свойствами является не выбор материалов из имеющихся (а этот выбор часто ограничен), а заказ материалов с заданным комплексом функциональных свойств [4.7]. Поэтому оценка ожидаемых характеристик материала на этапе его создания очень важна. Исследование изменения структуры материалов после эксплуатационных воздействий интересно, поскольку дает представление о тех процессах, которые происходят под влиянием повторяющихся деформаций, и позволяет прогнозировать уровень стабильности свойств материала. Насколько неизменна будет структура материала, настолько стабильны будут и его характеристики, обусловленные строением. Наиболее ярко эта идея проявляется при изучении характеристик композиционных материалов, свойства которых в значительной степени определяются типом структуры.

Исследованию подвергались композиционные материалы, характеристика которых представлена в таблице 4.2. С целью получения данных о структуре исследуемых материалов проводилась микроскопия

поперечного среза материала в отраженном свете с помощью стереоскопического микроскопа, оснащенного видеоокуляром и программным обеспечением для просмотра и работы с изображением на компьютере (МС-1). Определялось количество слоев, составляющих композиционный материал, и структура мембранного слоя (пористая губчатая или корпускулярная, монолитная). По результатам микроскопии пяти поперечных срезов каждого артикула тщательно выбирался участок поперечного среза композита, дающий наиболее типичное и четкое изображение структурных особенностей материала. Микрофотографии выбранного участка сохранялись для дальнейшего изучения.

Исследование поперечного среза материалов с помощью микроскопа проводилось до и после воздействия 150 тысяч циклов комбинированных деформаций, реализованных с помощью прибора, описанного в разделе 2.3 [4.8]. Методика исследования структуры по микрофотографии поперечного среза материала разработана на основе изложенной в [4.9], с дополнениями, учитывающими структурные особенности материалов с мембраной и возможности компьютерной обработки изображений. Подробно методика изложена в главе 2 разделе 2.6 монографии.

В результате проведенных исследований выявлено, что все исследуемые образцы структурных типов 1, 4 и 5 (с гидрофобным мембранным слоем) являются макропористыми с наблюдаемым диаметром пор от 3 мкм до 70 мкм, общая их толщина колеблется от 200 мкм до 300 мкм. Порядок фазы строения текстильной основы исследуемых КСМ с гидрофобным мембранным слоем – от V до VII. Это говорит о практически равномерном распределении нитей основы и утка по опорной поверхности материалов и незначительном преобладании роли нитей основы в формировании слоистой структуры у материалов с фазой VI и VII – высота изгиба волн нитей основы больше, чем утка, поэтому и степень их связанности с нижележащим мембранным слоем больше.

Исследование структуры мембранного слоя показало, что все образцы композиционных материалов с гидрофобной пористой мембраной являются макропористыми и принадлежат к двум видам – с губчатой или корпускулярной структурой мембраны. Губчатая структура характеризуется наличием сквозных пор и каналов, толщина стенок которых значительно меньше их диаметра и общей толщины мембранного слоя. Наблюдаемая на поперечном срезе форма пор – цилиндрическая или коническая с неровными складчатыми стенками. На продольном срезе мембранного слоя наблюдаются поры округлого и многоугольного сечения различных, но сопоставимых размеров. Корпускулярная структура визуализируется хуже из-за бликов света, возникающих на стенках гранул (корпускул) полимера. Гранулы по размеру равномерные, сопоставимые с размерами поперечного сечения элементарных синтетических нитей. Воздушные промежутки между гранулами незна-

чительные, незаметные на фоне самих гранул. При сравнении с изображением мембранного слоя губчатой структуры заметно, что объем пор в корпускулярном полимерном слое в целом меньше.

Для двухслойных образцов (тип 1) характерна значительная глубина проникновения мембраны в текстильную основу, сопоставимая с толщиной мембранного слоя. Трехслойные образцы (типы 4 и 5) четко разделяются по глубине проникновения мембраны в текстильные слои основы и подкладки на две группы. В одной группе мембрана проникает в текстильную основу незначительно, не более чем на 10 мкм, при этом структура мембранного слоя губчатая. В другой группе наблюдается значительное, около 50 мкм проникновение мембраны в прилегающие к ней слои, а структура полимера мембраны корпускулярная. Это связано с особенностями способа получения материалов обеих групп – в первом случае слои соединяются спеканием готовой мембранной пленки и текстильных слоев под действием давления, а во втором – полимерный слой наносится на текстильную основу в жидкой вспененной фазе и до застывания успевает заполнить неровности поверхности основы и подкладки. Исключение составляет образец 6, у которого мембранный слой спекается с текстильной основой, образуя соединение с незначительным проникновением мембраны, а затем склеивается с подкладкой посредством точечного нанесения полимерного связующего. В этом образце мембранный слой практически не проникает в текстильный.

Толщина изученных образцов структурных типов 2 и 3 (содержащих двухкомпонентную мембрану) колеблется в пределах от 170 мкм до 390 мкм, толщина гидрофобного корпускулярного слоя в среднем больше, чем губчатого, как и глубина проникновения мембраны в текстильную основу. Толщина монолитной гидрофильной мембраны колеблется от 11 мкм до 26 мкм. Порядок фазы строения текстильной основы – от IV до VI – несколько меньше, чем у материалов с гидрофобной однокомпонентной мембраной, что объясняется более жесткими условиями процесса производства КСМ с двухкомпонентной мембраной, которые приводят к распрямлению нитей текстильной основы. Толщина текстильной основы колеблется от 117 мкм до 295 мкм. Наблюдаемая структура пористого мембранного слоя такая же, как и у образцов с гидрофобным мембранным слоем. Гидрофильная монолитная мембрана значительно тоньше, чем гидрофобная губчатая или корпускулярная.

Результаты исследования параметров структуры материалов до и после воздействия циклических комбинированных деформаций, моделирующих условия эксплуатации, отражены в таблицах 4.3 (изменение параметров текстильной основы) и 4.4 (изменение параметров структуры мембраны).

Таблица 4.3 – Исследование изменения параметров текстильной основы КСМ под влиянием циклических комбинированных деформаций (150 000 циклов)

Тип	Номер образца	Толщина основы, мкм		Порядок фазы строения	
		До нагрузки	После нагрузки	До нагрузки	После нагрузки
1	2	186,0	172,7	IV	V
1	3	169,4	162,9	V	IV
1	24	269,0	228,1	V	IV
1	5	161,7	153,0	VII	VII
2	8	199,3	222,7	V	IV
2	9	168,4	172,0	IV	V
2	22	295,4	307,4	IV	V
3	10	128,1	120,5	IV	IV
3	11	121,7	136,5	VI	VII
3	12	117,4	133	V	VI
3	13	125,1	118,8	V	VI
4	14	127,3	143,1	VI	VI
4	23	107,3	119,8	VI	VI
5	15	173,9	178	V	VI
5	16	93,8	79,5	V	V
5	17	162,0	161,7	VI	V

Анализ данных таблицы 4.3 позволяет сделать вывод о том, что текстильная основа образцов не претерпевает резких изменений параметров макроструктуры после воздействия циклических комбинированных деформаций.

Наиболее значимые изменения толщины наблюдаются у образцов структурного типа 1 (уменьшение составляет до 15 % от первоначальной) и образцов типа 4 (увеличение составляет до 14 % от первоначальной). Порядок фазы строения текстильной основы исследуемых образцов – от IV до VII. Это говорит о практически равномерном распределении нитей основы и утка по опорной поверхности материалов и незначительном преобладании роли нитей основы в формировании слоистой структуры у материалов с фазой VI и VII – высота изгиба волн нитей основы больше, чем утка, поэтому и степень их связанности с нижележащим мембранным слоем больше. Порядок фазы строения изменяется после многоцикловых механических воздействий незначительно, без видимой закономерности внутри групп образцов различных структурных типов.

Таблица 4.4 – Исследование изменения параметров мембраны КСМ под влиянием циклических комбинированных деформаций (150 000 циклов)

Тип	Но- мер обра- зца	Толщина мембраны (гидрофильного слоя / гидрофобного слоя), мкм		Глубина про- никновения в толщу тек- стильной ос- новы, мкм		Характер изменения структуры мембраны
		до	после	до	после	
1	2	- / 64,5	- / 59,1	27,7	26,2	повышение склад- чатости стенок пор, перераспределение объема пор
	3	- / 63,3	- / 59,4	64,3	36,2	
	24	- / 74,4	- / 60,6	19,3	11,5	
	5	- / 50,6	- / 39,7	25,8	22,2	
2	8	22,1 / 72,3	14 / 43,2	29	18,4	<i>корпускулярный гидрофобный слой:</i> разрыхление, отрыв и миграция корпус- кул через монолит- ный слой; <i>монолитный гид- рофильный слой:</i> перфорация
	9	24,1 / 69,9	24 / 41,4	34,7	42,6	
	22	26 / 62,8	22,4 / 31,4	84,2	23,8	
3	10	12,2 / 47,1	11,7 / 46,1	23,1	18,0	расширение устьев пор, прилегающих к монолитному слою, расслоение, появле- ние воздушных пол- остей на границе раздела слоев
	11	7,9 / 38,3	9,5 / 35,3	17,7	16,4	
	12	15,2 / 42,3	15,8 / 38,0	25,3	29,7	
	13	13,7 / 40,7	11,6 / 37,6	23	11,3	
4	14	- / 56,9	- / 59,4	32,7	35,7	разрыхление, отрыв и миграция корпус- кул через текстиль- ные слои
	23	- / 66,4	- / 70,2	52,1	58,3	
5	15	- / 14,9	- / 8,1	9,8	6,0	уменьшение толщи- ны, появление воз- душных полостей на границе раздела слоев, разрушение вблизи капель свя- зующего
	16	- / 10,8	- / 6,8	4,1	5,3	
	17	- / 16,1	- / 10,8	3,8	6,7	

На рисунке 4.8 представлена микроскопия двухслойного образца структурного типа 1 с губчатым гидрофобным мембранным слоем.

Сравнение изображений до и после циклических деформаций позволяет установить характер изменения структуры.

Мембранный слой становится тоньше за счет смятия и уплотнения, стенки пор приобретают более выраженную складчатость; текстильная основа уплотняется и её толщина уменьшается, нити основы сплющиваются, пучок элементарных нитей основы формирует сечение в форме веретена, а не эллипса, как до многоцикловых испытаний. Увеличиваются расстояния между центрами соседних нитей основы (на участке, попавшем в поле зрения). В толще мембранного слоя становится заметным чередование широких и узких пор, что не наблюдалось до многоцикловых испытаний. Более широкие поры после воздействия наблюдаются в межниточных промежутках, более узкие – в середине перекрытий. За счет сплющивания нитей текстильной основы и их смещения относительно друг друга происходит растяжение мембранного слоя в межниточных промежутках, приводящее для некоторых пор к увеличению диаметра основания, обращенного к текстильной основе.

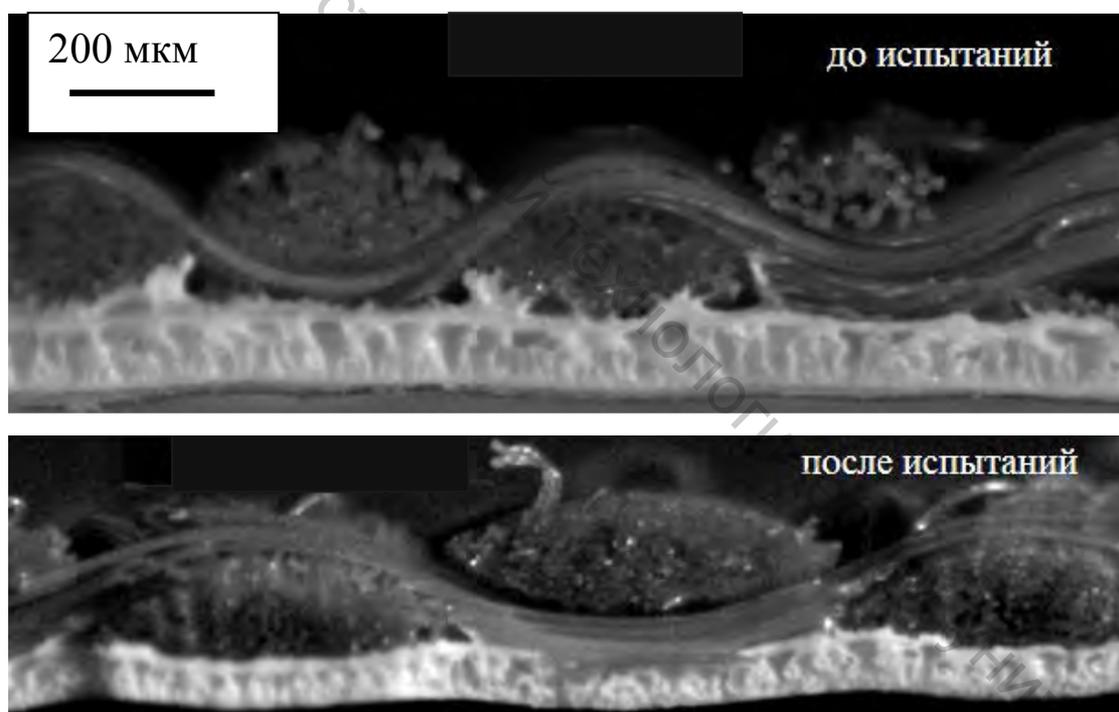


Рисунок 4.8 – Микрофотография поперечного среза материала структурного типа 1 до и после воздействия циклических комбинированных деформаций ($\times 100$)

При анализе микрофотографий отмечено, что форма сечения нитей образцов структурного *типа 1* из эллиптической становится веретенообразной – это связано с большей подвижностью элементарных нитей в образцах указанного типа, поскольку количество слоев в композиционном материале, а соответственно и связей, наименьшее по сравнению

с остальными структурными типами. Следовательно, уменьшение толщины текстильной основы в образцах структурного *типа 1* происходит за счет уплотнения элементарных нитей и сокращения воздушных промежутков между ними. Однако, описанные изменения не нарушают целостности мембранного защитного слоя образцов.

Как показано на рисунке 4.9, у образцов структурного *типа 2* с тонким гидрофильным слоем, покрывающим корпускулярный гидрофобный слой, происходит характерное нарушение структуры после воздействия циклических комбинированных деформаций. Корпускулы гидрофобного слоя, расположенные вблизи вершин волн нитей, формирующих опорную поверхность текстильной основы, в результате многоциклового изгиба, растяжения и сжатия материала отрываются от нитей и мигрируют сквозь гидрофильный слой, нарушая его целостность. Структура мембраны становится более рыхлой, отмечается увеличение параметра «глубина проникновения мембраны в основу» вследствие увеличения изгиба нити утка. Особенно заметно нарушение структуры мембранного слоя вблизи нитей основы с увеличенной толщиной (образцы № 8, № 9), формирующих характерные ячейки на поверхности тканой основы (в зарубежной литературе такое переплетение носит название «rip-stop»). Заметно нарушение целостности монолитного гидрофильного тонкого слоя на участке расположения этих нитей.

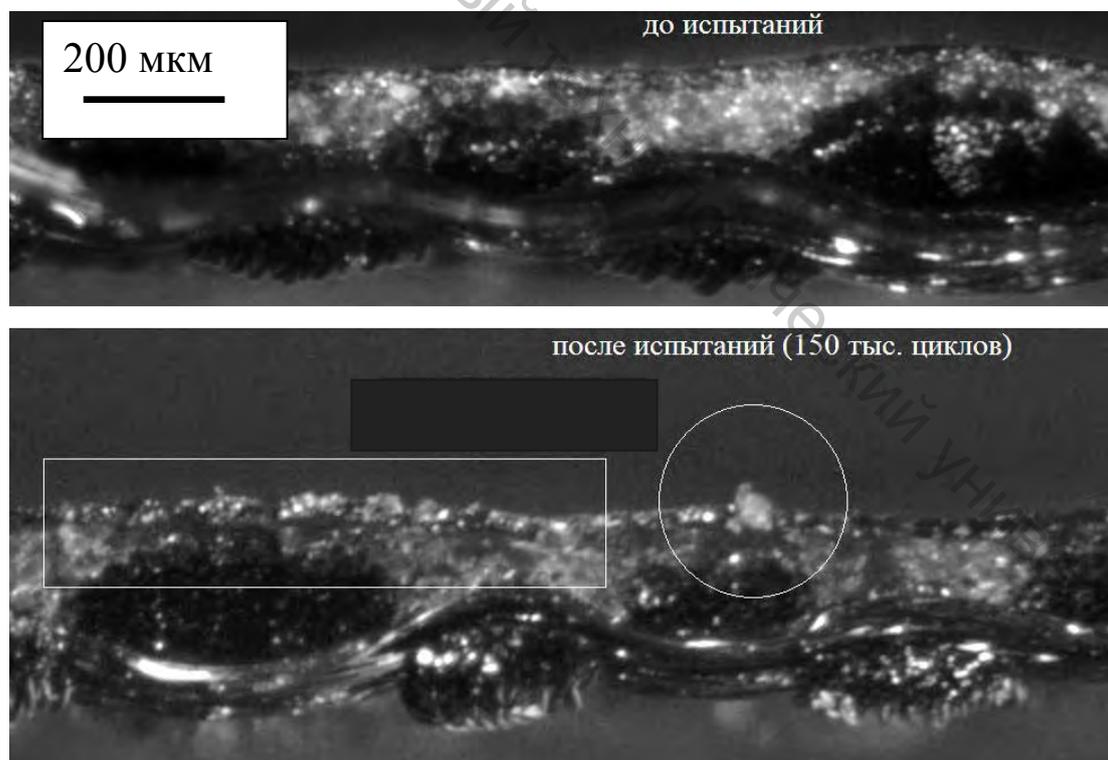


Рисунок 4.9 – Микрофотография поперечного среза материала структурного типа 2 до и после воздействия циклических комбинированных деформаций ($\times 100$)

Изменения структуры образцов *типа 3* с губчатой гидрофобной и тонкой монолитной гидрофильной мембраной можно проследить по рисунку 4.10, где показан срез образца № 10 до и после воздействия циклических комбинированных деформаций.

Общая толщина материала увеличилась после комбинированных циклических деформаций за счет изменения порядка фазы строения тканой основы (нить утка стала более изогнутой) и за счет изменения сечения пучка элементарных нитей основы (начальная форма сечения в виде веретена сменилась на эллиптическую). В результате мембранный гидрофобный губчатый слой на участках межниточного пространства отслоился с образованием четко просматриваемых полостей, размер которых превышает средний размер пор. Граница между слоями (гидрофильным и гидрофобным) мембраны стала более четкой, причем линия границы неодинаковой толщины. Форма пор гидрофобного слоя из конической, направленной острием конуса к гидрофильной монолитной мембране, стала цилиндрической (расширение устьев пор). Наблюдается эффект накопления деформаций на границе раздела мембранных слоев, но целостность слоев сохраняется.

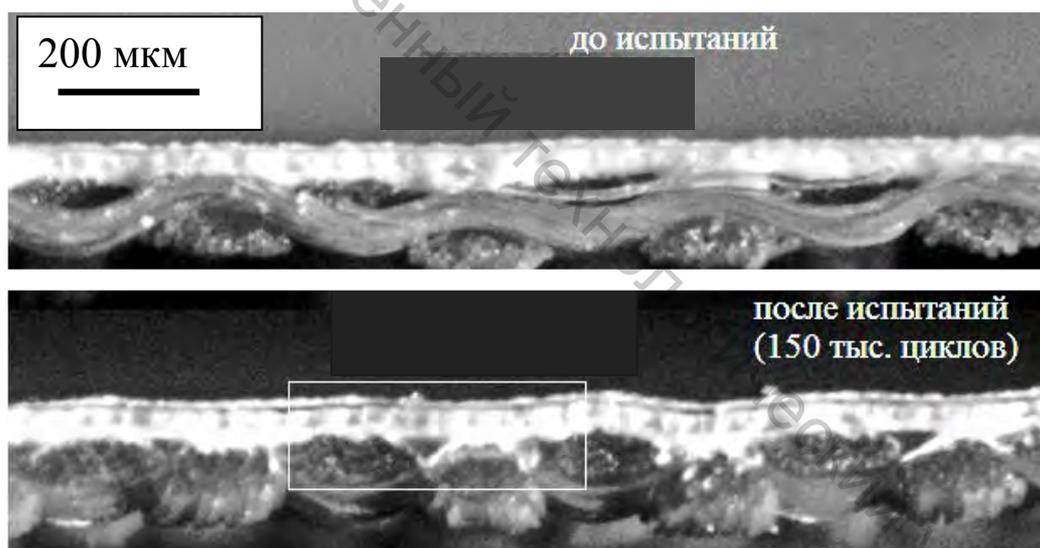


Рисунок 4.10 – Микрофотография поперечного среза материала структурного типа 3 до и после воздействия циклических комбинированных деформаций ($\times 100$)

Анализ микрофотографий образцов структурного *типа 4* объясняет причину увеличения толщины текстильной основы – корпускулярный мембранный слой разрыхляется, единичные корпускулы отрываются и вклиниваются между элементарными нитями текстильной основы, увеличивая расстояния между ними. Это показано на рисунке 4.11.

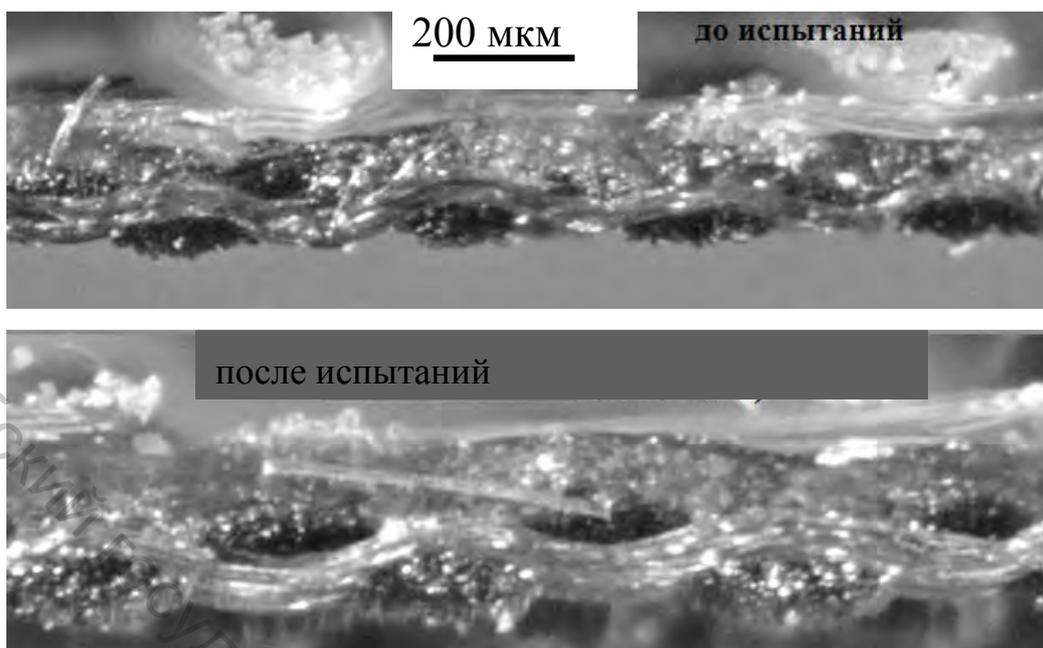


Рисунок 4.11 – Микрофотография поперечного среза материала структурного типа 4 до и после воздействия циклических комбинированных деформаций ($\times 100$)

Таким образом, целостность корпускулярного мембранного слоя нарушается под влиянием циклических комбинированных деформаций, а высвобождающиеся частицы мембраны начинают мигрировать внутри композита и воздействовать на соседние слои.

На рисунке 4.12 – микрофотографии образца структурного типа 5.

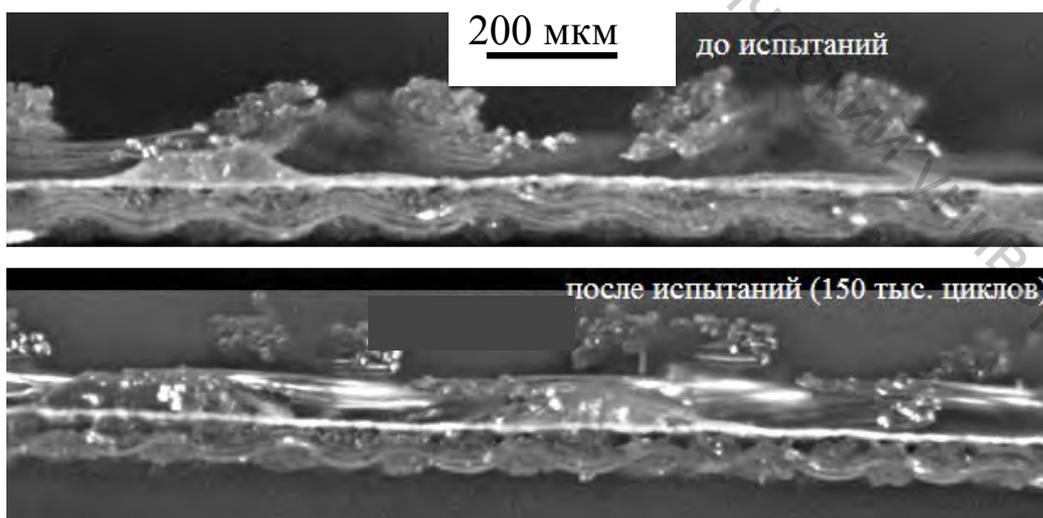


Рисунок 4.12– Микрофотография поперечного среза материала структурного типа 5 до и после воздействия циклических комбинированных деформаций ($\times 100$)

По микрофотографиям образцов структурного *типа 5* заметно, что после испытаний мембранный слой стал тоньше почти в 2 раза, наблюдается прерывистость мембранного слоя после испытаний, особенно в промежутках между нитями основы, указывающая на нарушение его структуры. При незначительном изменении порядка фазы строения текстильной основы (высота волны изгиба нити основы увеличилась, а нити утка – уменьшилась), увеличилась на 15 % общая толщина материала. На рисунке 4.12 видно, что после многоцикловых воздействий произошло значительное увеличение воздушных зазоров между вершиной нити утка и мембраной по сравнению с изображением среза образца до испытаний. То есть наблюдается тенденция к расслаиванию и разрыхлению композита. Дефекты (разрывы) мембраны наблюдаются в окуляр микроскопа на участках, прилегающих к каплям связующего состава.

Проведенный анализ результатов исследования структуры водозащитных материалов с полиэфируретановой мембраной показал, что циклические комбинированные деформации оказывают на характеристики строения образцов значительное влияние. Наиболее подвержен изменениям *мембранный слой* образцов, причем корпускулярный слой разрушается более значительно, чем губчатый, вызывая изменения в структуре прилегающих слоев. Разрушение губчатого мембранного слоя наблюдается только в случае незначительной первоначальной толщины (менее 16 мкм) и скрепления с соседними слоями точечно нанесенным связующим.

Исследование изменения структуры композиционных текстильных слоистых материалов, содержащих мембранный полимерный слой, проведенное с применением методики моделирования эксплуатационных нагрузок, дает представление о том, как могут измениться свойства этих материалов после воздействия циклически повторяющихся деформаций. Нарушение структуры мембранного слоя приведет к снижению уровня водонепроницаемости, изменение характеристик пористого слоя – к изменению механизма транспортирования влаги из пододежного пространства.

Таким образом, в целях обеспечения стабильности структуры и свойств водозащитных материалов под действием комбинированных циклически повторяющихся деформаций, при выборе материалов в пакет швейных изделий, подвергающихся значительным механическим нагрузкам при эксплуатации, следует выбирать материалы структурных типов 1 и 3, у которых при отмеченных изменениях структуры не происходит нарушение целостности защитного мембранного слоя.

4.4 Моделирование эксплуатационных нагрузок в различных температурно-влажностных условиях

В случае, когда на материалы одежды действует пониженная температура воздуха, происходит изменение их свойств. Известно, что существенные изменения претерпевают материалы при одновременном воздействии пониженных температур и трения, многократного изгиба, растяжения: слоистые материалы расслаиваются, образуются микротрещины и просечки слоев, их растяжимость снижается [4.10].

Чаще всего исследование морозостойкости многослойных материалов проводят при совместном воздействии пониженной температуры и однократного или многократного изгиба, определяя степень разрушения слоев визуально. Одним из признаков нарушения структуры материалов является значимое ухудшение их свойств [4.11]. Для композиционных слоистых материалов, содержащих в своей структуре мембранный полимерный слой, имеет смысл исследование совместного влияния пониженных температур, влаги и изгиба на структуру и водонепроницаемость, поскольку именно такие воздействия материалы испытывают во время эксплуатации.

Целью исследования является сравнение характеристик материалов, полученных соединением полиэфирной текстильной основы с полиуретановой гидрофильной монолитной мембраной посредством двух *различных клеевых составов*, для выявления оптимального. Текстильные основы исследуемых образцов выработаны полотняным переплетением из полиэфирных комплексных нитей; мембрана – монолитная гидрофильная; способ получения композита – переносной.

Исследовали материалы производства ОАО «Моготекс», Республика Беларусь, предназначенные для изготовления одежды, защищающей от холода, ветра и атмосферных осадков. Характеристика объектов исследования представлена в таблице 4.5.

Методика исследования предполагает проведение четырех опытов в климатической камере при воздействии на материалы 15 000 циклов изгиба в различных температурно-влажностных режимах:

- кондиционированные образцы при температуре плюс 25 °С и относительной влажности 65 %;
- кондиционированные образцы при температуре минус 15 °С и относительной влажности 0 %;
- увлажненные образцы при температуре плюс 25 °С и относительной влажности 65 %;
- увлажненные образцы при температуре минус 15 °С и относительной влажности 0 %.

До и после каждого опыта выполняли определение водонепроницаемости образцов и их микроскопическое исследование. Увлажнение материалов для моделирования потоотделения проводили в течение 30

минут укладыванием на пропитанный дистиллированной водой холст мембраной (изнаночной стороной материала) к влаге.

Таблица 4.5 – Характеристика объектов исследования

Номер образца	Поверхностная плотность, г/м ²	Вид клея	Характеристика клея	Гидростатическое давление, выдерживаемое образцом в течение 5 минут без промокания (водонепроницаемость), кПа
1	211	FIXAMIN AC W38	термически самосшивающийся эфир акриловой кислоты	30
2	185			40
3	152	ЛАМЕТАН АДН-1	водная дисперсия	70
4	157			70

Испытания проводили в лаборатории кафедры «Техническое регулирование и товароведение» Витебского государственного технологического университета.

Многоциклового изгиб образцов выполняли с помощью флексометра типа ИПК-2М, установленного в климатической камере УТН-408-40-1Р, методика многоциклового нагружения – по ГОСТ ISO 5402-1-2014 [4.12].

Водонепроницаемость образцов определяли методом постоянного гидростатического давления [4.13] с помощью портативного прибора [4.14] по методике, изложенной в [4.15], и оценивали временем, которое выдерживал образец до промокания. Величина прилагаемого гидростатического давления, определяющая начальный уровень водонепроницаемости каждого образца и указанная в таблице 4.5, не изменялась.

Результаты эксперимента представлены в виде гистограммы на рисунке 4.13. По результатам исследования выявлено, что образцы № 1 и № 2, полученные с применением клея FIXAMIN AC W38, прекрасно выдерживают приложенные нагрузки, изменяя уровень начальной водонепроницаемости в пределах 14 %, причем, в увлажненном состоянии «работают» даже лучше. Напротив, образцы № 3 и № 4, содержащие в составе в качестве связующего вещества клей ЛАМЕТАН АДН-1, обладают низкой устойчивостью к моделируемым эксплуатационным воздействиям. Так, оба образца, находясь в кондиционированном состоянии, обнаруживают значительное снижение уровня водонепроницаемости (на 25–60 %) после воздействия многоциклового нагружения, что усугубляет ситуацию.

губляется после увлажнения образцов. Вероятно, это связано с тем, что клей является водной дисперсией.

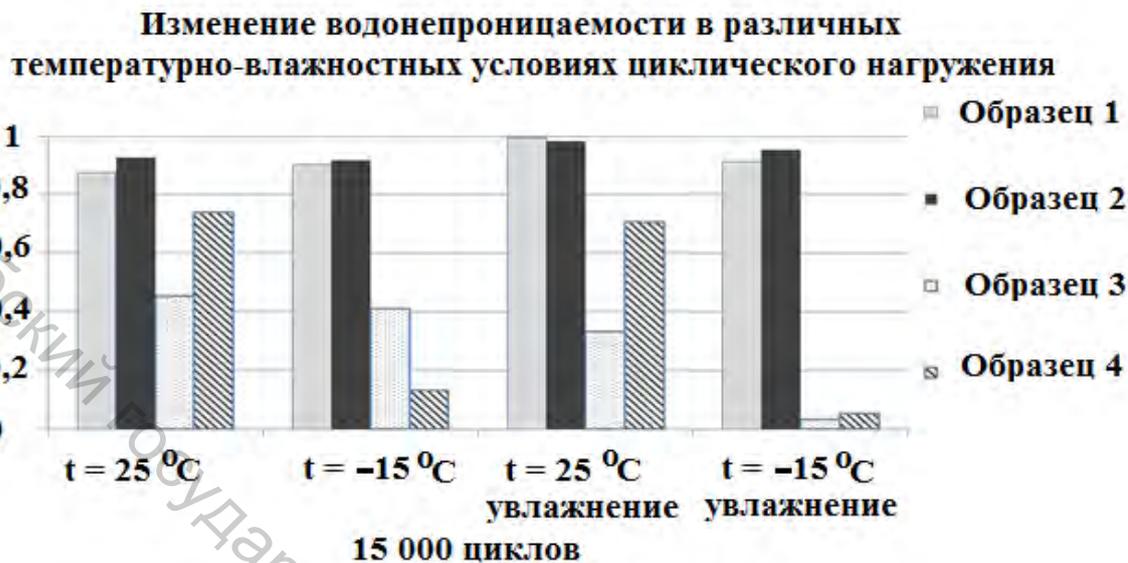


Рисунок 4.13 – Гистограмма относительной водонепроницаемости образцов

Низкие температуры, особенно после увлажнения образцов, губительны для мембранных материалов, полученных с применением указанного препарата. Характерное разрушение мембранного слоя образца № 3 после эксперимента показано на рисунке 4.14.



Рисунок 4.14 – Дефект мембраны после одновременного воздействия влаги, низкой температуры и многоциклового изгиба

Видно, что произошло отслоение и охрупчивание мембраны, появились трещины, просечки, что сказалось на свойствах материала – он потерял способность противостоять воздействию гидростатического давления и промокает мгновенно.

Таким образом, мембранные материалы, полученные с применением в качестве клеящего состава водной дисперсии ЛАМЕТАН АДН-1, нецелесообразно использовать в качестве материалов верха для одежды, защищающей от ветра, влаги и пониженных температур.

Наблюдения за изменением характеристик материалов под воздействием циклических комбинированных деформаций показывают, что сохранение начального уровня потребительских свойств материалов в процессе эксплуатации по назначению в значительной степени обусловлено интенсивностью эксплуатационных воздействий. В связи с этим при выборе материалов в пакет изделия можно заранее определить *номенклатуру* эксплуатационных факторов и *интенсивность* их воздействия и оценить в лабораторных условиях изменение определяющих характеристик материалов. Такой подход создает предпосылки для прогнозирования свойств материалов в процессе эксплуатации и для оценки их качества.

4.5 Оценка эксплуатационных свойств текстильных материалов для одежды

В рамках любой области использования одежды существуют ситуации, требующие защиты человека от воздействия опасных атмосферных явлений различной интенсивности, таких как сильный ветер, продолжительный дождь, ливень, град, гроза, шквал, снег, метель, вихрь и т. п. Рассмотрим погодные условия, при которых эксплуатируется одежда, как комплекс факторов, воздействующих на материалы, из которых она изготовлена. Основными являются факторы: температура, смачивание, гидростатическое давление и удар, скорость движения воздуха – назовём их *факторами окружающей среды*, поскольку они не зависят от носчика и действуют на материал извне.

Комплексное влияние факторов окружающей среды на текстильные материалы исследовали А. П. Жихарев, О. В. Фукина, И. Ш. Абдуллин, Л. Ю. Махоткина [4.16] и многие другие. На проницаемость текстильных материалов для атмосферной влаги, кроме структурных характеристик материала, значительное влияние оказывают тип осадков, разность температур между внутренней и внешней поверхностями одежды, расположение участка поверхности одежды относительно направления действия осадков, скорость движения наружного воздуха. Так, по данным О. В. Метелевой [4.17], при постоянной температуре и

влажности пододежного пространства с увеличением наружной температуры намокание материала происходит быстрее. При одной и той же интенсивности дождевания наиболее проницаемыми для воды оказываются участки поверхности одежды, испытывающие более высокое нормальное давление, то есть расположенные перпендикулярно направлению дождевания. Давление ветра, действующего со скоростью 24 м/с (сильный ветер и шквал согласно [4.18]) на детали одежды составляет 70 кг/м^2 [4.17], в результате чего сила, с которой капли воды при таком ветре действуют на материалы одежды, многократно возрастает.

Скорость движения воздуха оказывает влияние и на микроклимат в пододежном пространстве. Исследования, проводившиеся Б. Б. Койранским, Ю. В. Вадковской, В. И. Кузьминой [4.19, 4.20] и другими авторами, показывают, что при действии ветра скоростью 5 м/с теплопотери организма человека возрастают на 20 % по сравнению с безветренной погодой. При повышении скорости ветра до 10 м/с – на 50 %. Особенно быстро охлаждается организм человека при совместном действии ветра и влаги. В работе [4.21] исследовано комплексное влияние температуры, влажности и скорости движения наружного воздуха на тепловые ощущения человека в одежде. Показано, что различные сочетания этих факторов дают одинаковые теплоощущения. Например, при одной и той же влажности воздуха с увеличением скорости ветра температура воздуха должна повышаться, при одной и той же температуре воздуха увеличение скорости ветра должно совпадать с повышением влажности воздуха для неизменного теплоощущения одетого человека [4.21].

В зависимости от области использования одежды, человек, совершая движения, подвергает материалы воздействиям большей или меньшей интенсивности, выделяет тепло и пот в пододежное пространство. Многократный изгиб, кручение, растяжение, сжатие, давление, трение, температура и влажность пододежного пространства – эти факторы условно обозначим как *факторы назначения*, то есть зависящие от характера деятельности носчика, от назначения одежды.

Сочетание факторов среды и назначения представляет собой условия эксплуатации материалов для одежды. Определить факторы среды и назначения, воздействующие на материалы одежды, не составляет труда. Непросто бывает выявить те характеристики свойств, которые необходимо учесть при выборе материала конкретного назначения, а также вклад каждой характеристики в комплексную оценку эксплуатационных свойств. Для оценки надежности материалов необходим комплексный показатель, позволяющий учесть безотказность работы материала в различных условиях эксплуатации в течение заданного времени. Определение показателя надежности материалов затруднено в связи с отсутствием нормативной и приборной базы, позволяющей выполнить комплексное исследование ряда показателей качества с мини-

мальными экономическими затратами, а также вследствие нехватки методических разработок в этой области.

В связи с вышесказанным в данном разделе определен методологический подход к комплексной оценке надежности материалов конкретного назначения и разработана методика анализа условий эксплуатации материалов, позволяющая определить номенклатуру и весомость показателей свойств материалов.

В таблице 4.6 представлены некоторые характеристики свойств Π_i , отражающие способность материалов обеспечивать надежность под действием факторов среды и назначения.

Таблица 4.6 – Характеристики свойств материала

Факторы, Φ_n	Услов. обо- знач.	Свойство материала	Характеристика, Π_i / условное обозначение	
1	2	3	4	
Среды	Смачивание	С	способность материала скатывать капли воды, попавшие на его поверхность в процессе дождевания	водоотталкивание / Во
	Давление (гидростатическое)	Д	способность материала не пропускать воду при определенном давлении	водонепроницаемость / Вн
	Удар (гидростатический)	У		
	Скорость движения воздуха	В	способность материалов пропускать через себя воздух	воздухопроницаемость / Воз
	Пониженная температура воздуха	Тн	способность материалов сохранять свои свойства при пониженной температуре	<i>относительные: водонепроницаемость / Твн, разрывная нагрузка / Тр после действия низких температур</i>
Многократный изгиб, кручение	И	способность материала противостоять действию факторов изнашивания, сохраняя свои начальные эксплуатационные показатели в заданных пределах	разрывная нагрузка / Рн; <i>относительные: водонепроницаемость / Мвн, разрывная нагрузка / Мр, водоотталкивание / Мво после моделирования эксплуатационных нагрузок</i>	
	Сжатие			Сж
	Растяжение			Р

Окончание таблицы 4.6

1		2	3	4
Факторы назначения	Температура и Влажность пододежного пространства	Тп Вп	способность материала пропускать водяные пары из среды с повышенной влажностью воздуха в среду с меньшей влажностью	паропроницаемость / П
	Растворы синтетических моющих средств	Ст	способность материалов сохранять свойства после стирки	<i>относительные:</i> <i>водонепроницаемость / Свн, паропроницаемость / Сп, разрывная нагрузка / Ср и водоотталкивание / Сво после заданного количества стирок</i>

Немаловажную роль при оценке эксплуатационных свойств играет метод циклических комбинированных деформаций, позволяющий моделировать эксплуатационные нагрузки и определять относительные характеристики свойств материалов путем сравнения значений показателей до и после моделирования.

Методика учитывает стандартные определения характеристик свойств материалов для установления связи между факторами внешней среды, действующей на одетого человека, факторами назначения, определяемыми назначением одежды и способом ухода за изделием, и свойствами материалов, которые позволяют такое воздействие компенсировать, то есть противостоять ему.

Анализ условий эксплуатации предлагается проводить путем установления уровней воздействия факторов среды и назначения на материалы верха одежды. В результате изучения условий эксплуатации проектируемой одежды определяют основные факторы Φ_n , воздействующие на материал, и интенсивность их воздействия. Множество возможных значений факторов представлено в таблице 4.6 в столбце 1.

Методика разрабатывалась для водозащитных материалов, однако авторы считают целесообразным применение подобного подхода при оценке надежности материалов любого назначения.

Интенсивность воздействия фактора согласно разработанной методике определяется тремя уровнями:

- 0 – воздействие фактора не наблюдается или ничтожно мало;
- 1 – эксплуатационный фактор воздействует на материал, но не доминирует;
- 2 – воздействие фактора для данного вида изделия преобладает.

Приоритет характеристик свойств материалов и их набор определяется исходя из верхнетреугольной матрицы приоритетных характеристик свойств (ПХС), соответствующих суммарным эксплуатационным воздействиям.

С учетом наличия и интенсивности воздействия соответствующего фактора ему присваивается *уровень* Y_j и записывается в крайний левый столбец матрицы соответственно фактору. *Уровень* Y_k для каждого фактора записывается и в крайней верхней строке матрицы ПХС. Все элементы матрицы ПХС ниже главной диагонали равны нулю. Количество строк и количество столбцов в матрице равно количеству факторов воздействия. При этом имеет место равенство уровней для одноименных факторов воздействия, порядок записи которых в матрице одинаков (формула 4.5):

$$\text{при } j = k \quad Y_j = Y_k, \quad (4.5)$$

где j – номер строки в матрице ПХС, $j \in [1, n]$, n – количество факторов; k – номер столбца в матрице ПХС, $k \in [1, n]$, n – количество факторов; Y_j – уровень воздействия j -го фактора в анализируемых условиях эксплуатации одежды, баллы, $Y_j \in [0, 2]$; Y_k – уровень воздействия k -го фактора в анализируемых условиях эксплуатации одежды, баллы, $Y_k \in [0, 2]$.

Для каждой пары факторов Φ_{jk} установлена характеристика Π_{jk} свойства, обеспечивающего устойчивость материала к определенному виду воздействий или физиологический комфорт одетого человека под воздействием указанной пары факторов. Множество возможных наименований характеристик свойств для рассмотренных факторов представлено в таблице 4.6 в столбце 4. Фрагмент верхнетреугольной матрицы, используемой для расчета, представлен в таблице 4.7.

Таблица 4.7 – Фрагмент матрицы приоритетных характеристик свойств (ПХС)

Уровни	Y_k	Y_1	Y_2	Y_3	Y_n	Сумма
	Фактор, Φ_n	Φ_1	Φ_2	Φ_3	Φ_n	
Y_j	Φ_n	Характеристика свойства, Π_i / балл, B_{jk}				
Y_1	Φ_1	Π_{11} / B_{11}	Π_{12} / B_{12}	Π_{13} / B_{13}	Π_{1k} / B_{1k}	ΣB_{1k}
Y_2	Φ_2	0	Π_{22} / B_{22}	Π_{23} / B_{23}	Π_{2k} / B_{2k}	ΣB_{2k}
Y_3	Φ_3	0	0	Π_{33} / B_{33}	Π_{3k} / B_{3k}	ΣB_{3k}
Y_j	Φ_n	0	0	0	Π_{jk} / B_{jk}	ΣB_{jk}
Сумма баллов матрицы ПХС						$\Sigma \Sigma B_{jk}$

Расчет весомости характеристик свойств в комплексной оценке надежности материала ведется в следующей последовательности:

1. Расчет балла B_{jk}^i , присваиваемого характеристике Π_i , указанной на пересечении j -й строки и k -го столбца матрицы ПХС по формуле (4.6):

$$B_{jk}^i = Y_j \cdot Y_k, \quad (4.6)$$

где B_{jk} – балл характеристики свойства, обеспечивающего устойчивость материала к суммарному воздействию j -го и k -го факторов.

2. Расчет суммарного балла ΣB_{jk}^i по каждой характеристике свойства Π_i выполняется по всем ячейкам матрицы, где использована одна и та же характеристика. Например, для совместного воздействия пары факторов «смачивание» и «скорость движения воздуха» установлена приоритетная характеристика – водонепроницаемость, так же, как и для пары «гидростатическое давление» и «смачивание», хотя каждому фактору в отдельности поставлены в соответствие и характеристика воздухо-непроницаемости, и водоотталкивания. Тем не менее, именно водонепроницаемость материала характеризует его способность защищать тело человека при совместном воздействии указанных пар факторов.

3. Расчет суммы $\Sigma \Sigma B_{jk}$ всех баллов по всем характеристикам матрицы.

4. Расчет весомости W_i каждой характеристики в комплексной оценке эксплуатационных свойств материалов по формуле (4.7):

$$W_i = \frac{\sum_{j,k} B_{jk}^i}{\sum_{j,k} B_{jk}}, \quad (4.7)$$

где W_i – весомость i -й характеристики свойства, доли от единицы; i – количество характеристик свойств в матрице ПХС.

Матрица приоритетных характеристик свойств, соответствующих суммарным эксплуатационным воздействиям факторов среды и назначения для водонепроницаемых КСМ, представлена в таблице 4.8. Условные обозначения характеристик свойств указаны в соответствии с таблицей 4.6 (столбец 4).

Таблица 4.8 – Матрица ПХС водонепроницаемых материалов для одежды

Фактор воздействия	В	С	Дг	Уг	Р	Мнн	Тп	Вп	Ст	Тн
В (скорость движения воздуха)	Воз	Вн	Вн	Вн	Рн	Мвн	П	П	Свн	Воз
С (смачивание)	0	Во	Вн	Вн	Мво	Мво	Во	Во	Сво	Во
Дг (давление гидростатическое)	0	0	Вн	Вн	Мвн	Мвн	Вн	Вн	Свн	Твн
Уг (удар гидростатический)	0	0	0	Вн	Мвн	Мвн	Вн	Вн	Свн	Твн
Р (растяжение)	0	0	0	0	Рн	Мр	П	П	Спр	Тр
Мнн (многоцикловые нагрузки, меньшие разрывных: изгиб, кручение, растяжение, сжатие)	0	0	0	0	0	Мвн	П	П	Свн	Твн
Тп (температура под одеждой)	0	0	0	0	0	0	П	П	Сп	П
Вп (влажность под одеждой)	0	0	0	0	0	0	0	П	Сп	П
Ст (стирка)	0	0	0	0	0	0	0	0	Свн	Свн
Тн (пониженная температура наружного воздуха)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Твн

При установлении характеристики свойства, записываемой на пересечении строки и столбца матрицы, приоритет был отдан характеристике, обеспечивающей нормальные условия жизнедеятельности человека в одежде, прежде всего защиту и комфорт. В матрице учтены такие закономерности, как возрастание роли паропроницаемости при воздействии многоцикловых механических нагрузок, поскольку причиной таких нагрузок на материалы является активное движение одетого человека, что приводит к повышению температуры и влажности пододежного пространства. В свою очередь, повышение влажности пододежного пространства при одновременном воздействии смачивания, гидростатического давления или удара указывает на приоритет водозащитных свойств, поскольку паропроницаемость как процесс приостанавливается при отсутствии градиента парциальных давлений, направленного из пространства под одеждой наружу.

В отличие от известной методики определения номенклатуры и весомости характеристик экспертным методом [4.22], достаточно часто применяющейся при решении подобных задач, разработанная методика не требует длительного периода подготовки и проведения априорного ранжирования, не зависит от уровня компетентности экспертов. Разработанная методика позволяет учесть различные условия эксплуатации одежды, основана на анализе стандартных определений характеристик свойств материалов, четко устанавливающих фактор воздействия и способность материала проявлять по отношению к этому фактору определенную компенсаторную реакцию. В источнике [4.23]

приведен пример использования матрицы для определения номенклатуры и весомости характеристик свойств КСМ в комплексной оценке эксплуатационных свойств материалов для изделий различного назначения.

С целью апробации разработанной методики проведена оценка эксплуатационных свойств КСМ для водозащитной экипировки байдарочников и каноистов для тренировочной деятельности на открытой воде в осенне-весенний период. Анализ деятельности спортсменов проводился на базе ДЮСШ «Альбатрос» г. Витебска.

Установлено, что тренировки спортсменов-байдарочников и каноистов на открытой воде продолжаются вплоть до замерзания водоема, на котором осуществляется спортивно-тренировочная деятельность. В зависимости от погодных условий, иногда около трети года (с конца февраля до начала мая и с конца сентября до начала декабря) спортсмены нуждаются в одежде, поддерживающей тепловое равновесие организма во время занятий спортом в условиях сильного ветра, пониженной температуры воздуха (от $+8^{\circ}\text{C}$ до -1°C ; а в отдельных регионах Витебской области, на незамерзающих водоёмах, тренировки проводятся и при температуре -15°C) и высокой влажности. Низкая температура окружающей среды неблагоприятно воздействует на организм спортсмена.

Независимо от тренировочной ситуации гребец, прежде всего, находится в непосредственной близости от воды и других спортсменов. Поэтому действие брызг, захват воды кистью руки при гребле, окунание тела в воду, нахождение вблизи влажных частей снаряжения, заливание воды в байдарку и затекание воды по цевью весла – наиболее характерные воздействия, оказываемые тренировочной средой на спортсмена. Известно, что байдарка спортсмена, не пользующегося водозащитным фартуком, за время прохождения дистанции 1000 метров набирает около 4 литров воды вследствие затекания воды по цевью весла при гребке и в результате действия брызг и волны, особенно при движении в кильватере соперника [4.23].

Поэтому защита туловища гребца, кистей рук, а также корпуса спортсмена ниже талии и нижних конечностей спортсмена от переохлаждения в результате контакта с водой имеет первостепенное значение для здоровья байдарочника и каноиста и обеспечивается водонепроницаемостью и водоотталкиванием материалов экипировки.

Состав экипировки гребца для тренировочной деятельности в холодное время года следующий: куртка спортивная водозащитная (применяется в осенне-весенний период); жилет спортивный (применяется в межсезонье); жилет страховочный (по технике безопасности в обязательном порядке должен быть на воспитанниках ДЮСШ во время тренировок на открытой воде); фартук водозащитный на байдарку (предотвращает попадание воды в байдарку); рукавицы водозащитные (покры-

вают кисти спортсмена и часть цевья весла для предотвращения неэффективного захвата весла).

Для оценки эксплуатационных свойств материалов был проведен анализ условий эксплуатации экипировки байдарочника и каноиста.

Уровень интенсивности воздействия факторов среды и назначения, определенный для предметов экипировки в результате анализа спортивно-тренировочной деятельности гребцов, отражен в матрице приоритетных характеристик свойств в таблице 4.9.

Таблица 4.9 – Матрица ПХС для материалов верха экипировки гребца

Уровень воздействия, баллы		Y_k	2	1	0	1	2	2	2	1
Y_j	Эксплуатационные факторы: Условное обозначение (наименование)	C	$Dг$	$Уг$	P	$Mнн$	$Tп$	$Bп$	$Ст$	
		Характеристика свойства / балл								
2	C (смачивание)	Во/4	Вн/2	Вн/0	Мво/2	Мво/4	Во/4	Во/4	Сво/2	
1	$Dг$ (давление гидростатическое)		Вн/1	Вн/0	Мвн/1	Мвн/2	Вн/2	Вн/2	Свн/1	
0	$Уг$ (удар гидростатический)			Вн/0	Мвн/0	Мвн/0	Вн/0	Вн/0	Свн/0	
1	P (растяжение)				Рн/1	Мр/2	П/2	П/2	Ср/2	
2	$Mнн$ (многоцикловые нагрузки)					Мвн/4	П/4	П/4	Свн/2	
2	$Tп$ (температура под одеждой)						П/4	П/4	СП/2	
2	$Bп$ (влажность под одеждой)							П/4	СП/2	
1	$Ст$ (стирка)								Свн/1	

Задача оценки уровня эксплуатационных свойств материалов сформулирована в виде зависимости (4.8):

$$K = f(W_1 \cdot B_{o1}, \dots, W_i \cdot B_{oi}) \longrightarrow \max, \quad (4.8)$$

где K – комплексный показатель эксплуатационных свойств; B_{oi} – относительное значение i -го единичного показателя, определенное дифференциальным методом.

По матрице ПХС (табл. 4.9) по формуле (4.6) рассчитывались баллы характеристик эксплуатационных свойств материалов, по формуле (4.7) проводился расчет их весомости, представленный в таблице 4.10.

В качестве базовых показателей при расчете относительных единичных показателей свойств использовалось максимальное значение для позитивных и минимальное значение для негативных показателей. Комплексный показатель эксплуатационных свойств рассчитывался как

средневзвешенная величина относительных единичных показателей с учетом их весомости [4.25, с. 183–184].

Таблица 4.10 – Расчет весомости характеристик эксплуатационных свойств для материалов верха водозащитной экипировки гребца

Характеристика свойства (условное обозначение)		Сумма баллов	Весомость, доли	
Водоотталкивание (Vo)		12	0,17	
Водонепроницаемость (Вн)		9	0,12	
<i>Относительные:</i>				
<i>Водоотталкивание</i>	<i>после моделирования эксплуатационных воздействий</i>	(Mво)	6	0,08
<i>Водонепроницаемость</i>		(Mвн)	7	0,1
<i>Разрывная нагрузка</i>		(Mр)	2	0,03
Разрывная нагрузка (Р)		1	0,01	
Паропроницаемость (П)		24	0,33	
<i>Относительные:</i>				
<i>Водоотталкивание</i>	<i>после 10 стирок</i>	(Cво)	2	0,03
<i>Водонепроницаемость</i>		(Cвн)	4	0,06
<i>Разрывная нагрузка</i>		(Cр)	1	0,01
<i>Паропроницаемость</i>		(Cп)	4	0,06
Сумма баллов		72	1	

В расчете использованы следующие единичные показатели свойств:

– состояние намокшей поверхности пробы после её дождевания и встряхивания (определяется в баллах по ГОСТ 30292-96 (ИСО 4920-81) [4.26]) для характеристики *водоотталкивания*;

– наименьшая величина гидростатического давления, при котором вода начинает проникать через материал (определяется в Мегапаскалях (МПа) по ГОСТ 413-91(ИСО 1420-87) [4.27]) для характеристики *водонепроницаемости*;

– усилие, выдерживаемое пробами материала при растяжении их до разрыва (разрывная нагрузка) для характеристики *прочности при растяжении*. Разрывная нагрузка рассчитана как среднее арифметическое между показателями разрывной нагрузки по основе и утку, определенными в Ньютонах (Н) по ГОСТ 30303-95 [4.28];

– масса водяных паров, прошедших через единицу площади пробы материала в единицу времени (коэффициент паропроницаемости) для характеристики *паропроницаемости*. Коэффициент паропроницаемости определен в граммах на квадратный метр за 24 часа ($г/м^2/24 ч$) по ГОСТ 22900-78 [4.29];

– относительные показатели свойств рассчитаны в долях от единицы по результатам испытаний до и после моделирования эксплуатационных нагрузок либо до и после воздействия десяти стирок. При их определении использована методика моделирования эксплуатационных нагрузок (ЭН), изложенная в главе 2 разделе 2.6 монографии, и методика домашней стирки по ГОСТ ИСО 6330-2011 (режим стирки – 8А, режим сушки – В) [4.30].

В таблице 4.11 представлен расчет комплексного показателя надежности экипировки гребца.

Таблица 4.11 – Комплексная оценка эксплуатационных свойств КСМ для водозащитной экипировки

Наименование показателя, его условное обозначение, ед. измерения абсолютного / относительного показателя	Абсолютное / Относительное значение показателя ($B_{oi} = B_i / B_{max}$)						
	Номер образца по таблице 4.6						
	1	2	3	4	15	18	19
Водоотталкивание, Во, баллы	100 / 1	100 / 1	100 / 1	100 / 1	100 / 1	100 / 1	100 / 1
Водонепроницаемость, Вн, МПа / баллы	0,1 / 0,71	0,08 / 0,57	0,09 / 0,64	0,11 / 0,79	0,11 / 0,79	0,14 / 1	0,12 / 0,86
Относительное водоотталкивание после моделирования ЭН, Мво, доли от единицы	0,8	0,9	0,9	0,8	0,8	0,9	1
Относительная водонепроницаемость после моделирования ЭН, Мвн, доли от единицы	0,64	0,79	0,78	0,68	0,27	0,79	0,64
Относительная разрывная нагрузка после моделирования ЭН, Мр, доли от единицы	0,82	0,95	0,94	0,92	0,96	0,98	0,97
Разрывная нагрузка, Рн, Н / баллы	812 / 0,96	703 / 0,83	820 / 0,97	742 / 0,88	814 / 0,96	845 / 1	833 / 0,99
Паропроницаемость, П, (г/м ² /24ч) / баллы	4005 / 0,71	4500 / 0,8	5620 / 1	3960 / 0,7	2441 / 0,43	3074 / 0,55	3794 / 0,66
Относительное водоотталкивание после 10 стирок, Сво, доли от единицы	0,8	0,8	0,8	0,8	0,7	0,8	0,8
Относительная водонепроницаемость после 10 стирок, Свн, доли от единицы	0,32	0,57	0,52	0,47	0,82	0,39	0,42
Относительная разрывная нагрузка после 10 стирок, Ср, доли от единицы	0,96	0,91	0,95	0,8	0,85	0,91	0,92
Относительная паропроницаемость после 10 стирок, Сп, доли от единицы	1	1	1	1	0,8	1	1
Комплексная оценка эксплуатационных свойств, баллы	0,76	0,82	0,89	0,78	0,66	0,78	0,79

Согласно данным таблицы 4.11, наилучшим образцом, который обеспечит высокий уровень эксплуатационных свойств материалов верха экипировки в условиях тренировочной деятельности спортсмена-ребца, является образец под номером 3, так как он имеет наивысший балл комплексной оценки 0,89. Этот материал был выбран для изготовления экипировки.

Разработанная методика, дифференцированная по видам и уровням эксплуатационных воздействий, может применяться для определения номенклатуры и весомости показателей в комплексной оценке эксплуатационных свойств текстильных материалов для одежды любого назначения.

Методика позволяет выбирать для одежды материалы, свойства которых соответствуют конкретным условиям эксплуатации, а сохранение уровня этих свойств в процессе эксплуатации по назначению в течение определенного времени будет вполне предсказуемо. Время эксплуатации в данном случае может опосредованно задаваться числом циклов комбинированных деформаций при моделировании эксплуатационных нагрузок.

Литература

4.1. Кукушкина, Ю. М. Методика оценки формоустойчивости текстильных материалов / Ю. М. Кукушкина, В. Д. Борозна, В. А. Окуневич // Стандартизация. – 2013. – Вып. 5. – С. 62–63.

4.2. Прибор для испытания подошвенных материалов на многократный изгиб: полезная модель № 9136 / А.Н. Буркин, Е.А. Егорова, К. Г. Коновалов, А. В. Попов, В. Д. Борозна, В. А. Окуневич, М. И. Долган; дата публ. 30.04.2013.

4.3. Панкевич, Д. К. Влияние многоциклового нагружения на водонепроницаемость мембранных материалов для одежды / Д. К. Панкевич // Модели инновационного развития текстильной и легкой промышленности на базе интеграции университетской науки и индустрии. Образование – наука – производство : сб. ст. / Казан. нац. исслед. технол. ун-т ; редкол.: Л. Н. Абуталипова, В. В. Хамматова, Т. А. Федорова. – Казань. – 2016. – С. 272–278.

4.4. Панкевич, Д. К. Ассортимент и свойства мембранных материалов, используемых в производстве одежды для спорта и активного отдыха / Д. К. Панкевич // Качество товаров: теория и практика : материалы докладов междунар. науч.-практ. конф., Витебск, 15–16 нояб. 2012 г. / Витебский гос. технол. ун-т ; редкол.: А. Н. Буркин [и др.]. – Витебск, 2012. – С. 204–206.

4.5. William, C. Smith. Smart Textile Coatings and Laminates / C. Smith. William. – Elsevier : Wood head Publishing Ltd, 2010. – 320 p.

4.6. Буркин, А. Н. Методика оценки качества текстильных материалов при динамических нагружениях / А. Н. Буркин, К. С. Матвеев, А. Н. Махонь // Проблемы формирования ассортимента, качества и конкурентоспособности товаров : сб. науч. трудов междунар. науч.-практ. конф., Гомель, 15–16 апреля 2004 г. / БелКООПСоюз; Мин. иностранных дел РБ; Мин. торговли РБ; УО «БТЭУ» ; редкол.: д. т. н. В. Е. Сыцко [и др.]. – Гомель, 2004. – С. 23–26.

4.7. Перепелкин, К. Е. Современное материаловедение и рыночная экономика / К. Е. Перепелкин // ЛегПромБизнес. Текстиль. – 2002. – № 2. – С. 33.

4.8. Прибор для испытания материалов для одежды и обуви: полезная модель ВУ10745 / Д. К. Панкевич, А. Н. Буркин, Р. С. Петрова, В. Д. Борозна, Ю. М. Кукушкина, Е. В. Бондарева, О. А. Петрова-Буркина; дата публ. 01.08.2014.

4.9. Склянников, В. П. Строение и качество тканей : монография / В. П. Склянников. – М. : Легкая и пищевая промышленность, 1984. – 176 с.

4.10. Эксплуатационные свойства материалов для одежды и методы оценки их качества : справочник / под ред. К. Г. Гущиной. – М. : Легкая и пищевая промышленность, 1984. – 312 с.

4.11. Бузов, Б. А. Исследование материалов для одежды в условиях пониженных температур / Б. А. Бузов, А. В. Никитин. – М. : Легпромбытиздат, 1985. – 224 с.

4.12. Кожа. Определение прочности на изгиб. Часть 1. Метод с применением флексометра : ГОСТ ISO 5402-1-2014 = ISO 5402-1:2011. – Введ. 01.01.2016. – М. : Стандартинформ, 2015. – 8 с.

4.13. Ткани с резиновым и пластмассовым покрытием. Определение водонепроницаемости : ГОСТ 413-91 = ИСО 1420-87. – Взамен ГОСТ 413-75 ; введ. 27.06.1991. – М. : ИПК Издательство стандартов, 2000. – 6 с.

4.14. Прибор для определения водонепроницаемости материалов методом гидростатического давления: полезная модель ВУ10690 / Д. К. Панкевич, А. Н. Буркин, Р. С. Петрова, В. Д. Борозна ; дата публ. 30.06.2015.

4.15. Буркин, А. Н. Водонепроницаемость текстильных материалов. Разработка методики и прибора для исследования / А. Н. Буркин, Д. К. Панкевич // Стандартизация. – 2016. – Вып. 4. – С. 52–59.

4.16. Влияние факторов окружающей среды на материалы легкой промышленности : монография / А. П. Жихарев [и др.] ; М-во образ. и науки РФ, Казан. технол. ун-т. – Казань : КГТУ, 2011. – 232 с.

4.17. Метелёва, О. В. Теоретико-технологическая разработка процессов герметизации швейных изделий для повышения водозащитных свойств: дис. ... докт. техн. наук : 05.19.04 / О. В. Метелёва. – Иваново, 2007. – 253 л.

4.18. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Природные чрезвычайные ситуации. Термины и определения : ГОСТ Р 22.0.03-95. – Введ. 25.05.1995. – М. : ИПК Издательство стандартов, 1995. – 16 с.

4.19. Полиевский, С. А. Гигиена спортивной одежды и снаряжения / С. А. Полиевский. – М. : Физкультура и спорт, 1987. – 111 с.

4.20. Лаптев, А. П. Гигиена : учебник / А. П. Лаптев, С. А. Полиевский. – М. : Физкультура и спорт, 1990. – 267 с.

4.21. Койранский, Б. Б. Охлаждение, переохлаждение и их профилактика / Б. Б. Койранский. – М. : Медицина, 1966. – 248 с.

4.22. Кирюхин, С. М. Качество тканей / С. М. Кирюхин, Ю. В. Додонкин. – М. : Легкая индустрия, 1986. – 160 с.

4.23. Панкевич Д. К. Методика оценки качества водонепроницаемых композиционных слоистых материалов для одежды / Д. К. Панкевич // Вестник Витебского государственного технологического университета. – 2016. – № 1(30). – С. 40–48.

4.24. Гребля на байдарках и каноэ – техника [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.world-sport.org/cycle/greblya_kayak_canoe/technology/. – Дата доступа: 22.05.2014.

4.25. Мишин, В. М. Управление качеством : учебник / В. М. Мишин. – 2-е изд. – М. : ЮНИТИ-ДАНА, 2005. – 463 с.

4.26. Полотна текстильные. Методы испытания дождеванием : ГОСТ 30292-96 = ИСО 4920-81. – Введ. 01.07.1999. – М. : ИПК Издательство стандартов, 1998. – 6 с.

4.27. Ткани с резиновым и пластмассовым покрытием. Определение водонепроницаемости : ГОСТ 413-91 = ИСО 1420-87. – Взамен ГОСТ 413-75 ; введ. 27.06.1991. – М. : ИПК Издательство стандартов, 2000. – 6 с.

4.28. Ткани с резиновым и пластмассовым покрытием. Определение разрывной нагрузки и удлинения при разрыве : ГОСТ 30303-95 = ИСО 1421-77 ; введ. 01.01.1997. – М. : ИПК Издательство стандартов, 2000. – 8 с.

4.29. Кожа искусственная и пленочные материалы. Методы определения паропроницаемости и влагопоглощения : ГОСТ 22900-78. – Взамен 8971-59 ; введ. 01.01.1979. – М. : ИПК Издательство стандартов, 1998. – 8 с.

4.30. Материалы текстильные. Методы домашней стирки и сушки для испытаний : ГОСТ ISO 6330-2011 = ISO 6330:2011. – Введ. 01.07.2015. – М. : Стандартиформ, 2013. – 15 с.

ГЛАВА 5

ОЦЕНКА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ИЗДЕЛИЙ ЛЕГКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ НОСКИ

Экспериментальные носки дают возможность объективно оценить свойства материалов в процессе эксплуатации при взаимодействии комплекса реальных факторов [5.1]. Поэтому завершающим этапом разработки методов и средств оценки эксплуатационных свойств материалов должна стать проверка их адекватности путем установления степени соответствия результатам экспериментальной носки.

Исследование износостойкости бытовой одежды методом экспериментальной носки характеризуется тем, что разнообразие факторов, влияющих на свойства материалов верха, сложно систематизировать. А вот изучение процессов, происходящих в материалах верха при эксплуатации специальной спортивной экипировки, может дать достаточно точные результаты благодаря следующим условиям:

- подтвержденная методическими и научными разработками спортивной педагогики возможность *классификации* и определения *меры воздействия* основных факторов износа вследствие однотипности выполняемых движений спортсмена и относительной неизменности тренировочной среды при исследовании экипировки для конкретного вида спорта;

- закрепленная в нормативных документах, касающихся спортивной подготовки, возможность получения *статистически значимых* результатов благодаря регулярности, массовости, территориальной локализованности и организованности спортивных занятий;

- возможность планирования эксперимента практически любой длительности за счет известного календарного графика тренировок и регулярного пополнения участниками, выполняющими те же действия и обладающими практически теми же характеристиками, что и выбывшие из эксперимента (пол, возраст, телосложение);

- наличие межрегиональных связей между спортивными школами и регулярный характер спортивных состязаний, развитая сеть спортивных организаций, подчиненных единому центру.

Обобщая сказанное выше, можно утверждать, что изучение свойств материалов для спортивной экипировки методом экспериментальной носки заранее обеспечено необходимой для исследования и рационального применения организационной базой. Методические разработки, основанные на использовании описанных в разделах 2.2 и 2.3 монографии приборов, рассматриваются в данной главе.

5.1 Экспериментальная носка одежды из водозащитных материалов

Экспериментальную носку проводили по договору с Витебской областной ДЮСШ профсоюзов по гребле на байдарках и каноэ «Альбатрос». В качестве объекта исследования при проведении экспериментальной носки использовалась водозащитная экипировка гребца. Опытная партия экипировки байдарочника и каноиста, состоящая из 10 курток спортивных, 10 жилетов спортивных, 15 фартуков на байдарку, 20 пар рукавиц водозащитных и 10 жилетов страховочных была изготовлена на ЗАО ОПТФ «Світанак» (г. Орша) и в лаборатории кафедры «Конструирование и технология одежды» УО «ВГТУ» (г. Витебск) в рамках хозяйственных договоров № 252 от 01.12.2014 и № 261 от 11.03.2016. Фотография байдарочника в экипировке опытной партии представлена на рисунке 5.1.



Рисунок 5.1 – Спортсмен-байдарочник в водозащитной экипировке

С целью установления доминирующих факторов износа, приводящих изделия к непригодности в дальнейшей эксплуатации, определения кинетики износа изделий и выявления взаимосвязи лабораторных и натуральных испытаний проводилась экспериментальная носка опытных

образцов. Образцы экипировки поступили на гребную базу Витебской областной ДЮСШ профсоюзов по гребле на байдарках и каноэ «Альбатрос», в г. Витебске.

В проведении носки принимала участие группа из 10 спортсменов в возрасте 15–17 лет. В группе носчиков были задействованы 5 байдарочников и 5 каноистов. Экипировка использовалась в течение 1,5 года тренировок на открытой воде. График тренировок байдарочников и каноистов предусматривает занятия греблей 4 раза в неделю по 3 часа, из которых 2 часа при любой погоде спортсмены совершенствуют технику гребли на воде.

Экспериментальная носка предметов экипировки начата в феврале 2014 года. В состав экипировки входили следующие изделия:

- куртка спортивная водозащитная (10 ед.);
- жилет страховочный (10 ед.);
- рукавицы водозащитные (10 пар);
- фартук водозащитный на байдарку(10 ед.).

На рисунке 5.2 представлен годовой график использования экипировки для Витебской области, разработанный по данным тренерского состава ДЮСШ «Альбатрос».

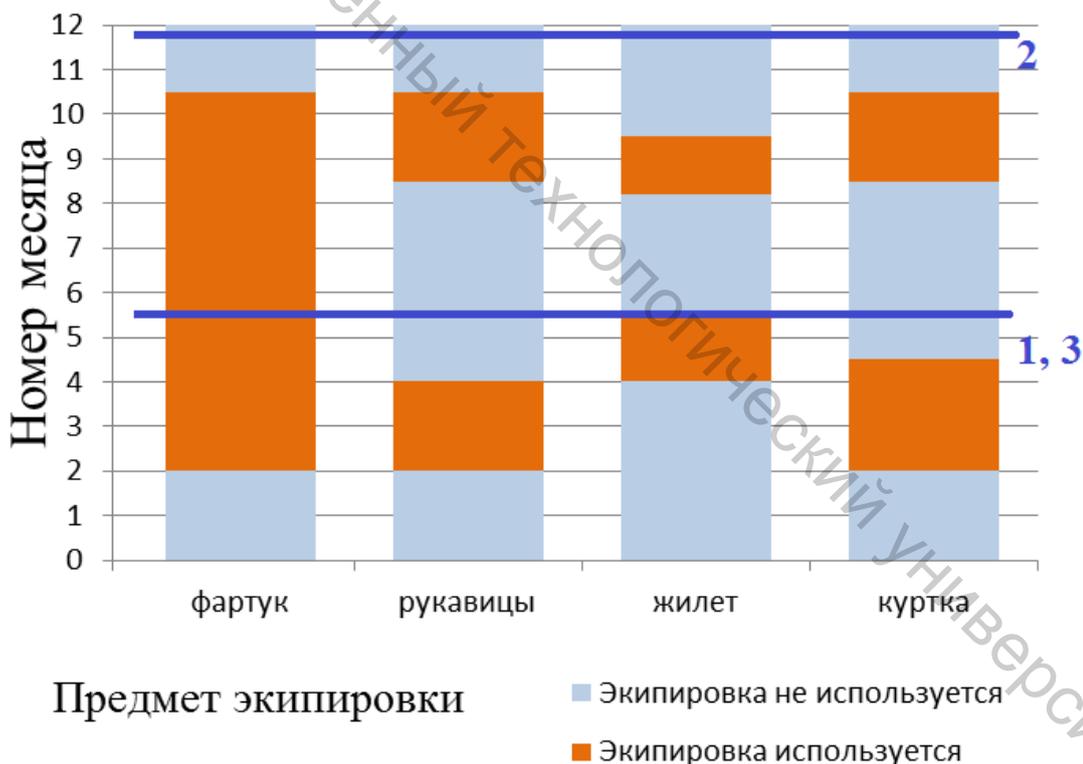


Рисунок 5.2 – Примерный график использования предметов водозащитной экипировки байдарочника и каноиста

Сплошной основной линией на графике показаны даты контроля водонепроницаемости экипировки (1, 2 и 3). Выбор методики

проведения экспериментальной носки основан на следующих особенностях:

– в состав предметов экипировки входили различные КСМ. Использовались материалы, характеристика которых дана в главе 4 в таблице 4.6 под номерами 3 и 15.

– предметы экипировки носили с перерывами, зависящими от погодных условий и посещаемости тренировок, которые невозможно предугадать.

Такие условия опытной носки, когда целостное изделие рассматривается состоящим из отдельных деталей и периодичность носки различна для каждого участвующего в эксперименте изделия, характерна для опытных носок обуви. Поэтому была применена разработанная для исследования эксплуатационных свойств обуви методика проведения опытной носки, изложенная в источнике [5.2, с. 388–392]. В методику были внесены необходимые изменения, связанные с различиями в целях и критериях оценки износа изделий.

Цель проведения экспериментальной носки – определение кинетики изменения водонепроницаемости КСМ для одежды в процессе эксплуатации и сравнение результатов с результатами лабораторного метода моделирования эксплуатационных нагрузок, предложенного в главе 2 разделе 2.6 монографии.

Критерий оценки – показатель водонепроницаемости материала.

Средство оценки водонепроницаемости – разработанный портативный прибор для определения водонепроницаемости методом высокого гидростатического давления [5.3]. Испытания проводились вне лаборатории благодаря портативности прибора.

В связи с сезонностью носки экипировки исследования проводили в конце весеннего или осеннего сезона после сбора и стирки образцов. К началу нового сезона экипировку выдавали тем же носчикам для продолжения исследования.

Решались следующие задачи:

– разработка карточки наблюдения, соответствующей условиям носки;

– определение водонепроницаемости экипировки, проходящей опытную носку, сбор данных о фактическом сроке носки каждой единицы опытной партии;

– расчет среднего фактического числа часов носки для каждого вида материала, входящего в состав экипировки;

– анализ результатов;

– сопоставление результатов лабораторного моделирования эксплуатационных нагрузок и натурных испытаний.

Карточка наблюдения, предложенная для учета информации о ходе носки, представлена в таблице 5.1.

Определение водонепроницаемости экипировки проводилось трижды для всех предметов экипировки. В течение эксперимента измерения проводились на каждом участке однократно для исключения возможности влияния воздействия предыдущего замера на результат.

Таблица 5.1 – Карточка наблюдения

Номер материала	15												
Фамилия носчика	Хлеманенко												
Период	01.02.2015–15.06.2015												
Изделие	Куртка						Жилет						
Отметка об эксплуатации изделия в течение тренировки (2 ч)	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	
	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	
	×	×	×	×	×		×	×	×	×			
Суммарное время носки, ч	38						36						
Точка измерения	1						1						
Водонепроницаемость, МПа	№15	0,076						0,078					
	№19	0,11						0,10					
Период	16.06.2015–01.12.2015												
Изделие	Куртка						Жилет						
Отметка об эксплуатации изделия в течение тренировки (2 ч)	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	
	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	
	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	
	×	×	×	×	×		×	×	×	×	×	×	
							×						
Суммарное время носки, ч	52+38=90						58+36=94						
Точка измерения	2						2						
Водонепроницаемость, МПа	№19	0,04						0,042					
	№15	0,076						0,08					
Период	01.02.2016–15.06.2016												
Изделие	Куртка						Жилет						
Отметка об эксплуатации изделия в течение тренировки (2 ч)	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	
	×	×	×	×	×		×	×	×	×	×	×	
							×						
Суммарное время носки, ч	90+28=118						94+36=130						
Точка измерения	3						3						
Водонепроницаемость, МПа	№15	0,032						0,03					
	№19	0,062						0,068					

5.2 Оценка результатов экспериментальной носки одежды

В процессе эксплуатации предметы экипировки подвергаются действию *факторов среды* (воды, ветра, атмосферных осадков) и *факторов назначения* (изгибу, растяжению, сжатию, кручению, трению). Фартук подвергается небольшому растяжению в области соприкосновения с коленями спортсмена, изгибу, сжатию и трению в местах облегающего фальшборта, а рукавицы – многократному изгибу и трению о поверхность цевья весла. Эти предметы экипировки имеют специфическую область применения и подвергаются значительным механическим нагрузкам со стороны спортивного инвентаря, но не носчика, и не являются адекватной моделью одежды в широком смысле. Поэтому после одного сезона носки результаты, полученные при измерении водонепроницаемости фартука и рукавиц, были исключены из массива обрабатываемых данных, как не соответствующие целям исследования.

Куртка спортивная и жилет спортивный принадлежат к типовой ассортиментной группе и могут участвовать в эксперименте в качестве абстрактной модели плечевой верхней водозащитной одежды. Детали спортивной куртки подвергаются многоцикловому изгибу, кручению, трению в области передних перекатов рукавов в связи с активными движениями рук при гребле. Для деталей куртки и жилета характерны следующие эксплуатационные нагрузки: область спинки на уровне верхних углов подмышечных впадин подвергается многократному растяжению, перед и спинка в области талии испытывают многоциклового изгиб, сжатие и трение вследствие стягивания изделия поясом фартука, а также кручение за счет ритмичных разворотов корпуса спортсмена при гребке. Периодичность воздействий приблизительно можно рассчитать исходя из среднего значения количества гребков при установившемся ритме гребли в условиях тренировки – 30 гр /мин. Данные о ритме гребли получены экспериментально путем подсчета средней скорости 10 спортсменов во время наблюдения за особенностями условий эксплуатации экипировки. Таким образом, за 1 час тренировки материалы верха предметов экипировки, подвергающихся наиболее интенсивному воздействию со стороны носчика (куртка и жилет), получают около 1800 циклов механических воздействий.

Для сопоставления результатов экспериментальной носки с результатами исследования влияния циклических комбинированных деформаций на водонепроницаемость соответствующих материалов были выполнены следующие действия с массивами данных:

– установлены сроки носки в часах для каждого предмета экипировки, соответствующие измерениям водонепроницаемости, и максимальный фактический срок носки для каждого вида материала, участвующего в эксперименте;

– период времени, соответствующий максимальному сроку носки, разбит на интервалы, содержащие приблизительно одинаковое количество фактических измерений водонепроницаемости на разных изделиях. Интервалам времени в часах поставлены в соответствие интервалы количества циклов воздействия исходя из ранее описанного положения, что 1 час тренировочной деятельности гребца соответствует 1800 циклам воздействия тела носчика на одежду;

– рассчитано среднее значение водонепроницаемости каждого вида материала в каждом интервале срока носки;

Максимальный фактический срок носки по результатам экспериментальной носки составил 200 часов или 360 000 циклов воздействия. Интервалы времени, через которые фиксировалась относительная водонепроницаемость для построения графиков, составили 40 часов носки или 72 000 циклов воздействия. Количество фактических измерений водонепроницаемости по каждому виду КСМ и каждому интервалу представлено в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Сводная таблица результатов экспериментальной носки

Интервал, часы	Количество измерений	Средняя относительная водонепроницаемость по образцам		Размах вариации относительной водонепроницаемости	
		№ 15	№ 3	№ 15	№ 3
0...40	20	1	1	0,05	0,03
41...80	24	0,71	0,85	0,09	0,06
81...120	20	0,38	0,62	0,12	0,16
121...160	16	0,3	0,54	0,1	0,15
161...200	20	0,22	0,37	0,04	0,1

– построены графики зависимости относительной водонепроницаемости от количества часов носки;

– выполнено построение графика функции, описывающей прогнозируемое поведение материала каждого вида в эксплуатации с использованием формул аппроксимирующих кривых, полученных в результате лабораторного моделирования эксплуатационных нагрузок в главе 4 разделе 4.2 (формулы 4.2 и 4.4) монографии. Построение проведено в тех же осях координат для удобства сопоставления результатов. Графики представлены на рисунках 5.3 и 5.4. Анализ рисунка 5.3 позволяет отметить, что в процессе эксплуатации (экспериментальные данные) водонепроницаемость 2-слойного материала № 3 снижается практически так же, как в процессе лабораторного моделирования эксплуатационных воздействий. Средняя относительная ошибка

аппроксимации экспериментальных данных *теоретической кривой* составляет $9,2\% < 15\%$ и характеризует эту модель как точную. Таким образом, прогнозировать стабильность водонепроницаемости *2-слойных КСМ* с хорошей точностью можно, используя данные лабораторного моделирования эксплуатационных нагрузок.



Рисунок 5.3 – Теоретическая и экспериментальная зависимости относительной водонепроницаемости образца № 3 от продолжительности носки

Анализ рисунка 5.4, иллюстрирующего результаты исследования 3-слойного образца, выявил сходство теоретической и экспериментальной кривых как по характеру зависимости (экспоненциальная), так и по отдельным значениям относительной водонепроницаемости в конкретный момент времени.

Результаты экспериментальной носки показали, что двухслойные КСМ обладают все же более устойчивой к эксплуатационным воздействиям структурой. Периодический органолептический осмотр выявил ухудшение внешнего вида 3-слойного материала, обусловленное появлением коробления лицевой поверхности, возникшей после эксплуатации грубостью и зернистостью туше. Двухслойный образец, входящий в состав того же изделия, свой внешний вид после эксплуатации не изменил.



Рисунок 5.4 – Теоретическая и экспериментальная зависимости относительной водонепроницаемости образца № 15 от продолжительности носки

Сопоставительный анализ результатов экспериментальной носки и лабораторных исследований подтвердил, что при моделировании эксплуатационных нагрузок по разработанной методике могут быть выявлены значимые для решения задачи выбора материалов особенности изменения характеристик материала в процессе эксплуатации по назначению.

Повышение надежности конструкций современной одежды связано с приближением расчетных методов к реальным условиям ее носки. Расчетная схема элементов конструкции изделия должна учитывать как действительные условия ее эксплуатации, так и разброс механических свойств основных и вспомогательных материалов, используемых для его производства [5.4].

В расчетную практику оценки надежности изделий в последнее время стали активно внедряться статистические методы, учитывающие элемент случайности и дающие возможность прогнозировать надежность изделия при эксплуатации [5.5, 5.6].

Пусть эксплуатация объекта (одежды) выражается в единицах времени t , происходит непрерывно и начинается в момент времени $t = 0$. Появление отказа t считаем случайной величиной. Тогда вероятность безотказной работы за время $(0; \tau)$ будет определяться по формуле (5.1) [5.7]:

$$R(t) = R(t < \tau), \quad (5.1)$$

где $R(t)$ – вероятность безотказной работы одежды в период времени наработки t ; $R(t < \tau)$ – вероятность того, что случайное время безотказной работы одежды будет больше значения t наработки.

Вероятность безотказной работы запишется в виде формулы (5.2) [5.7]:

$$R(t) = \left(N - \sum_{i=1}^t n_i \right) \frac{1}{N}, \quad (5.2)$$

где N – число изделий, находящихся в эксплуатации, ед.; $\sum n_i$ – число изделий, отказавших за время t .

Оценка вероятности отказа определяется по формуле (5.3) [5.7]:

$$Q(t) = \sum_{i=1}^t n_i \cdot \frac{1}{N}, \quad (5.3)$$

где $Q(t)$ – оценка вероятности наступления отказа работы одежды в период времени наработки t .

Пусть за время Δt_i число отказавших изделий увеличилось на Δn_i , тогда плотность вероятности отказов вычисляется по формуле (5.4) [5.7]:

$$f(t) = \lim_{\Delta t_i \rightarrow 0} \frac{1}{N} \cdot \frac{\Delta n_i}{\Delta t_i}, \quad (5.4)$$

где $f(t)$ – плотность вероятности наступления отказа работы одежды в период времени наработки t .

Вероятность отказа одежды при наработке t , меньше требуемой t_1 , рассчитывается по формуле (5.5) [5.7]:

$$R(t \leq t_1) = \int_0^{t_1} f(t) dt, \quad (5.5)$$

где $R(t \leq t_1)$ – Вероятность отказа одежды при наработке t , меньше требуемой t_1 .

Тогда средняя наработка объекта (время реальной эксплуатации одежды) до первого отказа вычисляется по формуле (5.6) [5.7]:

$$t_{cp} = \sum_{i=1}^N \frac{t_i}{N}, \quad (5.6)$$

где t_i – время безотказной работы i -го объекта (изделия).

Интенсивность отказов рассчитывается по формуле (5.7) [5.7]:

$$\lambda(t) = \frac{1}{N_u} \cdot \frac{\Delta n_i}{\Delta t_i}, \quad (5.7)$$

где λ – интенсивность потока отказов; N_u – число изделий, сохранивших работоспособность к моменту времени t .

Интенсивность отказов связана с плотностью вероятности отказов соотношением (5.8) [5.7]:

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)}. \quad (5.8)$$

Вероятность безотказной работы описывается уравнением (5.9):

$$R(t) = \exp(-\lambda t). \quad (5.9)$$

Формула (5.9) выражает экспоненциальный закон надежности. Так как математическое ожидание эксплуатационного ресурса одежды t_c равно $1/\lambda$, то формулу (5.9) можно представить в виде (5.10):

$$R(t) = \exp\left(-\frac{t}{t_c}\right), \quad (5.10)$$

где t_c – математическое ожидание эксплуатационного ресурса одежды, часы.

Для расчета надежности водозащитной одежды необходимо определить перечень нормируемых показателей надежности и выбрать показатели свойств, выход за пределы допустимых значений которых можно использовать в качестве проявления отказа. Определение диапазона распределения ресурса ($T_{min} \div T_{max}$) помогает прогнозировать наиболее вероятный срок носки предмета одежды для установления периодичности замены специального снаряжения и экипировки.

Оценивать этот показатель можно по изменению водонепроницаемости, при этом нижний допустимый предел показателя может быть установлен по нормативно-справочной литературе в соответствии с назначением одежды.

Рассмотрим ресурс материалов верха спортивной экипировки байдарочника и каноиста, прошедшей экспериментальную носку. Состояние материалов верха спортивной водозащитной экипировки должно обеспечивать отсутствие проникания воды в пространство под одеждой под действием брызг воды, образующихся в результате гребли, под действием волны при движении в кильватере соперника, при дожде и ветре средней интенсивности. Ориентировочный уровень водонепроницаемости материала верха одежды, обеспечивающей защиту от воды, представлен в таблице 5.3 [5.8].

Таблица 5.3 – Водонепроницаемость материалов верха водозащитной одежды

Тип дождя	Интенсивность осадков, (мм/ч)	Размер капель, мм	Требуемая расчетная водонепроницаемость, МПа
морось	≤ 1	0,1	0,003
легкий	1...2	0,5	0,018
средней силы	3...10	2	0,074
сильный	10...30	3	0,11
шторм	100...200	8	0,2

Так, согласно источнику [5.8], водонепроницаемость одежды, защищающей от дождя средней интенсивности, должна быть не ниже 0,074 МПа, поэтому критерием оценки ресурса материалов верха было выбрано значение водонепроницаемости материалов верха не ниже 0,074 МПа.

Диапазон изменения ресурса экипировки рассчитывался по результатам экспериментальной носки. В течение 200 часов (100 тренировок) экспериментальной носки измерялась водонепроницаемость мате-

риалов верха примерно через каждые 40 часов носки. Исследовались материалы двух различных структурных типов – 2-слойный КСМ типа 1 (№ 3 из таблицы 4.6) и 3-слойный КСМ типа 5 (№ 15 из таблицы 2.3). Для каждого из 10 носчиков, эксплуатирующих жилет и куртку, была составлена карточка наблюдения по форме таблицы 5.1. После статистической обработки результатов вычислялась скорость снижения водонепроницаемости материалов верха по формуле (5.11):

$$v_i = \frac{P_0 - P_i}{\Delta t_i}, \quad (5.11)$$

где v_i – скорость снижения водонепроницаемости материала за время Δt_i , МПа/час; P_0 – начальное значение водонепроницаемости при $\Delta t_i = 0$, МПа; P_i – среднее значение водонепроницаемости по истечении времени Δt_i , МПа; Δt_i – время от начала эксплуатации изделия до момента измерения P_i , часы.

Средняя скорость снижения водонепроницаемости материалов верха рассчитывалась по формуле (5.12):

$$v_c = \frac{\sum v_i}{i}, \quad (5.12)$$

где v_c – средняя скорость снижения водонепроницаемости материала за время t , МПа/час; i – количество измерений водонепроницаемости материалов верха в течение всего срока экспериментальной носки.

Определялось среднеквадратическое отклонение скорости снижения водонепроницаемости по формуле (5.13).

$$\sigma_v = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^4 (v_i - v_c)^2}{4}}, \quad (5.13)$$

где σ_v – среднеквадратическое отклонение скорости снижения водонепроницаемости материала, МПа/час.

Коэффициент вариации скорости – по формуле (5.14).

$$V = \frac{\sigma_v}{v_c}, \quad (5.14)$$

где V – коэффициент вариации.

Результаты расчетов представлены в таблице 5.4.

Так как скорость снижения водонепроницаемости материалов верха экипировки распределена по нормальному закону, то закон распределения ресурса материалов верха экипировки также нормальный [5.6, с. 72].

Минимальное значение ресурса принимается при $R(T) = 0,025$, когда вероятность наступления отказа (снижения уровня водонепроницаемости до 0,074 МПа) превысит 2,5 %. Максимальное значение – при $R(T) = 0,975$, когда вероятность наступления отказа достигнет 97,5 %. Диапазон возможных значений ресурса ($T_{min} \div T_{max}$) будет охватывать 95 % возможных значений ресурса материалов верха экипировки.

Таблица 5.4 – Результаты расчета скорости снижения водонепроницаемости материалов верха экипировки

Время носки, Δt_i , часы		Средняя водонепроницаемость по образцам, P_i , МПа		Скорость снижения водонепроницаемости, v_i , МПа/час		Среднеквадратическое отклонение скорости, σ_v , МПа/час	
		№15	№3	№15	№3	№15	№3
$i = 0$	0	0,108	0,120			0,00006	0,000055
$i = 1$	80	0,077	0,101	0,00040	0,00024		
$i = 2$	120	0,041	0,075	0,00056	0,00038		
$i = 3$	160	0,032	0,065	0,00048	0,00035		
$i = 4$	200	0,024	0,044	0,00042	0,00038		
Средняя скорость снижения водонепроницаемости, v_c , МПа/час				0,00048	0,00034		
Коэффициент вариации скорости снижения водонепроницаемости, V						0,125	0,162

Закон распределения ресурса материалов верха экипировки определяется выражением (5.15):

$$R(T) = 1 - \Phi \left(\frac{\frac{H}{v_c} - T}{V \cdot T} \right), \quad (5.15)$$

где T – минимальное или максимальное значение ресурса, часы; H – предельно допустимый уровень водонепроницаемости, МПа; v_c – средняя скорость снижения водонепроницаемости, МПа/час; V – коэффициент вариации скорости снижения водонепроницаемости; Φ – функция плотности стандартного нормального распределения (интеграла от плотности вероятностей) в интервале $\pm 2 \cdot \sigma$; H / v_c – средний ресурс материалов верха экипировки, часы.

При $R(T) = 0,025$ имеем минимальное значение ресурса. Значение аргумента функции находим из таблицы значений функции стандартного нормального распределения: $x = 1,96$. При $R(T) = 0,975$ имеем максимальное значение ресурса, из таблицы находим $x = -1,96$ [5.9].

Средний ресурс материала № 3 найден из равенства (5.16):

$$T_{cp} = \frac{H}{v_c} = \frac{0,074}{0,00034} = 217,6 (\text{часов}) \quad (5.16)$$

Тогда минимальное значение ресурса находим из равенств (5.17) и (5.18):

$$0,025 = 1 - \Phi \left(\frac{217,6 - T_{min}}{0,162 \cdot T_{min}} \right), \quad (5.17)$$

$$\Phi \left(\frac{217,6 - T_{min}}{0,162 \cdot T_{min}} \right) = 0,975 = \Phi (x), \quad (5.18)$$

где $x = 1,96$.

Максимальное значение ресурса находим из равенств (5.19) и (5.20):

$$0,975 = 1 - \Phi \left(\frac{217,6 - T_{max}}{0,162 \cdot T_{max}} \right), \quad (5.19)$$

$$\Phi \left(\frac{217,6 - T_{max}}{0,162 \cdot T_{max}} \right) = 0,025 = \Phi (x), \quad (5.20)$$

где $x = -1,96$.

Приравнивая выражение в скобках и значение x , находим значение ресурса. С доверительной вероятностью 0,95 ресурс экипировки находится в диапазоне ($T_{min} \div T_{max}$).

Результаты расчета показали, что средний ресурс использованных для изготовления экипировки материалов $T_{cp}^3 = 217,6$ часов и $T_{cp}^{15} = 154,2$ часа активной тренировочной деятельности байдарочника. При этом комплексная оценка эксплуатационных свойств материалов, рассчитанная по разработанной методике, составила $K_3 = 0,89$ и $K_{15} = 0,66$ баллов соответственно (табл. 4.11), что коррелирует с ресурсом. Результаты расчетов представлены в таблице 5.5.

Таблица 5.5 – Расчет ресурса экипировки

Номер материала верха по таблице 4.6	3	15
Предельно допустимый уровень водонепроницаемости, H , МПа	0,074	0,074
Коэффициент вариации скорости снижения водонепроницаемости, V	0,162	0,125
Средняя скорость снижения водонепроницаемости, v_c , МПа / час	0,00034	0,00048
Средний ресурс материалов верха, T_{cp}	217,6	154,2
Минимальное значение ресурса, T_{min} , часы	165,2	123,8
Максимальное значение ресурса, T_{max} , часы	318,8	204,2
Комплексная оценка эксплуатационных свойств, K_j , баллы	0,89	0,66

Таким образом, способность сохранять уровень водонепроницаемости под действием эксплуатационных нагрузок можно выявить, не проводя длительное исследование в натуральных условиях, заменив его лабораторными методами исследования – это подтверждается сопоставле-

нием теоретической и экспериментально полученной зависимостей водонепроницаемости КСМ от времени носки.

5.3 Экспериментальная носка обуви с верхом из льносодержащих материалов

С целью исследования формоустойчивости верха текстильной обуви в процессе эксплуатации и сопоставления этих результатов с результатами лабораторных исследований изготовлена партия детской прогулочной обуви литьевого метода крепления и партия женских дорожных туфель с верхом из льносодержащих тканей, разработанных в УО «ВГТУ» [5.10]. Льносодержащая ткань, характеристика которой приведена в таблице 5.6 с обозначением 1н, была применена в изготовлении опытной партии детской обуви наряду с льняной тканью бт, которая используется на ОАО «Лидская обувная фабрика» в коллекции «Green Line». Ткань 2н использовалась при изготовлении женской дорожной обуви. Все ткани произведены РУПТП «Оршанский льнокомбинат».

Таблица 5.6 – Характеристика тканей для деталей верха обуви

Наименование и обозначение ткани	Состав сырья, % / Переплетение	Линейная плотность пряжи, текс		Плотность ткани на 100 мм		Поверхностная плотность, $m_s, \text{г/м}^2$
		T_o	T_y	P_o	P_y	
бт Ткань костюмная	Лен 100 / Полотняное	280	202	94	54	290
1н Ткань техническая	Хлопок 50, лен 20, полипропилен 30 / Полутораслойное на базе саржи	50	110	169	217	350
2н Ткань техническая	Хлопок 50, лен 50 / Полутораслойное на базе саржи	50	110	168	209	350

Ткани 1н и 2н разработаны и изготовлены в соответствии с требованиями к тканям техническим по ГОСТ 15530-93 [5.11] и обладают более равномерным строением, чем ткань бт, что иллюстрирует рисунок 5.5.

В таблице 5.7 приведена сравнительная характеристика требований ГОСТ-15530 и ГОСТ-19196. Анализ технических требований стандартов указывает на техническую возможность применения разработанных тканей в производстве обуви. Ткани технические льносодержащие

выбраны с целью исследования возможности их применения в качестве наружных деталей обуви. Внешний вид обуви с верхом из предложенных тканей представлен на рисунках 5.6 и 5.7.

Таблица 5.7 – Сравнительная характеристика требований ТНПА

Обозначение ТНПА	Разрывная нагрузка, кгс, не менее		Гигроскопичность, %, не менее	Стойкость к истиранию, циклы, не менее	Устойчивость окраски, баллы, к воздействию
	основа	уток			
ГОСТ 15530-93	92	67	6	5000	света – 6; дистиллированной воды – 4; сухого трения – 3
ГОСТ 19196-93	75	60	для тканей из натурального сырья не нормируется	2000	света – 5; дистиллированной воды – 4; сухого трения – 3
			для тканей из химических волокон – 5		

Экспериментальная партия детской обуви изготовлена в количестве 25 пар, из которых 10 пар выполнены с верхом из льняной ткани бт в целях сравнительного анализа, остальные – с верхом из ткани с пропиленом 1н. Экспериментальная партия женской обуви изготовлена в количестве 10 пар с верхом из ткани 2н. Для оценки свойств используемых тканей в процессе эксплуатации готового изделия использован метод экспериментальной носки. Срок фактической носки связан с гарантийным сроком эксплуатации на данные виды обуви – 35 дней, согласно ГОСТ 1135-88 [5.12]. При этом срок носки обуви составил 40 дней и был разбит на 4 этапа: через каждые 10 дней производилась оценка внешнего вида и измерение площади носочно-пучковой части.

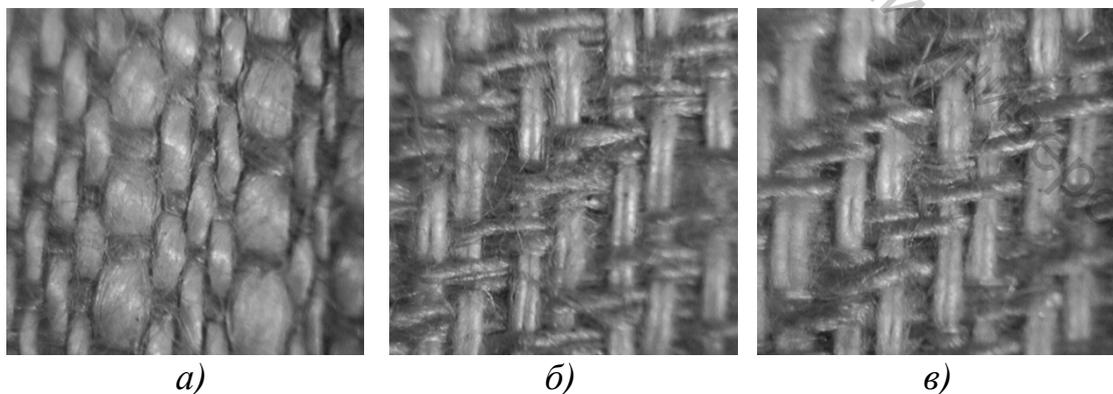


Рисунок 5.5 – Изображение строения тканей для верха обуви:
а – строение ткани бт; б – строение ткани 1н; в – строение ткани 2н



Рисунок 5.6 – Внешний вид детской обуви с верхом из ткани 1н

Экспериментальная носка партии детской прогулочной обуви проводилась в детском саду г. Витебска и в детском летнем оздоровительном лагере «Липки» в условиях внешней среды; экспериментальная носка партии женской обуви – в УЗ «Витебская областная инфекционная клиническая больница».



Рисунок 5.7 – Внешний вид дорожной обуви с верхом из ткани 2н

Количественная оценка изменения формы и размера верха обуви проводилась с помощью приспособления для фиксации исследуемой полупары при ее фотографировании. Каждая полупара обуви была сфотографирована в двух плоскостях до экспериментальной носки (рис. 5.8) и последовательно через каждые 10 дней (рис. 5.9).

Обработка цифровых изображений внешнего вида обуви, так же как и разметок проб после циклических испытаний, проводилась с помощью графического редактора трехмерного твердотельного моделирования КОМПАС-3D. Обработка изображений заключалась в графическом выделении носочно-пучковой части полупары и автоматическом измерении ее площади. Соотношение площади фигуры по истечении экспериментальной носки к исходной, выраженной в %, и характеризует необратимые изменения формы и размеров носочно-пучковой части обуви, которая испытывает максимальные деформирующие комбинированные нагрузки многократного изгиба и растяжения по отношению к другим деталям обуви. Анализ динамики накопления необратимых изменений формы и размера обуви во времени в 4 контрольных точках через 10 дней представлен в таблицах 5.8–5.9.

При обработке результатов за признак износа (потери формы) принимали увеличение размеров носочно-пучковой части более чем на 7,5 %. Количество таких пар рассчитывали как отношение числа полупар с износом более 7,5 % к числу пар испытуемой обуви.

Динамика износа детской обуви с верхом из ткани бт приведена в таблице 5.8.

Таблица 5.8 – Динамика развития износа верха обуви из ткани бт

Интервал, дни фактической носки	Количество осмотренных пар обуви	Количество полупар с износом	Количество полупар с износом, %	Процент полупар с износом, в единицах $\Phi(t)$
0–10	10	2	10,0	–0,8
11–20	9	6	33,3	–0,33
21–30	6	8	66,7	+0,33
31–40	2	4	100,0	+1,0

Данные таблицы 5.8 показывают, что исследуемый признак износа наблюдается у всех 10 пар обуви, причем у большинства в период гарантийного срока эксплуатации. Примером может служить рисунок 5.11, на котором изображена полупара обуви с верхом из ткани бт всего после 10 дней каждодневной носки. Наблюдается сваливание системы верха наружу, значительная деформация верхнего края обуви, что приводило к плохому закреплению обуви на стопе ребенка. На рисунке 5.10 – исходное состояние данной полупары.



Рисунок 5.8 – Внешний вид детской обуви из ткани 1н до экспериментальной носки



Рисунок 5.9 – Внешний вид детской обуви из ткани 1н после 20 дней экспериментальной носки

Износ детской обуви с верхом из ткани 1н происходил с бóльшим отличием, чем из ткани бт. Изменения формы стали наблюдаться в период 20–30 дней носки, а увеличение размеров носочно-пучковой части на 7,5 и более процентов не было отмечено ни у одной полупары за период 40 дней. Динамика износа женской обуви с верхом из ткани 2н приведена в таблице 5.10.

Таблица 5.10 – Динамика развития износа верха обуви из ткани

Интервал, дни фактической носки	Количество осмотренных пар обуви	Количество полупар с износом	Количество полупар с износом, %	Процент полупар с износом, в единицах $\Phi(t)$
0–10	10	0	0	0
11–20	10	0	0	0
21–30	10	2	10	–0,8
31–40	9	2	22,2	–0,56

Из данных таблицы 5.10 следует, что потеря формы более 7,5 % наблюдается только у одной пары обуви из десяти, причем к концу гарантийного срока носки.

Метод экспериментальной носки позволяет прогнозировать средний срок службы элементов обуви. Его выражают в днях фактической носки до появления анализируемого дефекта (износа) в 50 % обуви.

Расчет среднего срока службы основан на использовании свойств нормального распределения, к которому близки распределения, характеризующие развитие износа обуви в период носки. Для этого по экспериментальным данным строят интегральную (суммарную) кривую распределения – огиву: по оси абсцисс кривой откладывают дни фактической носки, по оси ординат – число полупар с дефектами изучаемой детали в процентах. Пользуясь этой кривой, устанавливают значение абсциссы, соответствующее появлению дефекта в 50 % обуви, которое и представляет собой средний срок службы до появления дефекта (износа) исследуемых элементов. Однако в реальных условиях для появления дефектов во всех полупарах обуви в экспериментальной носке требуется продолжительное время. Экспериментальную носку обычно заканчивают, когда порок проявляется в 25–30 % обуви, а средний срок службы рассчитывают графоаналитическим методом на основе, так называемой, усеченной кривой распределения, выявляя кинетику появления дефектных полупар [5.2]. В настоящих исследованиях экспериментальная носка всех пар обуви была доведена до конца для получения сведений об изменении первоначальной формы носочно-пучковой части обуви в период гарантийного срока.

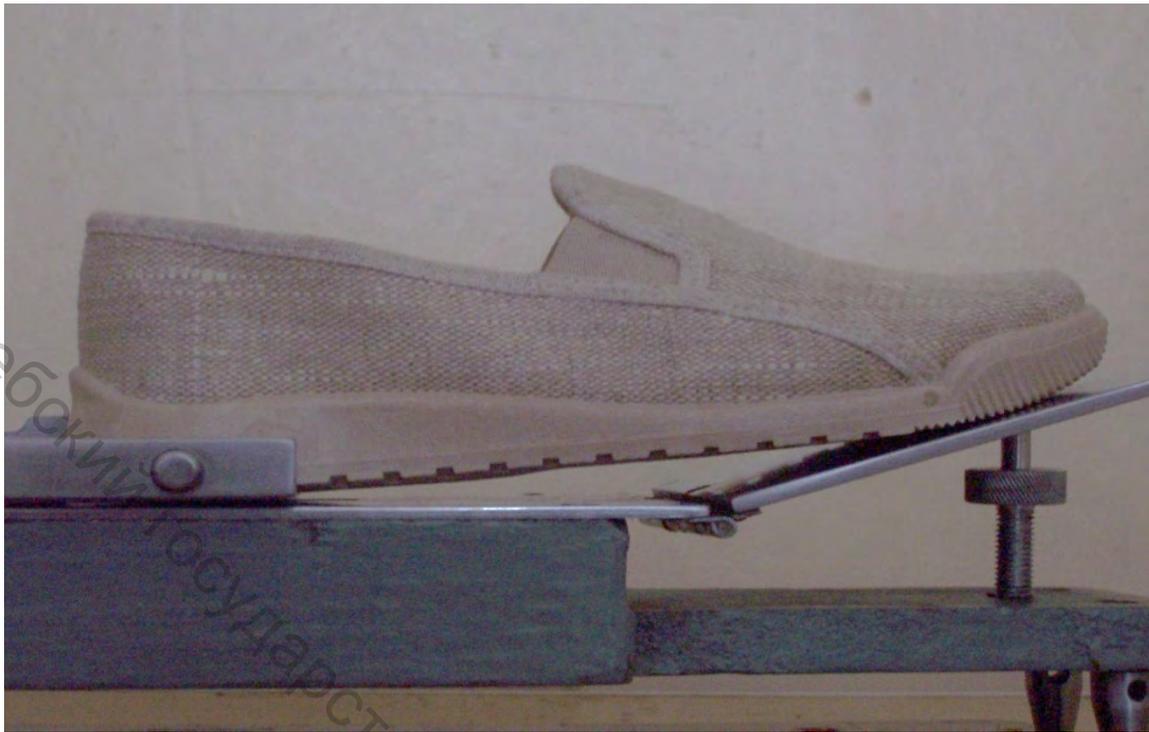


Рисунок 5.10 – Форма обуви из ткани бт до экспериментальной носки



Рисунок 5.11– Форма обуви из ткани бт после 10 дней экспериментальной носки

Весь период наблюдения за партией обуви был разбит на интервалы, в каждом из которых устанавливали количество полупар с износом более 7,5 %, их количество в процентах, процент полупар с износом,

переведенных в значения нормативного аргумента t и выраженный в единицах по таблице значений $\Phi(t)$. С использованием значения t построены диаграммы x_t (рис. 5.12).

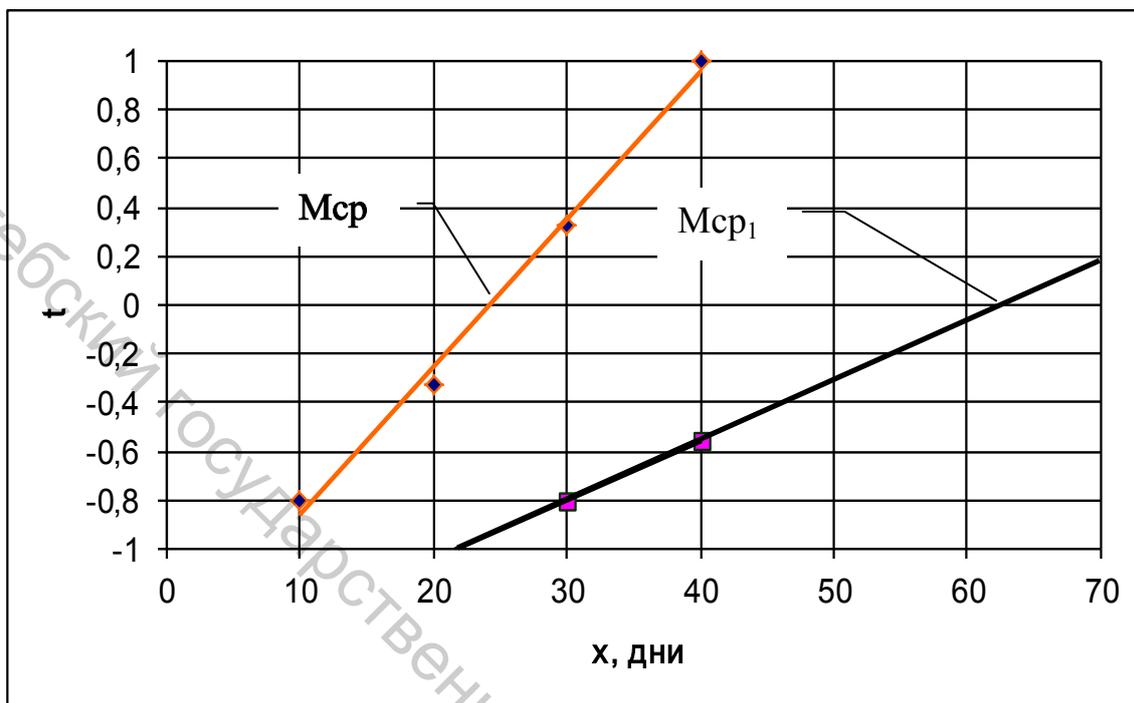


Рисунок 5.12 – Диаграмма x_t для нахождения срока службы обуви с текстильным верхом графоаналитическим методом

На оси абсцисс зафиксирована точка i – начало проявления износа. Затем с помощью метода выравнивания проведена уравнивающая прямая, проходящая через точку на оси абсцисс и расположенная под таким углом к оси x , чтобы ранее нанесенные эмпирические точки размещались по обе стороны от этой прямой и расстояния между ними уравнивались. Средний срок службы элементов из экспериментальных тканей определяются значением абсциссы, соответствующей точке пересечения выравнивающей прямой с прямой, проведенной из нулевого значения t параллельно оси абсцисс.

Согласно диаграмме на рисунке 5.12 средний срок службы $M_{ср}$ обуви с верхом из льняной ткани $6т$ составляет 24 дня; из льносодержащей ткани $2н$ составляет 63 дня. Значение $M_{ср1}$ подтверждает тот факт, что обувь из ткани $6т$ по показателю формоустойчивости не выдерживает гарантийного срока эксплуатации.

Результаты экспериментальной носки как детской, так и женской обуви подтверждают результаты лабораторных испытаний, а именно:

- при механическом износе лучшие результаты у тканей с вложением сырья химического происхождения (в данном случае – полипропилена);

– ткани с более высокими значениями циклических характеристик обладают более высокими эксплуатационными свойствами.

5.4 Оценка результатов экспериментальной носки обуви

Кроме изучения динамики развития износа верха обуви представлялось целесообразным сопоставить абсолютные значения экспериментальной формоустойчивости, характеризующей потерю первоначальной формы, и сравнить эти данные с результатами лабораторных исследований. Таблица 5.13 содержит две группы результатов, достоверность сходимости которых необходимо подтвердить.

Таблица 5.13 – Результаты экспериментальной носки и лабораторных испытаний тканей

Наименование ткани / Сырьевой состав	Характеристика внешнего вида верха обуви	Экспериментальная формоустойчивость, $\bar{E}_Э, \%$	Циклическая формоустойчивость, $\bar{E}_Ц, \%$
Ткань костюмная бт лен 100 %	Потеря формы, плохое закрепление на ноге, истирание ткани в носочной части, высокая загрязняемость, средняя очищаемость, нависание материала верха на подошву	9,12	8,89
Ткань 1н х/б 50 % лен 20 %, ПП 30 %	Хорошее сохранение формы, низкая загрязняемость, хорошая очищаемость	2,21	2,16
Ткань 2н х/б 50 % лен 50 %	Удовлетворительное сохранение формы, средняя загрязняемость и очищаемость	4,06	3,86

Из тканей, участвующих в экспериментальной носке, наихудшие значения формоустойчивости имеет ткань бт; наилучшие – новая льно-содержащая ткань 1н с вложением полипропилена. Следует отметить, что количество данных для расчета среднего в каждой группе различа-

ется и относится к выборке малого объема. В практике научных исследований для статистической оценки результатов двух групп испытаний используют параметрические и непараметрические критерии. Использование параметрических критериев оценки требует предположения в виде функции распределения данных, а для использования непараметрических этого не требуется. В целом непараметрические критерии уступают параметрическим по чувствительности к различиям, но в условиях, когда невозможно сделать четкого предположения о функции распределения в выборке, непараметрические критерии оказываются предпочтительнее.

Для статистической оценки соответствия результатов экспериментальной и лабораторной носки тканей бт, 1н, 2н применен критерий Колмогорова – Смирнова [5.13], который представляет собой наиболее объективный из непараметрических критериев, применяемый при сопоставлении двух различных групп результатов. Последовательность обработки данных следующая.

1. Объединение в один ряд в возрастающем порядке всех вариантов, встречающихся в двух группах наблюдений.
2. Подсчет частот вариантов P_x и P_y для двух рядов x и y .
3. Подсчет накопленных частот S_x и S_y по группам.
4. Нахождение отношений накопленных частот к числу наблюдений S_x / n_x и S_y / n_y .
5. Вычисление модуля разности накопленных частот по группам x и y .
6. Выявление максимальной разности D .
7. Определение критерия Колмогорова – Смирнова по формуле (5.21).

$$\lambda^2 = D^2 \cdot | n_x \cdot n_y / n_x + n_y |. \quad (5.21)$$

8. Сравнение полученного значения λ^2 с табличными значениями, которые для $\lambda^2_{0,5} = 1,84$, а для $\lambda^2_{0,1} = 2,65$. Если $\lambda^2 > \lambda^2_{0,5}$, то различия между сравниваемыми группами признаются существенными.

Достоверность результатов экспериментальной и лабораторной носки ткани бт подтверждена условием $\lambda^2 < \lambda^2_{0,5}$, так как $0,75 < 1,84$. Учитывая тот факт, что опытная партия обуви с верхом из ткани 1н состояла из 15 пар, были проведены дополнительные лабораторные исследования циклической формоустойчивости данной ткани, то есть увеличен объем выборки до 6 элементарных проб. Достоверность результатов экспериментальной и лабораторной носки ткани 1н подтверждена условием $\lambda^2 < \lambda^2_{0,5}$, так как $1,54 < 1,84$.

Достоверность результатов экспериментальной и лабораторной носки ткани 2н подтверждена условием $\lambda^2 < \lambda^2_{0,5}$, так как $0,58 < 1,84$.

Комплексная оценка эксплуатационных свойств исследуемых тканей проведена *аналитическими и графоаналитическими методами* для получения наиболее объективных результатов, а также для принятия решения о применении графоаналитического метода как наиболее приемлемого в случае ограниченного числа показателей.

Как известно, достоинством аналитических методов оценки является использование взвешенных показателей; достоинством графоаналитических – наглядность. Кроме того, графоаналитические методы не требуют проведения операций по определению коэффициентов весомости, но применяются для ограниченного круга единичных показателей

Для оценки эксплуатационных свойств исследуемых тканей использовался *аналитический комплексный метод* с использованием арифметического (K), геометрического (G) и гармонического (H) средневзвешенного. Обобщенные показатели качества рассчитаны отдельно для образцов, выкроенных в долевом и поперечном направлениях (основа и уток) по формулам (5.22)–(5.24).

$$K = \sum_{i=1}^n m_i k_i, \quad (5.22)$$

где m_i – коэффициент весомости i -го показателя; k_i – отношение значения i -го показателя после испытания к значению i -го показателя до испытания; n – количество показателей;

$$G = \prod_{i=1}^n (k_i)^{m_i} \quad (5.23)$$

$$H = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{m_i}{k_i}} \quad (5.24)$$

Оценка эксплуатационных свойств тканей по результатам циклических испытаний выполнена на примере льняных тканей (6т, 10т) и смешанных тканей (12т, 15т) для наружных деталей повседневной обуви, выпускаемой ОАО «Лидская обувная фабрика». Кроме того, для сравнения проведена оценка эксплуатационных свойств новой льнодержавной ткани 1н.

Результаты расчета относительных показателей исследуемых параметров с обозначениями: X_1 – разрывная нагрузка, X_2 – разрывное удлинение, X_3 – жесткость при изгибе, X_4 – циклическая долговечность, X_5 – циклическая формоустойчивость содержит таблица 5.14. Оценка

эксплуатационных свойств тканей выполнена по показателям, значения которых изменяются после действия циклического нагружения.

Результаты расчета комплексных показателей качества для каждой элементарной пробы представлены в таблице 5.15.

Для расчета средневзвешенных показателей с помощью экспертного метода установлены величины коэффициентов весомости m_i : разрывная нагрузка – 0,190, разрывное удлинение – 0,045, жесткость при изгибе – 0,095, циклическая долговечность – 0,305, циклическая формоустойчивость – 0,365. Согласованность экспертных оценок определена с помощью коэффициента конкордации ($W = 0,793$).

Таблица 5.14 – Значения относительных показателей исследуемых параметров

Обозначение элементарной пробы	Значения относительных показателей				
	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5
$6T_0$	0,786	0,793	0,745	0,389	0,952
$6T_y$	0,734	0,784	0,673	0,150	0,960
$10T_0$	0,770	0,865	0,211	0,483	0,953
$10T_y$	0,755	0,888	0,706	0,448	0,969
$12T_0$	0,844	0,944	0,826	1,728	0,963
$12T_y$	0,810	0,928	0,769	1,681	0,987
$15T_0$	0,828	0,839	0,833	1,579	0,971
$15T_y$	0,781	0,962	0,806	1,542	0,976
$1H_0$	0,962	0,928	0,899	4,450	0,981
$1H_y$	0,953	0,904	0,963	3,422	0,983

Таблица 5.15 – Результаты оценки качества исследуемых тканей

Обозначение точечной пробы	Обобщенный показатель, рассчитанный с помощью					
	среднего арифметического K_j		среднего геометрического G_j		среднего гармонического H_j	
	о	у	о	у	о	у
$6T$	0,722	0,635	0,677	0,496	0,628	0,348
$10T$	0,700	0,741	0,642	0,706	0,567	0,669
$12T$	1,160	1,142	1,105	1,089	1,060	1,044
$15T$	1,110	1,095	1,070	1,055	1,035	1,021
$1H$	1,516	1,325	1,329	1,231	1,198	1,160

Расчет обобщенного показателя качества для каждой точечной пробы ткани выполнен по формуле (5.25)

$$K'_j = (K_o^a) \cdot (K_y^b) \text{ или } K'_j = \sqrt{K_o \cdot K_y}, \quad (5.25)$$

где K'_j – обобщенный показатель качества j -й точечной пробы ткани; j – номер точечной пробы ткани; K_o – обобщенный показатель эксплуатационных свойств проб, выкроенных в продольном направлении ткани; K_y – обобщенный показатель эксплуатационных свойств проб, выкроенных в поперечном направлении ткани; a, b – весовые коэффициенты, сумма которых равна 1 (для тканей принято $a = 0,5, b = 0,5$).

Результаты расчета обобщенных показателей качества для каждой точечной пробы представлены в таблице 5.16. Значения обобщенных показателей эксплуатационных свойств указывают на сходимость результатов, полученных с помощью метода средневзвешенных величин. Результаты оценки показывают, что по уровню качества льносодержащая ткань 1н значительно превосходит выбранные для сравнения ткани.

Таблица 5.16 – Результаты оценки качества точечных проб исследуемых тканей аналитическим методом

Обозначение точечной пробы	Значения обобщенных показателей качества			Коэфф-т вариации
	K_j	G_j	H_j	
6т	$\frac{0,677^*}{5}$	$\frac{0,580}{5}$	$\frac{0,468}{5}$	7,5%
10т	$\frac{0,720}{4}$	$\frac{0,673}{4}$	$\frac{0,616}{4}$	3,1%
12т	$\frac{1,151}{2}$	$\frac{1,097}{2}$	$\frac{1,052}{2}$	2,2%
15т	$\frac{1,102}{3}$	$\frac{1,063}{3}$	$\frac{1,028}{3}$	1,9%
1н	$\frac{1,417}{1}$	$\frac{1,279}{1}$	$\frac{1,390}{1}$	4,8%

Примечание: в числителе – значение показателя; в знаменателе – занимаемое место.

Для расчета комплексного показателя качества U_j с использованием графоаналитического метода был применен алгоритм, известный из источника [5.14], но адаптированный для оценки результатов циклических испытаний и основанный на компьютерных методах расчета и графического построения. Алгоритм включает следующие последовательные действия.

1. Выбор контролируемых показателей качества тканей. Свойство материалов описывается некоторой совокупностью единичных показателей – x_{im} , где m – номер материала, i – номер единичного показателя

свойства, i и m изменяются от 1 до n ; X – численное значение показателя, которое может иметь любое действительное число от $-\infty$ до $+\infty$. Единичные показатели качества изменяются от некоторой min до некоторой max величины.

2. Масштабирование всех максимальных значений единичных показателей к произвольно выбранной величине $\mu = const$ и определение масштаба построений по оси Y . Для этого максимальное значение X_{im}^{max} умножается на соответствующий масштабный коэффициент q_i (формула (5.26), рис. 5.13), имеющий обратную размерность соответствующего показателя свойства материалов.

$$\mu = q_i \cdot X_{im}^{max} \quad (5.26)$$

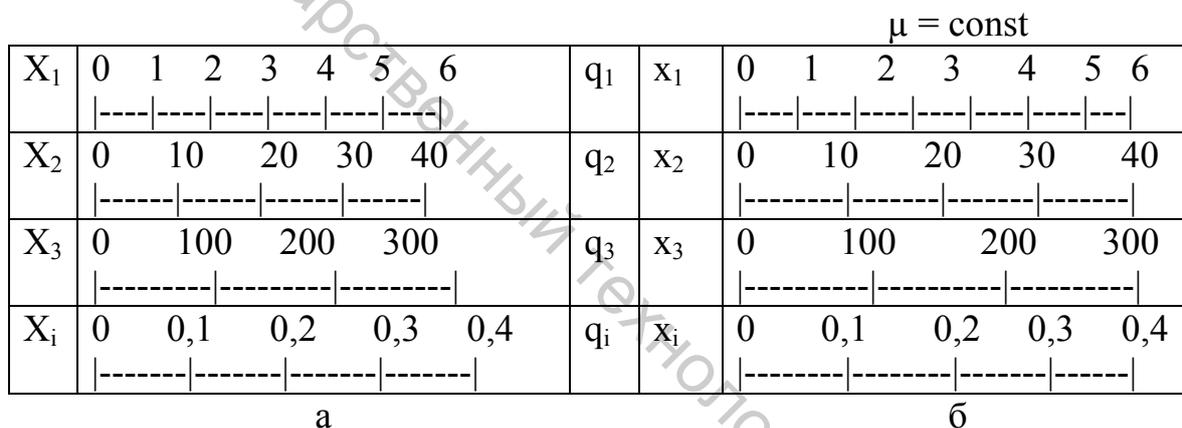


Рисунок 5.13 – Масштабирование единичных показателей:
а – до масштабирования; б – после масштабирования

3. Определение масштабного коэффициента для каждого из i -х показателей по формуле (5.27):

$$q_i = \frac{\mu}{X_i^{max}} \quad (5.27)$$

где X_i^{max} – максимальное значение i -го натурального показателя.

4. Перевод показателей из натуральных к приведенным значениям по формуле (5.28):

$$x_i = q_i \cdot X_i \quad (5.28)$$

5. Расчет среднего из приведенных значений показателей x_{cpi} проб продольного и поперечного направлений.

6. Нанесение средних значений x_{cpi} по осям OY в декартовой системе координат.

Ось «X–X» разбивают на равные отрезки, а оси, соответствующие единичным показателям свойств, откладывают перпендикулярно.

7. Соединение прямыми линиями средних значений показателей качества каждого материала, отложенных на соответствующих осях.

8. Расчет площади фигуры, образованной осями координат и ломаной линией, объединяющей x_{cpi} , по формуле (5.29):

$$S_i = \sum_{i=1}^n \frac{1}{2} |x_{i+1} - x_i| a + x_i a, \quad (5.29)$$

где S_i – площадь фигуры; a – масштаб по оси X; x_i – приведенные значения единичных показателей качества.

Проведя расчет площади фигуры, получаем значения комплексного показателя качества материалов

$$U_1 = S_1, U_2 = S_2, U_3 = S_3, \dots, U_n = S_n$$

Значения контролируемых показателей качества тканей после проведения циклических испытаний содержит таблица 5.17.

Таблица 5.17 – Значения показателей качества исследуемых тканей после проведения циклических испытаний

Обозначение точечной пробы	Значения контролируемых показателей качества				
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅
6T ₀	727	11,1	3,8	17,80	95,15
6T _γ	511	12,7	3,3	6,86	95,98
10T ₀	732	17,3	0,4	22,11	95,27
10T _γ	466	20,7	1,2	20,48	96,89
12T ₀	930	10,1	3,8	79,06	96,26
12T _γ	489	16,7	3,0	76,88	98,73
15T ₀	512	14,1	3,0	72,24	97,07
15T _γ	422	20,5	2,9	70,51	97,57
1H ₀	376	29,7	12,5	200,25	98,10
1H _γ	957	31,0	13,0	154,0	98,29

Примечание: значения X₅ представляют собой разность между 100% и абсолютным средним значением циклической формоустойчивости элементарной пробы.

Масштабирование всех максимальных значений единичных показателей произведено к произвольно выбранной величине $\mu = \text{const}$, которую для удобства расчета приняли равной 1. Результаты расчета масштабного коэффициента по формуле (5.27) представлены в таблице 5.18. По формуле (5.28) выполнен перевод натуральных в приведенные значения показателей (табл. 5.19). В таблице 5.20 содержатся средние из приведенных значений показателей $x_{срi}$ проб продольного и поперечного направлений.

Таблица 5.18 – Масштабные коэффициенты для каждого показателя качества тканей

Показатели	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5
Масштабные коэффициенты					
q	0,0011	0,0483	0,2631	0,0126	0,0101

Таблица 5.19 – Приведенные значения показателей

Обозначение элементарной пробы	Приведенные значения показателей				
	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5
$6T_0$	0,7997	0,5362	1,0000	0,2251	0,9637
$6T_y$	0,5621	0,6135	0,8684	0,0868	0,9721
$10T_0$	0,8052	0,8357	0,1053	0,2797	0,9650
$10T_y$	0,5126	1,0000	0,3158	0,259	0,9814
$12T_0$	1,0230	0,8068	0,7895	0,9724	1,0000
$12T_y$	0,5379	0,6812	0,7895	0,9137	0,9832
$15T_0$	0,5632	0,9903	0,7632	0,8919	0,9883
$15T_y$	0,4642	0,9903	0,7631	0,8919	0,9883
$1H_0$	0,4136	1,4350	3,2887	2,5232	0,9908
$1H_y$	1,0525	1,4970	3,4203	1,9404	0,9927

Таблица 5.20 – Средние значения показателей точечных проб

Обозначение элементарной пробы	Средние значения показателей				
	$x_{ср1}$	$x_{ср2}$	$x_{ср3}$	$x_{ср4}$	$x_{ср5}$
$6T$	0,666	0,575	0,934	0,156	0,968
$10T$	0,644	0,918	0,211	0,269	0,973
$12T$	0,763	0,647	0,895	0,986	0,988
$15T$	0,502	0,836	0,776	0,903	0,986
$1H$	0,733	1,466	3,355	2,232	0,992

Благодаря возможностям Microsoft office Excel построение диаграммы распределения средних значений исследуемых тканей в декартовой системе координат происходит автоматически с одновременным соединением прямыми линиями средних значений показателей качества каждой ткани, отложенных на соответствующих осях. Диаграмма распределения значений показателей исследуемых тканей приведена на рисунке 5.14.

Расчет площадей фигур, образованных ломаной линией, объединяющей $x_{срi}$, также осуществлен автоматически при помощи Microsoft office Excel по формуле (5.29); результаты сведены в таблицу 5.21.

По величине площади фигуры, ограниченной декартовой системой координат и ломаной линией каждого текстильного материала, можно судить об уровне их качества.

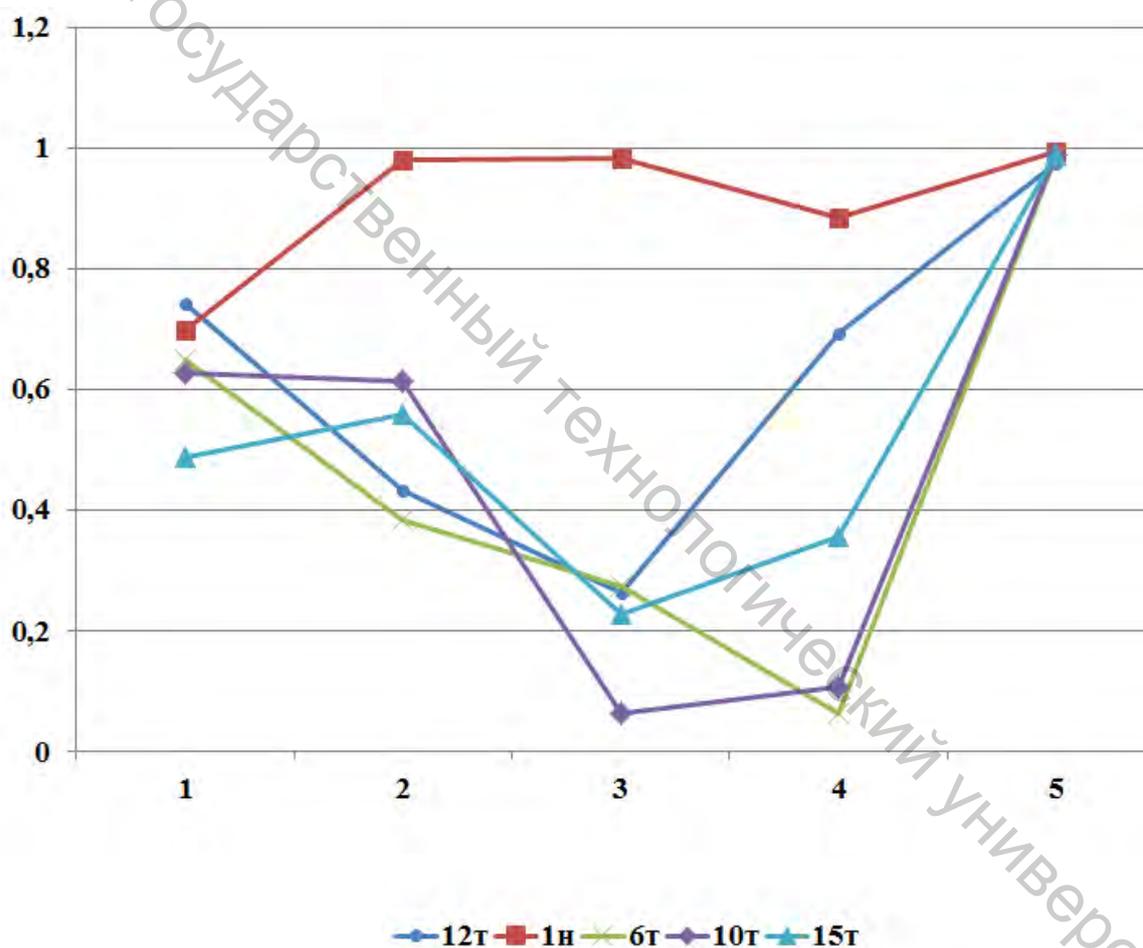


Рисунок 5.14 – Диаграмма распределения средних значений показателей исследуемых тканей в декартовой системе координат: 1 – разрывная нагрузка; 2 – разрывное удлинение; 3 – жесткость при изгибе; 4 – циклическая долговечность; 5 – циклическая формоустойчивость

Рассчитанные значения комплексной оценки характеризуют уровень качества выбранных для сравнения тканей по эксплуатационным показателям и возрастают с повышением уровня качества.

По результатам оценки уровня качества с помощью графоаналитического метода ткани расположились в той же последовательности, что при расчете аналитическим методом. На рисунке 5.15 представлены результаты сравнения значений комплексных оценок, полученных при помощи аналитического и графоаналитического методов. Диаграмма иллюстрирует низкий уровень качества льняных тканей 6т и 10т, применяемых в обувной промышленности и, напротив, относительно высокую оценку новой льносодержащей ткани 1н.

Таблица 5.21 – Результаты комплексной оценки качества точечных проб исследуемых тканей графоаналитическим методом

Обозначение точечной пробы	Значения площадей фигур				Результаты комплексной оценки	
	S1	S2	S3	S4	U _j	Место
6т	0,515	0,328	0,167	0,515	1,526	5
10т	0,619	0,337	0,084	0,540	1,580	4
12т	0,587	0,347	0,477	0,840	2,250	2
15т	0,523	0,392	0,292	0,678	1,878	3
1н	0,838	0,981	0,934	0,940	3,699	1

Результаты комплексной оценки с помощью графоаналитического метода убеждают в его преимуществе перед аналитическим по следующим причинам:

- сходимости результатов оценки тканей, полученных двумя методами;
- исключения процедуры опроса экспертов и расчета коэффициентов весомости;
- снижения трудоемкости и времени получения значения комплексной оценки при сохранении объективности результатов;
- исключения процессов получения численных значений контролируемых показателей до проведения циклических нагружений;
- возможности исключать и дополнять контролируемые показатели качества без проведения дополнительных процедур оценки;
- соответствия для использования при оценке двух значений показателя – до и после циклических нагружений.

На основании проведенных экспериментальных носок одежды и обуви из исследуемых текстильных материалов и комплексной оценки эксплуатационных свойств материалов можно отметить, что в результате проведенных циклических лабораторных испытаний в качестве верха

для обуви были рекомендованы наиболее приемлемые виды тканей, которые апробированы с помощью метода экспериментальной носки опытных партий обуви. Результаты показали, что рекомендованные на основании циклических испытаний ткани продемонстрировали более высокие эксплуатационные свойства, по сравнению с тканями, традиционно применяемыми отечественными обувными предприятиями. Достоверность результатов экспериментальной носки обуви и лабораторных испытаний исследуемых льняных и льносодержащих тканей подтверждена с помощью непараметрических критериев оценки. По итогам работы обосновано применение графоаналитического метода в целях проведения оценки эксплуатационных свойств тканей по результатам циклических испытаний. Выявлен ряд объективных преимуществ применения данного метода без снижения объективности результатов оценки.

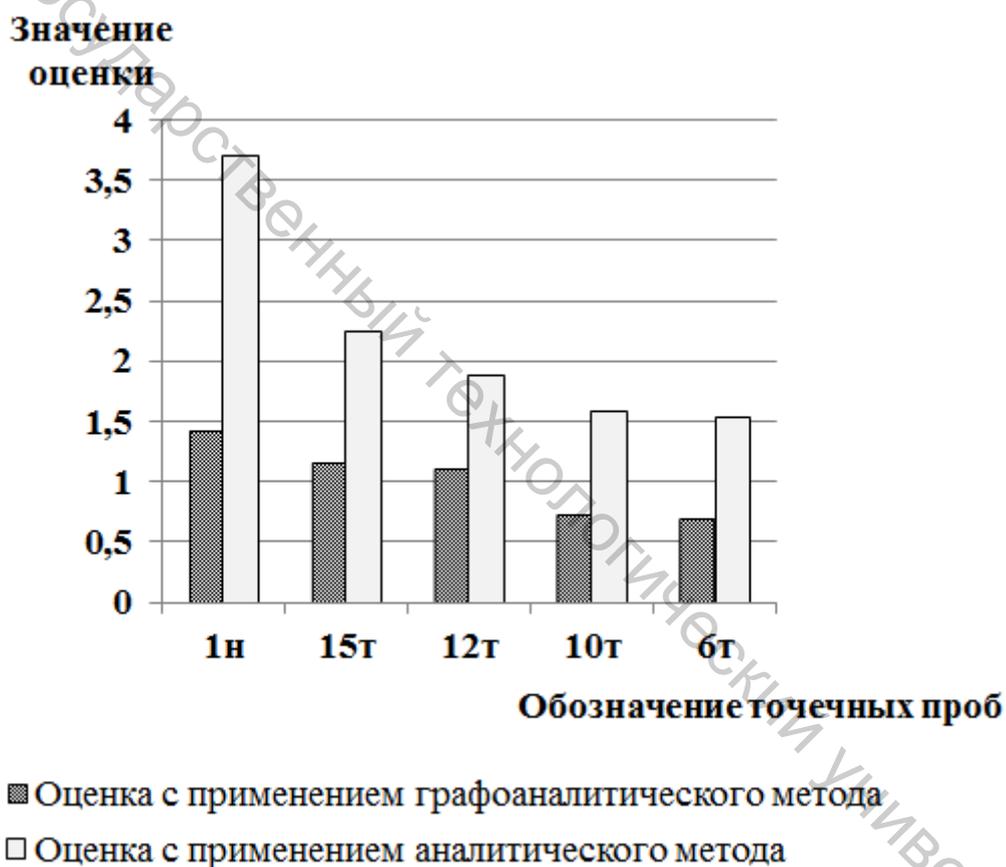


Рисунок 5.15 – Комплексная оценка эксплуатационных свойств тканей аналитическим и графоаналитическим методами

Результаты экспериментальной носки водозащитной одежды подтвердили адекватность комплексной оценки эксплуатационных свойств композиционных слоистых материалов. Комплексная оценка проведена на основе анализа условий эксплуатации материалов с использованием показателей свойств, значения которых определены в результате лабораторного моделирования условий эксплуатации. Методика анализа

условий эксплуатации дает возможность дифференцированного подхода к оценке эксплуатационных свойств материалов для одежды различного назначения. Она позволяет оценить свойства материалов, так сказать, прицельно, предоставляя исследователю гибкий и логически обоснованный инструментарий. Расчет ресурса водозащитной экипировки также дает основания утверждать, что лабораторный метод циклических комбинированных деформаций может применяться для моделирования условий эксплуатации, поскольку результаты экспериментальной носки согласовываются с результатами лабораторных исследований.

Витебский государственный технологический университет

Литература

5.1. Овсянникова, Н. В. Опытная носка – метод комплексной оценки качества материалов // Комплексная оценка качества материалов и пакетов швейных изделий : сб. науч. труд. / ЦНИИТЭИлегпром ; под ред. С. М. Кирюхина. – Москва, 1985. – С. 26.

5.2. Справочник обувщика (Технология) / Е. Я. Михеева, Г. А. Мореходов, Т. П. Швецова. – М.: Легпромбытиздат, 1989. – 416 с.

5.3. Прибор для определения водонепроницаемости материалов методом гидростатического давления: полезная модель ВУ10690 / Д. К. Панкевич, А. Н. Буркин, Р. С. Петрова, В. Д. Борозна; дата публ. 30.06.2015.

5.4. Мишин, В. М. Управление качеством : учебник / В. М. Мишин. – 2-е изд. – М. : ЮНИТИ-ДАНА, 2005. – 463 с.

5.5. Биргер, И. А. Расчет на прочность деталей машин : справочник / И. А. Биргер, Б. Ф. Шорр, Г. Б. Иосилевич. – 4-е изд. – М. : Машиностроение, 1993. – 640 с.

5.6. Материаловедение кожевенно-обувного производства : учеб. пособие / А. Н. Буркин [и др.]. – Минск: Беларус. энцикл. им. П. Бровки, 2011. – 310 с.

5.7. Вентцель, Е. С. Теория вероятностей : учеб. для вузов / Е. С. Вентцель. – 6-е изд. – М. : Высш. шк., 1999. – 576 с.

5.8. Метелёва, О. В. Теоретико-технологическая разработка процессов герметизации швейных изделий для повышения водозащитных свойств: дис. ... докт. техн. наук : 05.19.04 / О. В. Метелёва. – Иваново, 2007. – 253 л.

5.9. Рыжкин, А. А. Основы теории надежности : учеб. пособие / А. А. Рыжкин, Б. Н. Слюсарь, К. Г. Шучев. – Ростов н/Д. : Издат. центр ДГТУ, 2002. – 182 с.

5.10. Силкин, Е. В. Полульняные ткани типа двуниток. / Е. В. Силкин, Г. В. Казарновская // Вестник УО «ВГТУ». – Витебск: УО «ВГТУ», 2007. – Вып. 14. – С. 67–72.

5.11. Парусины и двунитки. Общие технические условия: ГОСТ 15530-93. – Введ. 01.01.96 взамен ГОСТ 11302-78, ГОСТ 15530-76, ГОСТ 20712-75, ГОСТ 9591-78. – Минск: Госстандарт, 1995. – 13 с.

5.12. Обувь домашняя и дорожная. Общие технические условия: ГОСТ 1135-88. – Введ. 01.07.89. – М.: Изд-во стандартов, 1989. – 15 с.

5.13. Рунион, Р. Справочник по непараметрической статистике. Современный подход; пер. с англ. Е. З. Демиденко / Р. Рунион. – М.: Финансы и статистика, 1982. – 200 с.

5.14. Жихарев, А. П. Теоретические основы и экспериментальные методы исследования для оценки качества материалов при силовых, температурных и влажностных воздействиях: монография / А. П. Жихарев. – М.: ИИЦ МГУДТ, 2003. – 327 с.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В монографии обобщены работы по изучению эксплуатационных свойств текстильных материалов, используемых для изготовления верха одежды и обуви. Исследование и оценка эксплуатационных свойств материалов – одна из актуальных задач материаловедения изделий легкой промышленности, связанная с выявлением способности материалов сопротивляться факторам изнашивания в определенных условиях эксплуатации до того, как материалы в эти условия попадают. В решении этой задачи вопросы номенклатуры показателей, критериев и способов оценки, методов и средств исследования являются основополагающими.

Авторами проведен анализ показателей эксплуатационных свойств, общих для обувных и одежных тканей, систематизированы сведения о существующих методах и приборах, позволяющих подвергать образцы текстильных материалов циклическому комбинированному деформированию с целью моделирования условий эксплуатации. Выявлено, что основной причиной снижения уровня качества материалов в процессе эксплуатации является остаточная деформация, которая накапливается в материалах, элементах их структуры, приводя к изменению значимых свойств.

Исследования материалов верха обуви проведены по разработанной авторами монографии методике, основанной на моделировании напряженно-деформированного состояния материалов при эксплуатации. Для оценки формоустойчивости обуви обоснованы дополнительные показатели, характеризующие устойчивость материалов к циклическому нагружению, возникающему при эксплуатации обуви – циклическая формоустойчивость и циклическая долговечность. Установлено, что исследование этих показателей дает возможность проводить сравнительную оценку текстильных материалов по изменению внешнего вида после моделирования эксплуатационных нагрузок.

Показано, что более высокой устойчивостью к действию циклического комбинированного деформирования обладают материалы для верха обуви с равномерной структурой и коэффициентом анизотропии, удовлетворяющим условию $0,8 < K_{анз} < 1,2$. Установлено, что наличие в тканях до 30 % сырья химического происхождения (ПП, ПЭ, ПАН) повышает циклическую долговечность в среднем на 40 %. Предложено оценивать влияние деформационного старения на внешний вид и циклические характеристики тканей при помощи коэффициента усталости $K_{уст}$. Рекомендуемые значения $K_{уст}$ при выборе тканей для верха обуви находятся в диапазоне $(0,8 \div 1,0)$.

Разработанная экспресс-методика прогнозирования циклической формоустойчивости тканей различного сырьевого состава позволяет решить проблему снижения временных затрат на проведение цикличе-

ских испытаний, обеспечить достоверность прогноза, уточнить целевое назначение ткани и разработать научные основы получения новых материалов с заданными свойствами.

Метод циклических комбинированных деформаций, предложенный авторами монографии для моделирования эксплуатационных нагрузок, был применен и при исследовании новых композиционных материалов для водозащитной одежды. В результате исследования эксплуатационных свойств композиционных текстильных материалов, содержащих полимерный слой, выявлены закономерности, связывающие показатели их структуры и скорость снижения водозащитных свойств. Установлено, что материалы двухслойной структуры, содержащие пористый губчатый полимерный слой, превосходят материалы с большим количеством слоев и иной структурой полимерного слоя по стабильности водонепроницаемости в условиях моделирования эксплуатационных нагрузок. Проведенный анализ результатов исследования структуры водозащитных материалов с полиэфируретановой мембраной показал, что циклические комбинированные деформации оказывают на характеристики строения образцов значительное влияние. Наиболее подвержен изменениям полимерный слой образцов, причем корпускулярный слой разрушается более значительно, чем губчатый, вызывая изменения в структуре прилегающих слоев. Разрушение губчатого мембранного слоя наблюдается только в случае незначительной первоначальной толщины (менее 16 мкм) и скрепления с соседними слоями точечно нанесенным связующим. В результате анализа полученной в экспериментах информации объяснены процессы, происходящие в структуре композиционных материалов при моделировании эксплуатационных нагрузок, в том числе и при различных температурно-влажностных условиях. Результаты исследования могут применяться для проектирования композиционных материалов с заданным уровнем надежности и долговечности.

Наблюдения за изменением характеристик материалов под воздействием циклических комбинированных деформаций показывают, что сохранение начального уровня потребительских свойств материалов в процессе эксплуатации по назначению в значительной степени обусловлено интенсивностью эксплуатационных воздействий. В связи с этим при выборе материалов в пакет изделия можно заранее определить номенклатуру эксплуатационных факторов и интенсивность их воздействия и оценить в лабораторных условиях изменение определяющих качество характеристик материалов. Такой подход создает предпосылки для прогнозирования свойств материалов в процессе эксплуатации и для оценки их качества.

Разработанная методика, дифференцированная по видам и уровням эксплуатационных воздействий, может применяться для определения номенклатуры и весомости показателей в комплексной оценке экс-

плуатационных свойств текстильных материалов для одежды любого назначения.

Авторами монографии выполнен ряд хоздоговорных и госбюджетных работ, в которых метод циклических комбинированных деформаций был апробирован для лабораторного моделирования условий эксплуатации при прогнозировании эксплуатационных свойств материалов и оценке их качества. В результате внедрения результатов работ в Республике Беларусь начато производство водозащитной экипировки для гребных видов спорта. Рекомендации по выбору материалов, конструкции и технологии изготовления экипировки внедрены на ЗАО ОПТФ «Світанак» (г. Орша), ОАО «Світанак» (г. Жодино), ЧПТУП «Манитек» (г. Витебск), а спортивная водозащитная экипировка прошла экспериментальную носку и получила положительные отзывы спортсменов и тренерско-преподавательского состава спортивных школ Витебска, Лепеля, Орши, Новолукомля, Гомеля. По результатам исследования тканей для верха обуви усовершенствован пакет материалов при производстве домашней обуви на ОАО «Лидская обувная фабрика», а формоустойчивые материалы улучшенной структуры для верха домашней обуви выпускаются на РУПТП «Оршанский льнокомбинат» и используются по назначению.

Выводы, сделанные по результатам лабораторного моделирования условий эксплуатации, подтверждены в условиях натуральных испытаний при экспериментальной носке одежды и обуви, что позволяет говорить об экономичности разработанных методов и средств, с помощью которых длительные опытные носки можно заменить экспресс-исследованием в условиях лаборатории.

Таким образом, в монографии предложена методология оценки эксплуатационных свойств текстильных материалов, которая основана на создании экономичных и эффективных средств моделирования эксплуатационных нагрузок, обеспечивающих такое сочетание деформирующих воздействий, которое в полной мере повторяет условия эксплуатации материалов, причем интенсивность нагружения может быть изменена в зависимости от назначения исследуемых материалов. Разработанные для указанных целей приборы позволяют прилагать к материалам циклически повторяющиеся изгибающие знакопеременные деформации с одновременным растяжением пробы и приложением крутящего момента в плоскости, перпендикулярной оси пробы. Цилиндрическая форма испытываемой пробы имеет ряд преимуществ по отношению к плоской – отсутствие «краевого эффекта», равномерность нагрузки по всей рабочей площади пробы, возможность пространственного деформирования, возможность одновременного исследования ниточных и других соединений, интенсивность деформации изгиба. Разработанные и описанные в монографии приборы дают возможность моделирования условий эксплуатации как материалов верха обуви, где велико силовое

воздействие стопы на материал, так и одежды, где припуски на свободное облегание позволяют деталям изделий смещаться относительно поверхности тела. Предусмотренное методиками и реализованное в приборах варьирование режимов испытаний позволяет моделировать различные комбинации циклических нагрузжений для материалов изделий различного назначения.

Развитие метода видится авторам монографии в дальнейшем изучении влияния режимов нагружения на адекватность модели эксплуатационных условий, подробной классификации эксплуатационных условий для более точного их воспроизведения, внедрения в существующие приборы дополнительных устройств, обеспечивающих широту охвата модели как по факторам воздействия, так и по уровням их интенсивности. Это позволит в короткие сроки выполнять конфекционирование материалов, обеспечивающих качество и надежность изделий легкой промышленности, а также накапливать экспериментальные данные о материалах новых структур для их совершенствования, открывая возможности адресного проектирования текстильных материалов для изделий конкретного назначения.

Научное издание

Буркин Александр Николаевич
Махонь Александра Николаевна
Панкевич Дарья Константиновна

ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Монография

Редактор *Т. А. Осипова*
Корректор *Т. А. Осипова*
Компьютерная верстка *Д. К. Панкевич, А. Н. Цобанова*

Подписано к печати 11.01.2019. Формат 60x90¹/₁₆. Усл. печ. листов 3,2.
Уч.-изд. листов 16,6. Тираж 100 экз. Заказ № 23.

Учреждение образования «Витебский государственный технологический университет»
210038, г. Витебск, Московский пр., 72.

Отпечатано на ризографе учреждения образования

«Витебский государственный технологический университет».

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 1/172 от 12 февраля 2014 г.

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 3/1497 от 30 мая 2017 г.