

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«ВИТЕБСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»

УДК 677.017

ТАН СЯОТУН

**КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА ДРАПИРУЕМОСТИ
ЧИСТОЛЬНЯНЫХ И ПОЛУЛЬНЯНЫХ ТКАНЕЙ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ 3D-СКАНИРОВАНИЯ**

Автореферат на соискание ученой степени
кандидата технических наук

по специальности 05.19.01 – Материаловедение производств
текстильной и легкой промышленности (технические науки)

Витебск, 2021

Работа выполнена в учреждении образования «Витебский государственный технологический университет»

Научный
руководитель:

Рыклин Дмитрий Борисович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии текстильных материалов учреждения образования «Витебский государственный технологический университет».

Официальные
оппоненты:

Шустов Юрий Степанович, доктор технических наук, профессор, действительный член Российской и Международной инженерной академии, заведующий кафедрой материаловедения и товарной экспертизы Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)»

Ясинская Наталья Николаевна, доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой экологии и химических технологий учреждения образования «Витебский государственный технологический университет»

Оппонирующая
организация:

Научно-исследовательское республиканское унитарное предприятие «Центр научных исследований лёгкой промышленности», г. Минск, Республика Беларусь

Защита состоится «23» апреля 2021 г. в 10.00 на заседании совета по защите диссертаций К 02.11.01 в учреждении образования «Витебский государственный технологический университет» по адресу:

210038, г. Витебск, Московский проспект, 72.

E-mail: vstu@vitebsk.by

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке учреждения образования «Витебский государственный технологический университет».

Автореферат разослан «22» марта 2021 года.

Учёный секретарь совета по защите диссертаций, кандидат технических наук, доцент

Г. В. Казарновская

ВВЕДЕНИЕ

Одной из важнейших задач, стоящих перед отечественными текстильными предприятиями, является повышение качества выпускаемой продукции, в значительной степени определяющего ее конкурентоспособность на внутреннем и внешнем рынках. Качество тканей характеризуется не только показателями, значения которых регламентируются стандартом, но и рядом нерегламентируемых показателей, которые в значительной степени влияют на привлекательность для потребителя выработанных из них изделий.

В настоящее время в мировом текстильном материаловедении большое внимание уделяется разработке методов оценки визуальных и тактильных свойств материалов. Важно значение приобретает и оценка драпируемости тканей, которая оказывает влияние на внешний вид готовых изделий. Разработка новых методов базируется на использовании современных технических средств, в том числе 3D-сканеров, и предполагает получение более разнообразных показателей, применение которых позволяет осуществлять комплексную оценку драпируемости с целью использования получаемой информации как при конфекционировании материалов, так и для визуализации готовых изделий в системах автоматизированного проектирования.

Особенно важна проблема повышения драпируемости при решении задачи повышения качества льносодержащих тканей. Лен является единственным видом натурального текстильного сырья, производимого в Республике Беларусь. Несмотря на очевидные достоинства данного вида сырья, его применение в изделиях бытового назначения долгое время оставалось ограниченным, в том числе из-за повышенной жесткости тканей, следствием которой являлась низкая их драпируемость.

Современные технологии производства пряжи и отделки тканей позволили существенно расширить ассортимент и области применения материалов из льна или его сочетаний с другими видами текстильных волокон. Эффективность освоения новых технологий в значительной степени определяется применением современных методов оценки качества выпускаемой продукции, использование которых позволяет не только определять текущий уровень показателей качества, но и разрабатывать рекомендации по совершенствованию технологических процессов. Следовательно, разработка и освоение новых методов оценки свойств текстильных материалов является одним из условий повышения их качества.

Таким образом, разработка новых подходов к оценке драпируемости льносодержащих, в частности чистольняных и полульняных, тканей является актуальной задачей для текстильных предприятий Республики Беларусь.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с крупными научными программами (проектами) и темами. Совершенствование методов оценки качества чистольняных и полульняных тканей направлено на повышение их качества, что соответствует результатам Комплексного прогноза научно-технического прогресса на 2021–2025 гг. и на период до 2040 г., согласно которым текстильные полотна и изделия с улучшенными свойствами включены в перечень перспективных товаров для внедрения в производство в Республике Беларусь.

Отдельные разделы работы соответствуют Приоритетным направлениям научной, научно-технической и инновационной деятельности на 2021–2025 годы:

- разработка метода оценки драпируемости тканей на основе обработки данных, полученных в результате 3D-сканирования, соответствует Приоритетному направлению «Цифровые информационно-коммуникационные и междисциплинарные технологии и основанные на них производства»;
- применение разработанной методики для выбора рациональной технологии отделки льняных и льносодержащих тканей соответствует Приоритетному направлению «Биологические, химические, медицинские и фармацевтические технологии и производства».

Работа выполнялась в рамках работы 2020 ВПД-022 «Совершенствование технологий производства и методов оценки качества текстильных материалов».

Цель и задачи исследования. Целью диссертационной работы является разработка новых подходов к оценке драпируемости чистольняных и полульняных тканей на основе применения технологии 3D-сканирования.

В соответствии с указанной целью в работе решались следующие основные задачи:

- разработать вид математической модели, описывающей поверхность драпированной пробы;
- предложить дополнительные критерии для оценки драпируемости тканей на основе обработки результатов 3D-сканирования;
- определить рациональные параметры проведения испытаний для льняных и льносодержащих тканей;
- разработать программные средства автоматизации обработки данных, полученных в результате 3D-сканирования, для определения значений показателей драпируемости тканей;
- разработать алгоритм действий для принятия решения о выборе ткани с наилучшей драпируемостью из исследуемых образцов.

Научная новизна работы заключается в следующем:

- впервые предложено осуществлять оценку драпируемости тканей, основываясь на параметрах математической модели, полученной при обработке данных 3D-сканирования и описывающей поверхность пробы, профиль ее сечений и тени;
- предложены дополнительные показатели для оценки драпируемости тканей, такие как коэффициент детерминации регрессионной модели, описывающей поверхность драпированной ткани, и показатель анизотропии драпируемости, рассчитываемый как соотношение коэффициентов модели, описывающей создаваемую пробой тень;
- разработана программа для расчета значений показателей драпируемости, позволяющая автоматизировать процесс обработки данных 3D-сканирования применительно к предлагаемому методу, которая может быть использована для решения научных и производственных задач;
- разработан алгоритм выбора образца с наилучшей драпируемостью из имеющегося ассортимента тканей, отличающийся тем, что его применение основано на последовательном сопоставлении значений единичных показателей и предложенного комплексного визуального восприятия драпировки, рассчитанных в результате обработки данных, которые получены при 3D-сканировании драпированных проб.

Положения, выносимые на защиту:

- вид математической модели, описывающей поверхность драпированной пробы, профиль ее сечений и тени, коэффициенты которой рассчитываются в результате статистической обработки данных 3D-сканирования;
- комплекс критериев для оценки драпируемости ткани, включающий коэффициент драпируемости, количество складок пробы, коэффициент детерминации регрессионной модели, описывающей поверхность драпированной пробы, показатель анизотропии драпируемости, рассчитываемый как соотношение коэффициентов модели тени, создаваемой пробой, а также показатель визуального восприятия драпировки;
- программа для автоматизированной обработки данных, полученных в результате 3D-сканирования, для определения значений показателей драпируемости тканей;
- алгоритм, основанный на методе последовательных уступок, позволяющий осуществлять обоснованный выбор ткани с наилучшей драпируемостью из исследуемых образцов.

Личный вклад соискателя.

Соискателем лично:

- разработан вид математической модели, получаемой в процессе статистической обработки результатов 3D-сканирования пробы драпированной

ткани и описывающей ее тень, профили отдельных сечений и поверхность в целом;

- предложено дополнить перечень критериев для оценки драпируемости коэффициентом детерминации регрессионной модели, описывающей поверхность драпированной ткани, показателем анизотропии драпируемости, рассчитываемым как соотношение коэффициентов модели тени, создаваемой пробой, и комплексным показателем визуального восприятия драпировки;
- разработаны рекомендации по выбору рациональных параметров проведения испытаний для чистольняных и полульняных тканей;
- разработан алгоритм для создания компьютерной программы, позволившей автоматизировать обработку полученных в результате 3D-сканирования данных для определения значений показателей драпируемости тканей;
- разработана методика, позволяющая осуществлять обоснованный выбор ткани с наилучшей драпируемостью из исследуемых образцов на основании анализа значений показателей драпируемости, определяемых при обработке результатов 3D-сканирования.

Научным руководителем оказывалась консультативная помощь в выборе методологии исследования и интерпретации полученных результатов.

Другими соавторами публикаций являются: заведующий лабораторией «Центр аддитивных технологий» УО «ВГТУ» Гришаев А.Н., который оказывал помощь в освоении соискателем технологии 3D-сканирования, студент Песковский Д.В., участвовавший в подготовке данных для статистической обработки результатов 3D-сканирования на первом этапе исследований, студент Крушевич К.А., который перевел разработанный соискателем алгоритм в программный код при разработке программы для автоматизированной обработки результатов 3D-сканирования, доцент Ульянова Н.В., принимавшая участие в организации экспертного оценивания образцов швейных изделий.

Апробация результатов диссертации. Основные результаты диссертационной работы были доложены и опубликованы в материалах и тезисах докладов на международных и республиканских конференциях: Международные научно-технические конференции «Инновационные технологии в текстильной и легкой промышленности» (Витебск, 2018, 2019); «52-я и 53-я Международная научно-техническая конференция преподавателей и студентов, ВГТУ» (Витебск, 2019, 2020); Международный научно-практический симпозиум «Прогрессивные технологии и оборудование: текстиль, одежда, обувь» (Витебск, 2020); Республиканская научно-практическая конференция на тему: «Актуальные проблемы развития химии, химической технологии, нефтегазовой и легкой промышленности в Республике Каракалпакстан» (Нукус, Узбекистан, 2019); Международная научно-практическая конференция «Новые подходы к государ-

ственному контролю качества по европейским стандартам» (Херсон, Украина, 2019); Национальная (с международным участием) молодежная научно-техническая конференция «ПОИСК-2020» (Иваново, Российская Федерация, 2020); Китайско-Белорусский молодежный конкурс научно-исследовательских и инновационных проектов (Минск, 2020); Международная научно-техническая конференция «Дизайн, технологии и инновации в текстильной и легкой промышленности» (Инновации-2020) (Москва, Российская Федерация, 2020); VII Белорусско-Китайский молодежный инновационный форум «Новые горизонты – 2020» (Минск, 2020).

Опубликованность результатов диссертации. По результатам исследований опубликовано 15 печатных работ, в том числе 5 – в научных изданиях, включённых в перечень изданий, утверждённых ВАК РБ и РФ. Общий объём опубликованных материалов составляет 7,07 авторского листа; в том числе объём публикаций, соответствующих п. 18 Положения о присуждении учёных степеней и присвоении учёных званий в Республике Беларусь, – 4,62 авторского листа.

Структура и объём диссертации. Диссертация содержит введение, общую характеристику работы, пять глав, заключение, библиографический список и приложения. Работа изложена на 234 страницах, включает 107 рисунков, 49 таблиц, 45 формулу и 4 приложения (38 страниц). В работе использовано 103 библиографических источника.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ

Во введении обоснована актуальность разработки новых методов оценки драпируемости чистольняных и полульняных тканей для текстильных предприятий Республики Беларусь.

В первой главе выполнен анализ литературных источников, посвящённых методам определения показателей драпируемости тканей, а также направлениям использования информации о ней в легкой промышленности. Подтверждена актуальность исследований, направленных на разработку новых методов оценки драпируемости тканей. Анализ показал, что в настоящее время информация о драпируемости применяется не только при конфекционировании материалов для швейного производства. Драпируемость тканей учитывается также в системах автоматизированного проектирования швейных изделий и при разработке интерактивных примерочных.

Установлено, что существующие методы позволяют получить значительное количество показателей драпируемости текстильных полотен. Однако они не только не дают возможность получить математическое описание формы поверхности драпированных образцов, но и не позволяют получить показатели, в полной мере характеризующие равномерность формируемых складок.

Исследователями используются различные, в том числе и противоречащие друг другу формулы для расчета коэффициента драпируемости, в связи с чем при анализе литературных данных о влиянии различных факторов на значение данного показателя необходимо уточнять формулу, по которой авторы осуществляли расчет [11]. В данной работе расчет коэффициента драпируемости осуществляется по формулам, представленным в стандарте ИСО 9073-9:2008:

– при использовании гравиметрического метода, основанного на взвешивании бумажного кольца, внешний диаметр которого соответствует диаметру пробы, а внутренний – диаметру опорного диска

$$K_D = \frac{m_{sa}}{m_{pr}}, \quad (1)$$

где m_{pr} – масса бумажного кольца, г;

m_{sa} – масса части бумажного кольца, на которую упала тень, г;

– при использовании метода, основанного на измерении площади тени

$$K_D = \frac{A_s - A_d}{A_0 - A_d} \cdot 100, \quad (2)$$

где A_0 – площадь образца, мм²;

A_d – площадь опорного диска, мм²;

A_s – площадь спроецированной тени драпированной пробы, мм².

Расчет по формулам (1) и (2) приводит к получению одинаковых значений коэффициента K_D . Уменьшение значения коэффициента K_D , рассчитанного по данным формулам, свидетельствует о повышении драпируемости ткани.

Показано, что наиболее перспективным направлением совершенствования подходов к оценке драпируемости тканей является разработка методов, основанных на применении технологий 3D-сканирования. Подобные методы позволяют получить более информативные характеристики драпируемости по сравнению со стандартными методами, так как они способны выявить различия в характере драпируемости различных проб при одинаковом коэффициенте драпируемости. Однако на настоящий момент недостаточно разработаны комплексные показатели, характеризующие форму драпированных тканей.

Вторая глава посвящена анализу объекта исследований и применяемых в работе методов.

Осуществлен анализ мирового рынка льняного волокна и тканей. Несмотря на незначительную долю льняного волокна в мировой сырьевой базе текстильного производства, выращивание льна и выпуск льняных волокон, пряжи и тканей очень важны для белорусской текстильной промышленности.

Льносодержащие ткани являются одним из основных видов текстильной продукции, экспортируемой Республикой Беларусь. Расширение ассортимента и улучшение качества тканей с различным процентным содержанием льняного волокна, в том числе и за счет разработки новых методов его оценки, является основой повышения их конкурентоспособности на мировом рынке.

Основным производителем чистольняных и полульняных тканей в Беларуси является РУПТП «Оршанский льнокомбинат». Анализ ассортимента выпускаемой продукции показал, что внедрение новых технологий позволило увеличить долю тканей бытового назначения в общем объеме выпускаемой продукции, что повышает актуальность поставленных в работе задач.

С учетом повышенной жесткости льняных тканей особое внимание уделяется процессам их заключительной отделки, в результате которых ткани умягчаются, а драпируемость повышается. В связи с этим предложено в качестве одного из направлений использования планируемых результатов работы рассматривать определение рационального метода заключительной отделки льносодержащих тканей, обеспечивающего наилучшую их драпируемость.

В работе с целью получения образцов ткани с различной драпируемостью базовые образцы тканей подвергали трем вариантам отделки [2, 7]:

1. Обработка мягчителем TUBINGAL SMF производства фирмы СНТ.
2. Стирка с добавлением ферментного препарата ЭНЗИТЕКС ЦКП производства ООО «Фермент» и последующим полосканием в мягчителе TUBINGAL SMF.
3. Стирка с добавлением ферментного препарата Vactosol фирмы Archroma и последующим полосканием в мягчителе TUBINGAL SMF.

Действие ферментов заключается в направленной очистке волокон от естественных примесей, а также в мягчении тканей. В связи с этим высказано предположение о том, что сочетание мягчителя с ферментными препаратами позволит повысить эффективность процессов отделки и, как следствие, улучшить драпируемость тканей.

В качестве основного средства получения экспериментальных данных в данной работе были выбраны 3D-сканеры двух марок:

- настольный 3D-сканер NextEngine 3D scanner HD (рисунок 1 а);
- портативный 3D-сканер ARTEC SPIDER (рисунок 1 б).

Предложена методика получения информации о поверхности пробы с применением технологии 3D-сканирования для оценки драпируемости тканей, включающая описание последовательности действий при подготовке проб, их сканировании и обработке результатов.

Результаты сканирования сохранялись в формате STL и обрабатывались в программном комплексе SolidWorks следующим образом [1, 6]:

- полученная трехмерная модель драпированной пробы рассекалась параллельными горизонтальными плоскостями на различных расстояниях от опорного диска (рисунок 2 а), определяемых в зависимости от высоты свисающей части пробы;
- каждое сечение разбивалось на 72 сектора (рисунок 2 б, в);
- в каждом секторе определялось расстояние от оси опорного диска до крайней точки на поверхности пробы.



Рисунок 1 – 3D-сканеры, используемые в работе

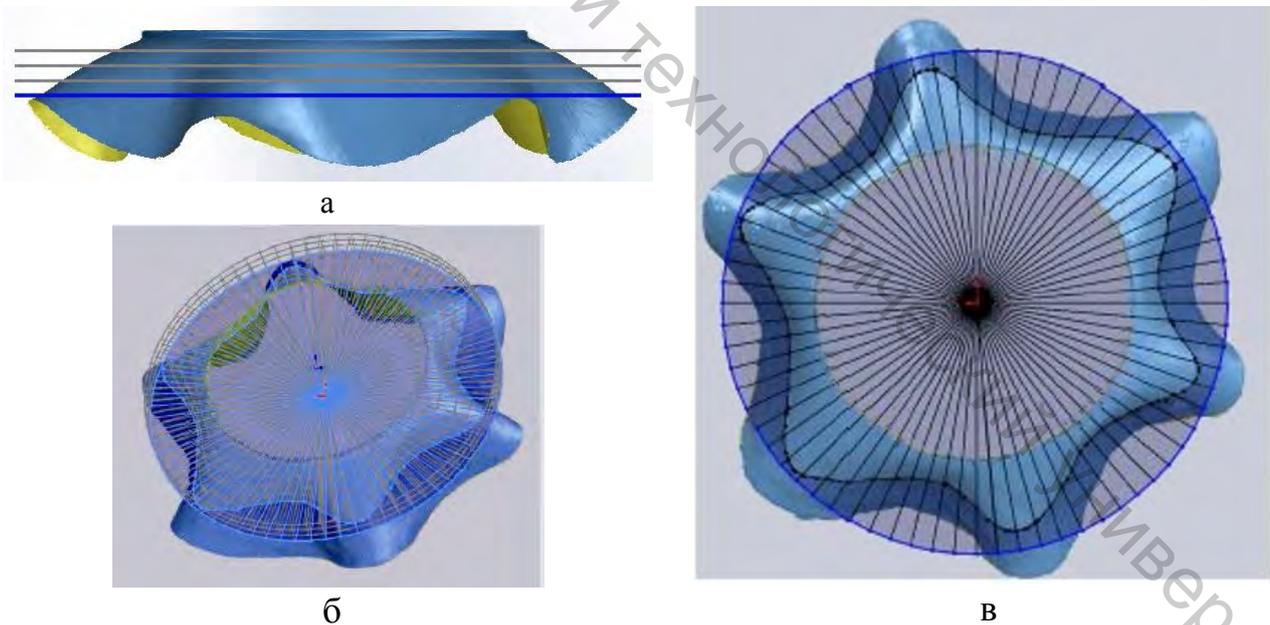


Рисунок 2 – Этапы разметки пробы [1, 7]

Выбраны методы и оборудование для определения свойств исследуемых тканей, в том числе поверхностной плотности, жесткости, толщины, полуцикловых деформационных характеристик.

В третьей главе осуществлена оценка возможности применения технологии 3D-сканирования для исследования драпируемости тканей.

Из определения, согласно которому драпируемость – это способность текстильных материалов в подвешенном состоянии под действием собственной массы образовывать красивые округлые устойчивые складки, сделан вывод, что одним из проявлений данного свойства является эстетичный вид драпированной ткани. В связи с этим выдвинуто предположение, что в «идеальном» случае при драпировке формируются одинаковые складки, следовательно, поверхность драпированной ткани может быть описана математически.

Предложен вид модели, описывающей поверхность драпированной пробы в полярных координатах, которая может быть построена в результате статистической обработки данных 3D-сканирования [2, 4, 5]:

$$R_D(\varphi, H) = (a_0 + a_1 \cdot H) + (a_2 + a_3 \cdot H) \cdot \left(\frac{1 + \sin(n \cdot \varphi + \Delta\varphi_1)}{2} \right)^{(a_4 + a_5 \cdot H)} + (a_6 + a_7 \cdot H) \cdot \left(\frac{1 + \sin(2 \cdot \varphi + \Delta\varphi_2)}{2} \right)^4, \quad (3)$$

где R_D – расстояние от оси опорного диска до точки на поверхности драпированной пробы, мм;

H – расстояние от точки на поверхности драпированной ткани до опорного диска, мм;

φ – угол, отложенный от направления основы по часовой стрелке;

n – количество складок;

$\Delta\varphi_1$ и $\Delta\varphi_2$ – начальные фазы периодических составляющих формулы (3);

$a_0 - a_7$ – эмпирические коэффициенты, значения которых зависят от параметров процесса испытания ткани (например, от радиуса образца и радиуса опорного диска) и от свойств испытываемой ткани (поверхностной плотности, плотности по основе и утку, жесткости нитей основы и утка, вида переплетения и т. д.).

На рисунке 3 представлены варианты конфигураций горизонтальных сечений пробы при одинаковых (рисунок 3 а) и различных (рисунок 3 б) значениях фаз $\Delta\varphi_1$ и $\Delta\varphi_2$. Можно отметить, что при неравенстве значений $\Delta\varphi_1$ и $\Delta\varphi_2$ визуально становится сложно выявить анизотропию драпируемости.

Для каждого сечения драпированной пробы модель (3) принимает следующий вид [3, 11, 13, 14]:

$$R_D(\varphi) = R_0 + \Delta R_1 \left(\frac{1 + \sin(n \cdot \varphi + \Delta\varphi_1)}{2} \right)^{k_1} + \Delta R_2 \left(\frac{1 + \sin(2 \cdot \varphi + \Delta\varphi_2)}{2} \right)^4, \quad (4)$$

где R_0 – радиус окружности, вписанной в сечение драпированной ткани, мм;

ΔR_1 – высота складки без учета анизотропии ткани по свойствам, мм;

ΔR_2 – отклонение высоты складки из-за анизотропии свойств ткани, мм;

k_1 – показатель степени, характеризующий искажение формы сечения складок по сравнению с синусоидой.

В качестве дополнительного критерия для оценки драпируемости предложено использовать коэффициент детерминации R^2 модели (4), характеризующий степень соответствия модели экспериментальным данным.

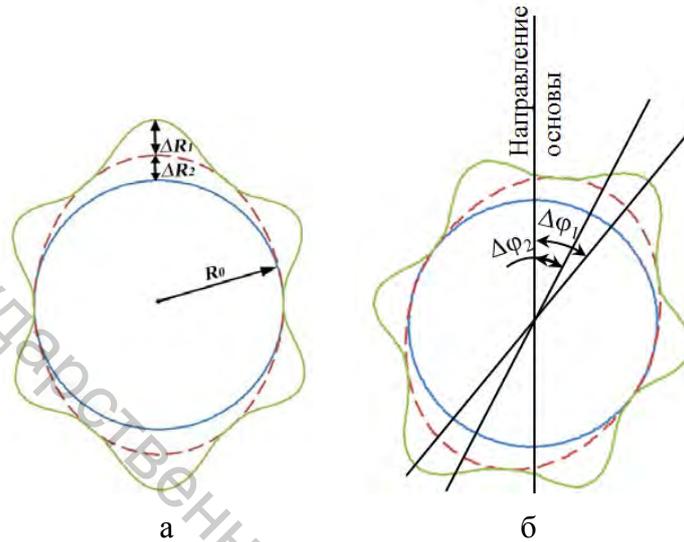


Рисунок 3 – Горизонтальные сечения драпированной пробы ткани [4]

Для оценки анизотропии драпируемости предложено использовать соотношение коэффициентов модели, аппроксимирующей поперечное сечение пробы в нижней ее части [4, 10]:

$$A = \frac{\Delta R_2}{R_0} \cdot 100 \% \quad (5)$$

Данный показатель отличается от предлагаемых в литературе тем, что при расчете его значений используется информация не о размерах конкретных складок, а обо всей форме профиля сечения поверхности драпированной ткани.

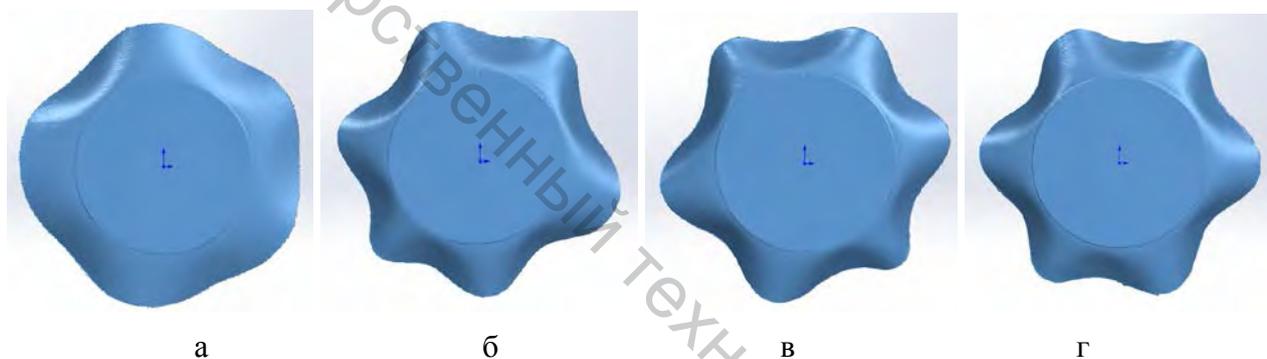
Проведены экспериментальные исследования с целью подтверждения возможности применения предлагаемого подхода к определению рационального метода отделки чистольняных и полульняных тканей, обеспечивающего их наилучшую драпируемость. В качестве объектов исследований были выбраны 5 артикулов тканей разного состава, структуры и поверхностной плотности, которые подвергали отделке по трем технологиям, описанным в главе 2.

Результаты сканирования ткани полотняного переплетения артикула 13С478-ШР+Гл до и после отделки представлены на рисунке 4. Исследования показали, что предложенная модель с достаточно высокой точностью описыва-

ет форму поверхности драпированной ткани полотняного переплетения, причем адекватность модели повышается при снижении жесткости ткани [2, 9, 14].

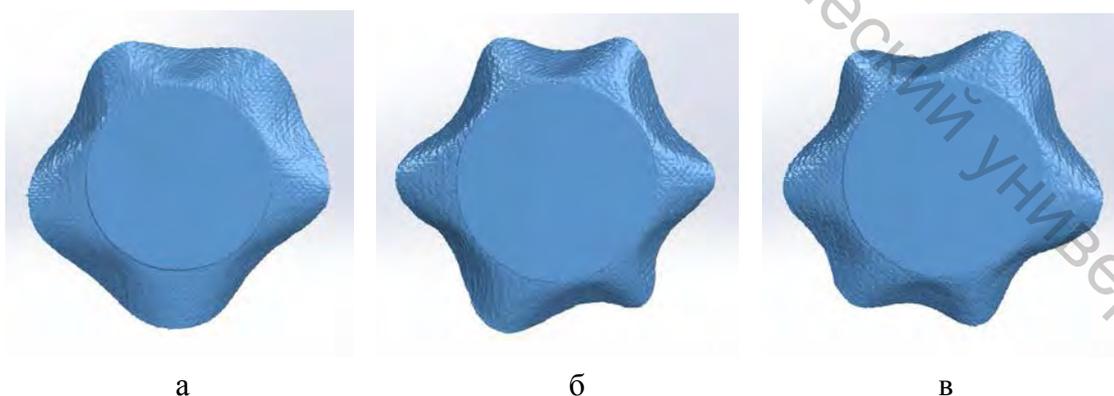
Так, для умягченных образцов исследованных тканей полотняного переплетения коэффициент детерминации регрессионной модели, описывающей сечение пробы, достигает 0,78, в то время как для неумягченных образцов он составлял 0,61 и 0,67. Наибольшее влияние на коэффициент детерминации для таких тканей оказывает их жесткость в диагональном направлении, с увеличением которой снижается закономерность формирования складок.

Результаты сканирования двухслойной ткани артикула 16С322-ШР+С с соединением слоев по контуру рисунка после отделки представлены на рисунке 5. Установлено, что для тканей сложных структур коэффициент детерминации регрессионной модели не зависит от их жесткости в диагональном направлении. Однако с увеличением жесткости ткани в диагональном направлении повышается анизотропия ее драпируемости (коэффициент корреляции $r = 0,83$) [14].



а – до отделки, б – после отделки (вариант 1),
в – после отделки (вариант 2), г – после отделки (вариант 3)

Рисунок 4 – Результаты сканирования тканей артикула 13С478-ШР+Гл [14]



а – вариант отделки 1; б – вариант отделки 2; в – вариант отделки 3

Рисунок 5 – Результаты сканирования тканей артикула 16С322-ШР+С

Доказано, что информации о жесткости тканей сложных структур не достаточно для прогнозирования их драпируемости, а применение 3D-сканирования с последующей обработкой результатов позволяет получить

комплекс показателей, характеризующих драпируемость тканей, которые могут быть использованы для выбора рационального варианта заключительной отделки, в результате которой происходит их умягчение [9, 10].

С целью оценки возможности сокращения временных затрат на получение данных для статистической обработки результатов 3D-сканирования проведены исследования по определению минимально возможного количества секторов, на которые разделяется сечение драпированной ткани при сохранении точности модели на приемлемом уровне. Установлено, что уменьшение количества секторов с 72 до 24 является приемлемым и не оказывает существенного влияния на результаты оценки драпируемости тканей [7].

Определено, что для исследованных тканей наибольшее влияние на количество формируемых складок оказывает диаметр опорного диска [15]. Выбор диаметра диска должен осуществляться исходя из требований минимальной вариативности количества складок, формируемых при испытаниях разных проб одного образца, и максимальных различий количества складок проб из образцов различных тканей. На основании анализа результатов рекомендовано проводить испытания при диаметре опорного диска, равном 180 мм.

Четвертая глава посвящена разработке программы для автоматизированной обработки результатов 3D-сканирования драпированных тканей.

Описанный в главах 2 и 3 подход к оценке драпируемости тканей характеризуется повышенной трудоемкостью получения данных и высокой погрешностью их определения. Для устранения указанных недостатков разработана компьютерная программа *DrapeCalculator*, которая позволит в автоматическом режиме осуществлять обработку результатов сканирования с построением математической модели и расчетом всех показателей драпируемости. При разработке программы решена проблема центрирования пробы относительно оси прижимного диска, что позволило исключить погрешности расчетов показателей драпируемости. Программа разработана совместно со студентом Крушевичем К.А., осуществившим перевод разработанного соискателем алгоритма в программный код. Доказано, что применение программы позволяет получать с достаточной точностью значения показателей драпируемости. Как показано на рисунке 6 на примере коэффициента драпируемости, значения показателей, определенные с использованием разработанной программы и при ручном способе подготовки данных для статистической обработки, различаются незначительно.

Использование программы позволяет снизить время на обработку данных 3D-сканирования приблизительно в 27 раз, а полные затраты на проведение испытаний, включая подготовку проб и их сканирование, – в 3 раза.

Пятая глава посвящена разработке и апробации методики оценки драпируемости тканей на основе применения 3D-сканирования.

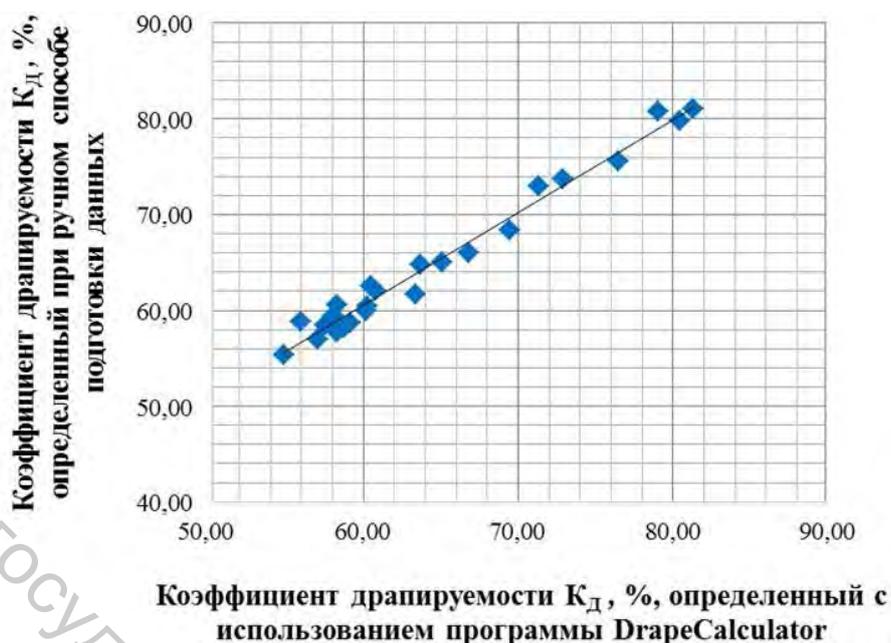


Рисунок 6 – Сопоставление усредненных значений коэффициента драпируемости, полученного разными методами [3]

В результате анализа существующих подходов к оценке драпируемости тканей установлено, что коэффициент драпируемости, как единичный показатель, не может однозначно характеризовать поведение ткани при драпировании в изделии. В связи с этим целесообразна разработка алгоритма комплексного анализа результатов испытаний тканей, позволяющего осуществлять выбор образца, который наиболее целесообразно использовать для изготовления изделий, для которых драпируемость является значимой характеристикой [5].

Для определения возможности применения получаемых в результате испытаний значений показателей драпируемости осуществлен анализ их вариативности. Установлено, что распределение коэффициента драпируемости близко к нормальному закону при малых значениях коэффициента вариации. Коэффициент детерминации регрессионной модели поверхности пробы и показатель асимметрии драпируемости характеризуются значительным разбросом значений, а закон их распределения не всегда соответствует нормальному. Для оценки статистической значимости различий указанных показателей предложено использовать непараметрический критерий Манна – Уитни [13].

Для оценки влияния характеристик драпируемости на визуальное восприятие готовых изделий из 5 образцов тканей были изготовлены юбки конического покроя с плотным облеганием по линии талии и равномерно расширенным низу силуэтом типа солнце, позволяющим максимально визуализировать способность ткани образовывать трубкообразные продольные складки, именуемые фалдами. Юбки изготавливались двух разных длин – 42 см (миди) и 28 см (мини). Для визуальной оценки драпировки юбки надевались на манекен, соответствующий росту 110 см, и фотографировались с 3 сторон – спереди, сзади и

сбоку. Полученные фотографии были предложены для оценки группе экспертов, состоявшей из 15 сотрудников и магистрантов Витебского государственного технологического университета.

На основании статистической обработки результатов экспертной оценки в качестве комплексного показателя драпируемости тканей предложен показатель визуального восприятия драпировки, значение которого рассчитывается на основе данных, полученных при 3D-сканировании драпированных проб [5]:

$$V = \frac{100 - K_D}{3 \cdot (A + 2\sigma_A)} \cdot \sqrt{n \cdot R^2}, \quad (6)$$

где σ_A – среднее квадратическое отклонение анизотропии драпируемости, %.

Показатель V достаточно точно отражает взаимосвязь показателей драпируемости и оценок, выставляемых экспертами при анализе образцов юбок. Значения коэффициентов корреляции, характеризующих взаимосвязь показателя V и оценок экспертов, касающихся равномерности складок, составляет 0,97–0,98 для юбок разной длины. Формула (6) не предназначена для прогнозирования результатов визуальной оценки швейных изделий экспертами, так как значение показателя V изменяется в большем диапазоне и существенно отличается от усредненных оценок. Основное назначение показателя V – сопоставление различных образцов и выбор наилучшего из них, изготовление изделия из которого с высокой вероятностью будет выше оценено экспертами [5].

Однако в ряде случаев для выбора наилучшего варианта ткани недостаточно определения того образца, для которого расчетное значение показателя V окажется максимальным. В значительной степени это связано с близостью получаемых значений, как видно на гистограмме, представленной на рисунке 7.

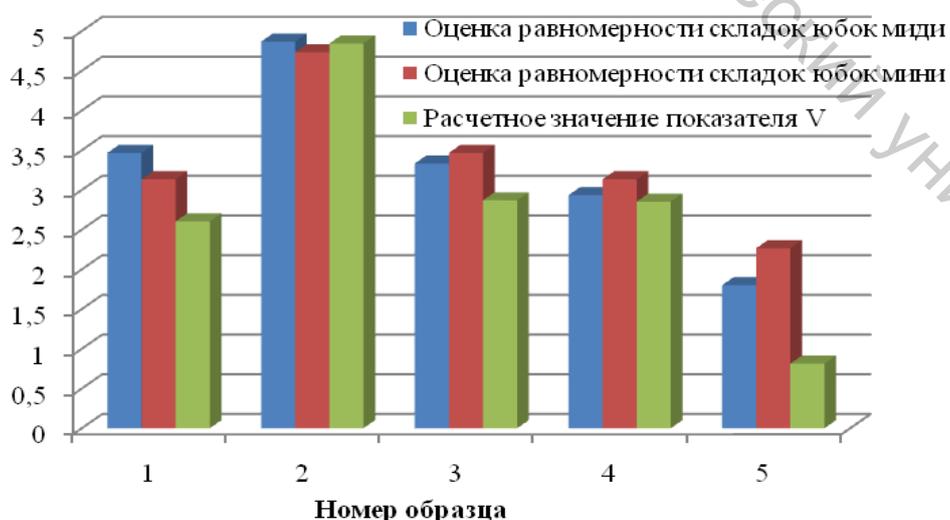


Рисунок 7 – Сопоставление результатов экспертной оценки равномерности складок с показателем визуального восприятия V [5]

На основании анализа результатов экспертной оценки и характеристик образцов исследованных тканей предложен алгоритм, основанный на методе последовательных уступок, согласно которому выбор ткани из имеющегося ассортимента осуществляется следующим образом [5]:

1. С использованием программы *DrapeCalculator* определяют значения следующих показателей для каждого i -го образца по серии из 18 испытаний:

- среднее количество складок n_i ;
- среднее значение коэффициента драпируемости K_{Di} ;
- среднее значение коэффициента детерминации R^2_i регрессионной модели, описывающей поверхность драпированной пробы;
- среднее значение показателя анизотропии драпируемости A для профиля тени, создаваемой пробой;
- среднее квадратическое отклонение анизотропии драпируемости σ_{Ai} ;
- среднее значение показателя визуального восприятия драпировки V .

2. Определяют среднее количество складок по всем образцам \bar{n} . Выбирают образцы, количество формируемых складок которых находится в диапазоне от среднего значения \bar{n} до максимального значения $n_{(max)}$.

3. Для всех образцов, удовлетворяющих условию, описанному в п. 2, рассчитывают среднее значение показателя визуального восприятия драпировки \bar{V} и выбирают образцы, для которых данный показатель находится в диапазоне от среднего значения \bar{V} до максимального значения $V_{(max)}$.

4. Для всех образцов, удовлетворяющих условию, описанному в п. 3, определяют среднее значение коэффициента драпируемости \bar{K}_d , выбирают из них образцы, для которых коэффициент драпируемости находится в диапазоне от минимального значения $K_{d(min)}$ до среднего значения \bar{K}_d .

5. Для всех образцов, удовлетворяющих условию, описанному в п. 4, определяют среднее значение коэффициента детерминации регрессионной модели поверхности драпированной пробы $R^2_{(cp)}$, выбирают из них образцы, для которых коэффициент детерминации находится в диапазоне от среднего значения $R^2_{(cp)}$ до максимального значения $R^2_{(max)}$.

6. Если количество образцов, удовлетворяющих условию, описанному в п. 5, больше одного, то окончательный выбор осуществляется специалистом или группой специалистов субъективно на основании имеющегося опыта.

В случае небольшого количества сравниваемых образцов последовательность действий может быть аналогичная, но окончательное решение может быть принято не на этапе 6, а на одном из предыдущих этапов.

Разработана методика оценки драпируемости тканей, которая внедрена в условиях Научно-технического парка Витебского государственного технологического университета и апробирована на ОАО «Знамя индустриализации» (Витебск). Апробация предложенного алгоритма доказала его эффективность при

выборе ткани, обеспечивающей наилучшую драпировку при производстве швейных изделий.

Разработанная методика может быть использована для оценки драпируемости чистольняных и полульняных тканей, а также тканей другого состава, характеристики которых находятся в следующих диапазонах:

- поверхностная плотность – от 100 до 500 г/м²;
- жесткость при изгибе, измеренная вдоль основы и утка, – от 3000 до 40000 мкН*см².

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации

1. Разработана математическая модель, описывающая поверхность драпированной пробы ткани, профили ее тени и отдельных сечений, коэффициенты которой определяются в ходе статистической обработки данных, получаемых при сканировании проб материала [1, 2, 6].

2. Предложен комплекс критериев для оценки драпируемости, включающий коэффициент драпируемости, количество складок пробы, коэффициент детерминации регрессионной модели, описывающей поверхность драпированной ткани, показатель анизотропии драпируемости, рассчитываемый как соотношение коэффициентов модели тени пробы, а также показатель визуального восприятия драпировки, полученный на основе анализа результатов экспертной оценки швейных изделий, изготовленных из тканей разного состава [1, 4, 5, 6, 13, 15].

3. Получены экспериментальные данные, характеризующие влияние свойств чистольняных и полульняных тканей разной структуры, в том числе формируемых в результате заключительной отделки, на показатели их драпируемости [2, 4, 9, 10, 14].

4. Разработана программа для автоматизированной обработки результатов 3D-сканирования проб тканей, позволяющая существенно сократить затраты времени на расчет значений показателей драпируемости, повысить их точность, а также осуществлять оценку достоверности различий средних значений определяемых показателей [3, 12].

5. Разработан алгоритм, основанный на методе последовательных уступок, который позволяет осуществлять обоснованный выбор ткани с наилучшей драпируемостью из исследуемых образцов на основе сравнения значений единичных показателей и предложенного комплексного показателя визуального восприятия драпировки различных образцов тканей [5, 13, 14].

Рекомендации по практическому использованию результатов

1. Разработана методика оценки драпируемости тканей по результатам 3D-сканирования, включающая методику проведения испытаний и обработки полученных результатов, обоснованные параметры испытаний, а также алгоритм выбора ткани с наилучшей драпируемостью из исследуемых образцов. Разработанная методика может быть рекомендована для получения комплекса показателей драпируемости чистольняных и полульняных тканей, а также тканей другого состава, поверхностная плотность которых составляет от 100 до 500 г/м², а жесткость при изгибе, измеренная вдоль основы и утка, – от 3000 до 40000 мкН·см² [13].

2. Применение разработанной методики оценки драпируемости тканей позволяет осуществлять обоснованный выбор не только чистольняных и льно-содержащих тканей для изготовления изделий, для которых драпируемость является одной из наиболее важных характеристик, но и рациональной технологии заключительной отделки, в результате которой происходит существенное снижение жесткости тканей [10].

3. В учебный процесс УО «ВГТУ» внедрена программа для автоматизированного расчета показателей драпируемости тканей, использование которой позволяет сократить временные затраты на статистическую обработку данных 3D-сканирования в 27 раз, а полные затраты на проведение испытаний, включая подготовку проб и их сканирование, – в 3 раза, а также способствует овладению методами и средствами оценки драпируемости текстильных полотен, пониманию взаимосвязи свойств тканей с показателями их драпируемости [Акт о внедрении результатов НИОКР в учебный процесс от 24.06.2020].

4. Разработанная методика внедрена в Научно-техническом парке Витебского государственного технологического университета с целью создания возможности оценки драпируемости тканей при разработке нового ассортимента швейных изделий [Акт об использовании (внедрении) НИР от 10.09.2020].

5. В производственных условиях ОАО «Знамя индустриализации» проведены испытания образцов льняных тканей, определен комплекс показателей их драпируемости с использованием разработанной методики, что позволило осуществить обоснованный выбор тканей для нового ассортимента швейных изделий с улучшенной драпируемостью [Акт о практическом использовании результатов исследования от 09.09.2020].

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ

Статьи в научных рецензируемых журналах:

1. Рыклин, Д. Б. Разработка математической модели драпированной ткани с использованием данных, получаемых в процессе 3D-сканирования / Д. Б. Рыклин, С. Тан, А. Н. Гришаев, Д. В. Песковский // Вестник Витебского государственного технологического университета. – 2018. – № 1 (34). – С. 70–78.

2. Рыклин, Д. Б. Оценка драпируемости чистольняных тканей полотняного переплетения / Д. Б. Рыклин, С. Тан // Вестник Витебского государственного технологического университета. – 2019. – № 1 (36). – С. 103–110.

3. Рыклин, Д. Б. Разработка программы для расчета показателей драпируемости тканей на основе данных 3D-сканирования / Д. Б. Рыклин, С. Тан, К. А. Крушевич // Вестник Витебского государственного технологического университета. – 2020. – № 1 (38). – С. 113–124.

4. Рыклин, Д. Б. Оценка анизотропии драпируемости тканей на основе анализа результатов 3D-сканирования / Д. Б. Рыклин, С. Тан // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. – 2020. – № 2 (386). – С. 137–145.

5. Рыклин, Д. Б. Разработка методики выбора ткани с наилучшей драпируемостью на основе обработки результатов 3D-сканирования / Д. Б. Рыклин, С. Тан, Н. В. Ульянова // Дизайн и технологии. – 2020. – № 76 (118). – С. 58–69.

Материалы конференций:

6. Тан, С. Оценка драпируемости льняных тканей с использованием 3D-сканирования / С. Тан, Д. Б. Рыклин, А. Н. Гришаев, Д. В. Песковский // Инновационные технологии в текстильной и легкой промышленности : сборник научных статей / УО «ВГТУ». – Витебск, 2018. – С. 84–86.

7. Рыклин, Д. Б. Разработка методики оценки драпируемости тканей / Д. Б. Рыклин, С. Тан // Материалы докладов 52-й Международной научно-технической конференции преподавателей и студентов : в 2 т. / УО «ВГТУ». – Витебск, 2019. – Т. 2. – С. 255–257.

8. Тан, С., Исследование драпируемости тканей с использованием 3D-сканера / С. Тан, Д. Б. Рыклин, Н. Б. Сапарбаева // Актуальные проблемы развития химии, химической технологии, нефтегазовой и легкой промышленности, 24 мая 2019 г. / Каракалпакский государственный университет имени Бердаха. – Нукус. – 2019. – С. 348–349.

9. Тан, С. Исследование драпируемости льносодержащих тканей различной структуры с применением 3D-сканирования / С. Тан, Д. Б. Рыклин // Инновационные технологии в текстильной и легкой промышленности : материалы Международной научно-технической конференции, Витебск, 13–14 ноября 2019 г. / УО «ВГТУ». – Витебск, 2019. – С. 86–89.

10. Тан, С. Математическое описание поверхности драпированной ткани / С. Тан // Национальная молодежная научно-техническая конференция «Молодые ученые – развитию национальной технологической инициативы (ПОИСК-2020)», Иваново, апрель 2020 г. / Текстильный институт ФГБОУ ВПО «ИВГПУ». – Иваново, 2020. – Ч. 1. – С. 672–675.

11. Тан, С. Анализ формул для расчета коэффициента драпируемости текстильных полотен / С. Тан, Д. Б. Рыклин // Материалы докладов 53-й Международной научно-технической конференции преподавателей и студентов : в 2 т. / УО «ВГТУ». – Витебск, 2020. – Т. 2. – С. 257–260.

12. Тан, С. Разработка математической модели поверхности драпированного образца ткани / С. Тан, Д. Б. Рыклин, К. А. Крушевич // Международный научно-практический симпозиум «Прогрессивные технологии и оборудование: текстиль, одежда, обувь», Витебск, 3 ноября 2020 г. / УО «ВГТУ». – Витебск, 2020. – С. 114–116.

13. Тан, С. Разработка методики оценки драпируемости тканей на основе применения 3D-сканера / С. Тан, Д. Б. Рыклин // Материалы VI Международной научно-технической конференции «Дизайн, технологии и инновации в текстильной и легкой промышленности» (ИННОВАЦИИ-2020) : сборник материалов, Москва, 12 ноября 2020 г. / Российский государственный университет им. А. Н. Косыгина. – М., 2020. – Ч. 2. – С. 119–122.

14. Тан, С. Оценка влияния вида заключительной отделки на драпируемость льносодержащих тканей / С. Тан, Д. Б. Рыклин // VII Белорусско-Китайский молодежный инновационный форум «НОВЫЕ ГОРИЗОНТЫ – 2020». 17 ноября 2020 г. : сборник материалов. – Минск. – 2020. – Т. 1. – С. 103–105.

Тезисы докладов:

15. Рыклин, Д. Б. Разработка метода оценки драпируемости тканей / Д. Б. Рыклин, С. Тан // Нові підходи до державного контролю якості за європейськими принципами : матеріали Міжнародної науково-практичної конференції, м. Херсон, 11–13 вересня 2019 р. / Херсонський національний технічний університет. – Херсон. – 2019. – С. 170–174.

РЕЗЮМЕ

Тан Сяотун

Комплексная оценка драпируемости чистольняных и полульняных тканей с использованием 3D-сканирования

Ключевые слова: драпируемость, ткань, лен, 3D-сканирование, оценка, методика.

Цель работы: разработка новых подходов к оценке драпируемости чистольняных и полульняных тканей на основе применения технологии 3D-сканирования.

Методы исследования и использованная аппаратура: при проведении исследований оценка свойств тканей (поверхностной плотности, толщины, жесткости на изгиб, разрывной нагрузки и удлинения) осуществлялась стандартными методами. Для оценки драпируемости тканей использовались 3D-сканеры двух моделей NextEngine 3D scanner HD и ARTEC SPIDER.

Полученные результаты и их новизна: разработан вид математической модели, описывающей поверхность драпированной пробы ткани, коэффициенты которой могут быть определены в ходе статистической обработки получаемых при 3D-сканировании данных. Предложен новый комплекс критериев для оценки драпируемости. Получены новые экспериментальные данные, позволяющие анализировать влияние свойств чистольняных и полульняных тканей разной структуры, в том числе формируемых в результате заключительной отделки, на показатели их драпируемости. Разработана программа для автоматизированной обработки результатов 3D-сканирования. Разработан алгоритм, позволяющий осуществлять обоснованный выбор ткани с наилучшей драпируемостью из исследуемых образцов на основе сравнения значений единичных показателей и предложенного комплексного показателя визуального восприятия драпировки различных образцов тканей.

Рекомендации по использованию: разработанные методики могут быть использованы в испытательных центрах, научно-исследовательских лабораториях для исследования материалов, на швейных предприятиях при выборе чистольняных, полульняных тканей, а также тканей другого состава, поверхностная плотность которых составляет от 100 до 500 г/м², а жесткость при изгибе, измеренная вдоль основы и утка, – от 3000 до 40000 мкН*см², для изделий, для которых драпируемость является значимым свойством.

Область применения: полученные результаты могут быть реализованы на текстильных предприятиях при разработке технологии заключительной отделки тканей и на швейных предприятиях при их конфекционировании.

РЭЗЮМЭ

Тан Сяатун

Комплексная ацэнка драпіравальнасці льняных і паўільняных тканін з выкарыстаннем 3D-сканавання

Ключавыя словы: драпіравальнасць, тканіна, лён, 3D-сканаванне, ацэнка, методыка.

Мэта працы: распрацоўка новых падыходаў да ацэнкі драпіравальнасці льняных і паўільняных тканін на аснове прымянення тэхналогіі 3D-сканавання.

Метады даследавання і выкарыстаная апаратура: пры правядзенні даследаванняў ацэнка ўласцівасцяў тканін (павярхоўнай шчыльнасці, таўшчыні, калянасці на выгіб, разрыўной нагрузкі і падаўжэння) ажыццяўлялася стандартнымі метадамі. Для ацэнкі драпіравальнасці тканін выкарыстоўваліся 3D-сканеры дзвюх мадэляў NextEngine 3D scanner HD і ARTEC SPIDER.

Атрыманыя вынікі і іх навізна: распрацаваны від матэматычнай мадэлі, якая апісвае паверхню драпіраванай пробы тканіны, каэфіцыенты якой могуць быць вызначаны ў ходзе статыстычнай апрацоўкі атрыманых пры 3D-сканаванні дадзеных. Прапанаваны новы комплекс крытэрыяў для ацэнкі драпіравальнасці. Атрыманы новыя эксперыментальныя дадзеныя, якія дазваляюць аналізаваць уплыў уласцівасцяў ільняных і паўільняных тканін рознай структуры, у тым ліку тых, што фарміруюцца ў выніку канчатковай апрацоўкі, на паказчыкі іх драпіравальнасці. Распрацавана праграма для аўтаматызаванай апрацоўкі вынікаў 3D-сканавання. Распрацаваны алгарытм, які дазваляе ажыццяўляць абгрунтаваны выбар тканіны з найлепшай драпіравальнасцю з доследных узораў на аснове параўнання значэнняў адзінкавых паказчыкаў і прапанаванага комплекснага паказчыка візуальнага ўспрымання драпіроўкі розных узораў тканін.

Рэкамендацыі па выкарыстанні: распрацаваныя методыкі могуць быць скарыстаны ў выпрабавальных цэнтрах, навукова-даследчых лабараторыях для даследавання матэрыялаў, на швейных прадпрыемствах пры выбары льняных, паўільняных тканін, а таксама тканін іншага саставу, павярхоўная шчыльнасць якіх складае ад 100 да 500 г/м², а калянасць пры выгібе, вымераная ўздоўж асновы і ўтку, – ад 3000 да 40000 мкН*см², для вырабаў, для якіх драпіравальнасць з'яўляецца значнай уласцівасцю.

Вобласць прымянення: атрыманыя вынікі могуць быць рэалізаваны на тэкстыльных прадпрыемствах пры распрацоўцы тэхналогіі канчатковай апрацоўкі тканін і на швейных прадпрыемствах пры іх канфэкцыянаванні.

SUMMARY

TANG XIAOTONG

Comprehensive assessment of linen and semi-linen fabrics drapability using 3D scanning

Keywords: drapability, fabric, linen, 3D scanning, evaluation, method.

Objective is to develop new approaches to evaluating the drapability of linen and semi-linen based on the use of 3D scanning technology.

Research methods and equipment: during the research the evaluation of fabrics properties (surface density, thickness, bending stiffness, breaking load and elongation) was carried on using standard methods. 3D scanners of two models NextEngine 3D scanner HD and ARTEC SPIDER were used to evaluate fabrics drapability.

Results and innovations: the type of mathematical model describing the surface of the draped fabric sample has been developed, the coefficients of this model can be determined as a result of statistical processing of the data obtained during 3D scanning. A new complex of criteria for drapability evaluating has been proposed. New experimental data have been obtained that allow analyzing the influence of the properties of linen and semi-linen fabrics of different structures including formed as a result of their final finishing on the indicators of their drapability. A program for automated processing of 3D scanning results has been developed. An algorithm has been developed that makes it possible to reasonably choose of the fabric with the best drapability from the studied samples based on comparing the values of individual indicators and the proposed complex indicator of visual perception of various samples drapery.

Recommendations for use: the developed methods can be used in testing centers, research laboratories for materials research, in clothing enterprises when choosing linen, semi-linen fabrics, as well as fabrics of other composition, the surface density of which is from 100 to 500 g/m², and the bending stiffness measured along the warp and weft is from 3000 to 40000 $\mu\text{N}\cdot\text{cm}^2$, for products for which drapability is a significant property.

Application area: the results can be used in textile enterprises to develop technology for fabrics finishing and in clothing enterprises to confectioning of materials.

ТАН СЯОТУН

**КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА ДРАПИРУЕМОСТИ
ЧИСТОЛЬНЯНЫХ И ПОЛУЛЬНЯНЫХ ТКАНЕЙ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ 3D-СКАНИРОВАНИЯ**

Автореферат на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Подписано к печати 18.03.2021. Формат 60x90^{1/16}. Усл. печ. листов 1,6.
Уч.-изд. листов 2,0. Тираж 60 экз. Заказ № 70.

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.