

Научная статья

УДК 677.025

doi 10.34216/2587-6147-2021-4-54-22-29

Марина Валерьевна Зимина¹

Анастасия Павловна Груздева²

Любовь Леонидовна Чагина³

^{1,2,3}Костромской государственной университет, г. Кострома, Россия

¹ziminamv1977@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3360-2206>

²i-printemps@mail.ru <https://orcid.org/0000-0002-1835-4144>

³lyu-chagina@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0351-8177>

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ЖЕСТКОСТИ ПРИ ИЗГИБЕ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ АДАПТИВНОЙ ОДЕЖДЫ ЛЮДЕЙ С ОГРАНИЧЕННЫМИ ДВИГАТЕЛЬНЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ

Аннотация. В статье проведен анализ существующих методов исследования характеристик жесткости при изгибе. Обоснована актуальность совершенствования методики оценки и прогнозирования жесткости при изгибе, применительно к условиям эксплуатации исследуемого контингента потребителей. Методика включает два основных этапа: экспериментальное исследование характеристик жесткости с учетом особенностей исследуемого ассортимента и этап прогнозирования конструктивных решений изделия. Проведены комплексные экспериментальные исследования характеристик изгиба современных тканей курточного ассортимента для адаптивной одежды людей с ограниченными двигательными возможностями. Для объективной оценки износа в процессе носки в предлагаемой методике реализуется дополнительный принудительный изгиб проб в противоположных направлениях с целью приближения результатов испытаний к реальным условиям эксплуатации. Результаты экспериментальных исследований могут применяться на стадии проектирования для прогнозирования характеристик изгиба тканей курточного ассортимента одежды для людей с ограниченными двигательными возможностями.

Ключевые слова: жесткость при изгибе, адаптивная одежда, конфекционирование, прогнозирование, расчетный метод, проектирование, принудительный изгиб проб

Для цитирования: Зимина М. В., Груздева А. П., Чагина Л. Л. Методика исследования и прогнозирования характеристик жесткости при изгибе материалов для проектирования адаптивной одежды людей с ограниченными двигательными возможностями // Технологии и качество. 2021. № 4(54). С. 22–29. <https://doi.org/10.34216/2587-6147-2021-4-54-22-29>.

Original article

Marina V. Zimina¹

Anastasia P. Gruzdeva²

Lyubov' L. Chagina³

^{1,2,3}Kostroma State University, Kostroma, Russia

METHODOLOGY FOR THE STUDY AND PREDICTION OF STIFFNESS CHARACTERISTICS DURING BENDING TRIALS FOR THE DESIGN OF ADAPTIVE CLOTHING FOR PEOPLE WITH MOTOR DISABILITIES

Abstract. The article analyses the existing methods of studying the characteristics of bending stiffness. Topicality of improving the methodology for assessing and predicting bending stiffness in relation to the operating conditions of the studied contingent of consumers is substantiated. The methodology includes two main stages – an experimental study of the stiffness characteristics taking into account the characteristics of the range under study and a stage of forecasting the design solutions of the product. Comprehensive experimental studies of the bending characteristics of modern fabrics of the jacket assortment for adaptive clothing of people with motor disabilities have been carried out. For an objective assessment of wear during use, the proposed method implements an additional forced bending of samples in opposite directions in order to

bring the test results closer to real operating conditions. The results of experimental studies can be used at the design stage to predict the bending characteristics of the fabrics of the jacket assortment of clothing for people with motor disabilities.

Keywords: *flexural stiffness, adaptive clothing, confection, forecasting, calculation method, design, forced sample bending*

For citation: Zimina M. V., Gruzdeva A. P., Chagina L. L. Methodology for the study and prediction of stiffness characteristics during bending trials for the design of adaptive clothing for people with motor disabilities. *Technologies & Quality*. 2021. No 4(54). P. 22–29. (In Russ.) <https://doi.org/10.34216/2587-6147-2021-4-54-22-29>.

Одним из приоритетных направлений развития социальной политики правительства Российской Федерации является программа «Доступная среда», которая должна решить проблему повсеместной интеграции людей с ограниченными возможностями здоровья в жизнь современного общества. Базовыми принципами программы являются обеспечение доступности современной реабилитационной продукции для людей с инвалидностью. Одним из важных пунктов в списке реабилитационной продукции является адаптивная одежда верхнего ассортимента [1].

Ввиду того что маломобильные граждане проводят много времени в сидячей позе, необходимо обоснованно подходить к конфекционированию материалов для ассортимента адаптивной одежды. Данные изделия должны отвечать комплексу показателей качества и ряду требований за счет использования рационально составленных систем материалов, обеспечивающих создание, поддержание и контроль комфорта людей с ограниченными двигательными возможностями [2]. По отзывам потребителей, одной из наиболее значимых характеристик материала, определяющей комфортное состояние маломобильного человека – удобство адаптивной одежды в положении «сидя», является жесткость при изгибе, характеризующаяся способностью ткани изгибаться под действием собственной силы тяжести [3, 4].

Жесткость, являясь характеристикой, которая определяет целевое назначение, оказывает влияние на поведение систем материалов при изготовлении швейных изделий и в эксплуатации. Повышенная жесткость имеет отрицательное значение, приводя к накоплению остаточных деформаций, выражающихся в образовании необратимых складок, которые уменьшают износостойкость по сгибам, тем самым сокращают срок эксплуатации изделий. При конфекционировании материалов в пакет изделия необходима дифференциация требований к показателям жесткости с учетом специфики эксплуатационных воздействий.

Среди большого количества существующих методов определения жесткости текстильных материалов выделяют две принципиально

различные группы по способу приложения действующей нагрузки. К первой группе относятся методы изгибания под действием распределенной нагрузки (собственной силы тяжести пробы), к другой – методы принудительного изгибания под действием сосредоточенной нагрузки. В методах определения жесткости при изгибе под действием распределенной нагрузки усилие направлено перпендикулярно плоскости (оси) образца, при этом проба закрепляется в одной перемещающейся опоре и при испытании не осуществляется принудительная деформация образца (контактный консольный метод, флексометр, прибор Пирса). В испытаниях жесткости при изгибе под действием распределенной нагрузки возможен вариант испытаний без перемещения опоры, в этом случае в одних методах происходит деформация образца (метод кольца, петли, груши), в других – нет (консольный бесконтактный метод, метод вертикальной консоли, прибор ПТ-1(2) и др.). В методах испытания жесткости при изгибе под действием сосредоточенной нагрузки усилие может осуществляться перпендикулярно плоскости (оси) образца и вдоль образца. В первом случае возможны испытания с закреплением в двух перемещающихся опорах без деформации образца (приборы Шифера, Френцеля и др.) и с деформацией (прибор Мауэра), а также испытания без перемещения опоры с закреплением в одной опоре без деформации образца (приборы Лазаренко, Мюнцингера, Шребера, Хесса, Гарлея) или с деформацией (приборы ПЖУ-12М, Дурста, Бекка, Шаберта, Саксла, Городова). Третий вариант испытаний жесткости при изгибе под действием сосредоточенной силы, перпендикулярной плоскости (оси), подразумевает свободное расположение пробы на двух опорах без принудительной деформации (метод по ГОСТ 9187, прибор Вильсона). Испытания под действием сосредоточенной нагрузки вдоль оси пробы осуществляются с деформацией образца, при этом закрепление осуществляется в двух перемещающихся опорах (прибор МТИЛП Пантелеева и др.).

Стандартным методом определения жесткости при изгибе легко изгибающихся материа-

лов является метод консоли [5], реализующий расчет условной жесткости по стреле прогиба консолюно расположенной полоски материала и основанный на приближенном решении дифференциального уравнения линии изгиба для случаев больших прогибов. Получаемые в результате экспериментальных исследований значения условной жесткости определяют способность сопротивляться изменению формы при изгибе. Проблемой остается сложность согласования получаемой в результате экспериментальных исследований информации с реальным процессом проектирования швейных изделий с учетом значений жесткости, оценки их влияния на качественные характеристики готового изделия. Для рассматриваемого контингента потребителей важным моментом является верифицированное применение получаемых результатов при разработке конструктивных решений с учетом специфических условий эксплуатации изделий, особенностей и удобства выполнения характерных движений людьми с ограниченными двигательными возможностями.

Для исследуемого ассортимента изделий важным требованием является сохранение качественных характеристик изделия в процессе носки, поскольку специальная адаптивная одежда отличается значительной стоимостью при низкой платежеспособности лиц с ограниченными возможностями здоровья. При длительной эксплуатации механический износ оказывает неблагоприятное воздействие на швы материалов: происходит разрушение полиуретанового покрытия и нарушение структуры материала.

Для получения объективных данных по характеристикам жесткости при изгибе с целью дальнейшего учета при проектировании конструктивных и технологических решений готового изделия предложена усовершенствованная методика (рис. 1). Методика включает два основных этапа: экспериментальное исследование характеристик жесткости с учетом особенностей исследуемого ассортимента и этап прогнозирования конструктивных решений изделия.

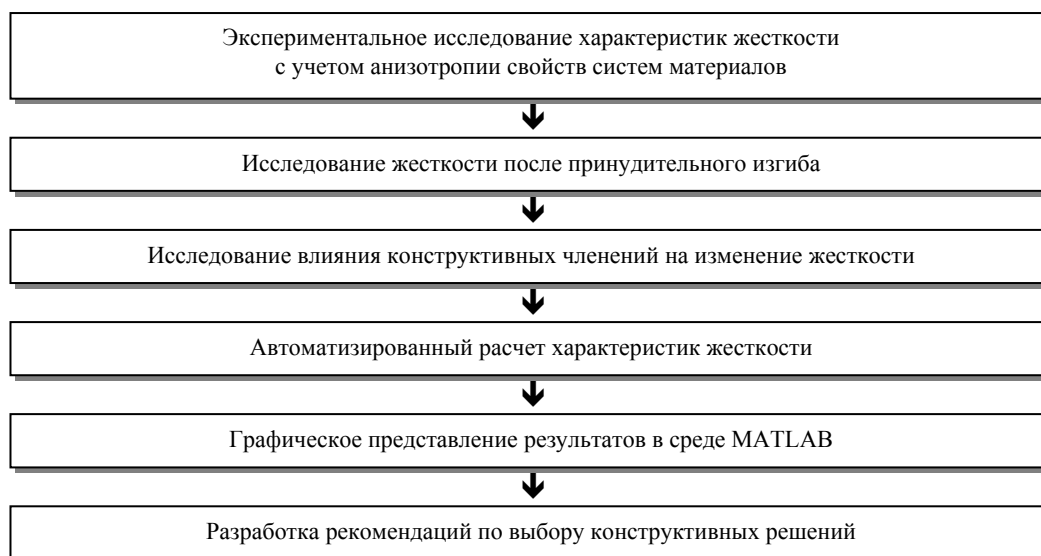


Рис. 1. Методика исследования и прогнозирования характеристик жесткости при изгибе материалов для проектирования адаптивной одежды

Экспериментальное исследование жесткости при изгибе систем материалов осуществляется на приборе ПТ-2, при этом с целью получения информации по анизотропии исследуемого свойства по направлениям: основа, уток и под углом 45° . Жесткость при изгибе EJ , мкНсм^2 , вычисляется отдельно для каждого направления по формуле

$$EJ = 42046 \frac{m}{A}, \quad (1)$$

где m – общая масса пяти элементарных проб, г;

A – функция относительного прогиба, определяемая по ГОСТ [5].

Далее рассчитывается коэффициент анизотропии жесткости как отношение значения продольной жесткости материала к поперечной.

В настоящее время для верхней одежды курточного ассортимента наиболее распространены синтетические материалы, представляющие собой ткани определенной структуры со специальным покрытием, как правило, покрытие располагается на внутренней стороне материала. В основном это полиуретановое покрытие.

тие, которое обеспечивает водонепроницаемость и ветрозащитные свойства. В структуру некоторых материалов входят армированные нити для повышения прочности.

В данной работе в качестве объектов исследований выбраны образцы популярных курточных материалов с водоотталкивающей пропиткой и мембранные ткани с разной поверхностной плотностью и толщиной, которые используют в производстве верхней адаптивной одежды для людей с ограниченными двигательными возможностями [6, 7]. Характеристики исследуемых материалов

Характеристики исследуемых материалов

Наименование материала	Переплетение	Покрытие	Поверхностная плотность M_s , г/м ²	Толщина материала b , мм
1. Оксфорд R/SPIY	Плотняное с армированной нитью	Одностороннее полиуретановое	249	0,4
2. Курточная ткань с мембранным покрытием	Саржевое	Одностороннее полиуретановое	150	0,2
3. Оксфорд R/S	Плотняное с армированной нитью	Без покрытия	232	0,3
4. Дюспо 240Т	Плотняное	Одностороннее полиуретановое	71	0,1
5. Курточная ткань	Плотняное	Одностороннее полиуретановое	93	0,2
6. Санбрелла	Плотняное	Одностороннее поливинилхлоридное	314	0,5

Таблица 1

Характеристики анизотропии жесткости при изгибе

Таблица 2

Номер пробы	Жесткость при изгибе EJ , мкН·см ²			Коэффициент жесткости K_{EJ}	Стачной шов		Коэффициент жесткости K_{EJ}
	основа	уток	45°		основа	уток	
1	27 032	12 733	10 438	2,12	181 848	76 597	2,3
2	6 951	659	532	10,55	23 765	7 577	3,1
3	4 850	3 905	1 195	1,24	52 864	42 764	1,23
4	572	266	242	2,15	9 549	3 218	2,91
5	334	504	414	0,66	7 197	8 726	0,82

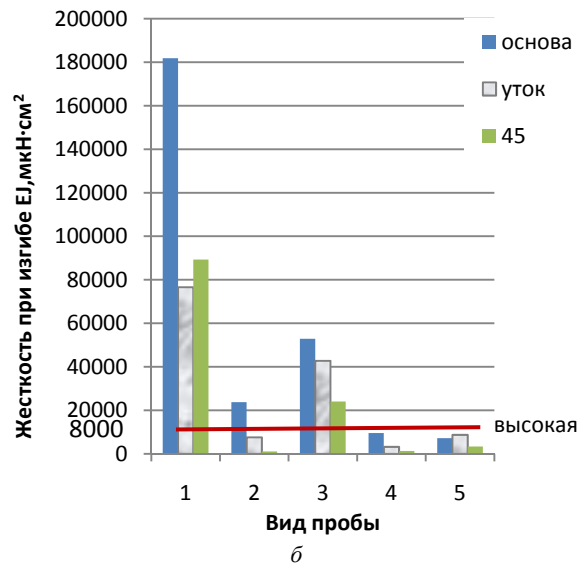
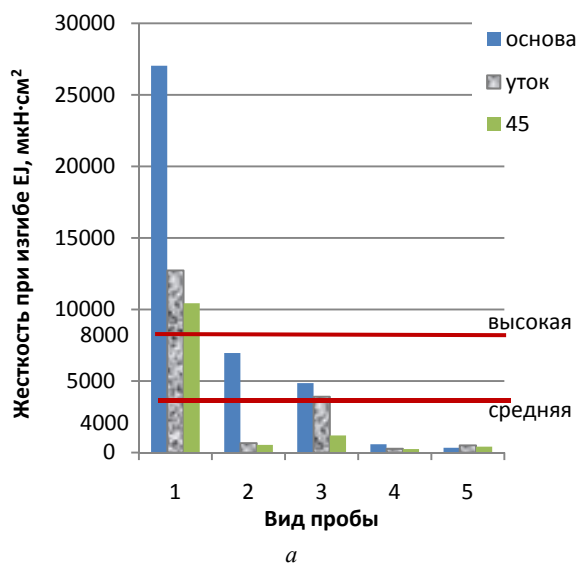


Рис. 2. Жесткость при изгибе материалов курточного ассортимента:

а – однослойная система материалов; б – система материалов со стачным швом;
1 – Оксфорд R/SPIY; 2 – курточная ткань с мембранным покрытием; 3 – Оксфорд R/S;
4 – Дюспо 240Т; 5 – курточная ткань

Анализ результатов показал, что жесткость при изгибе различается в ортогональных направлениях и изменяется в широком диапазоне. Наибольшую анизотропию показателей жесткости при изгибе в направлении основы и утка имеет ткань с мембранным покрытием № 2. Материалы № 4–5 обладают значительной изотропностью исследуемого свойства, в том числе в направлении раскроя под углом 45° , что создает предпосылки выкраивания деталей изделия в любом направлении. Анизотропия жесткости этих материалов сглаживается за счет одностороннего полиуретанового покрытия. Значения коэффициентов жесткости K_{EI} находятся в интервале 0,66...10,55 и подтверждают необходимость комплексного учета исследуемого свойства.

Материал Санбрелла не подходит для испытаний по методу консоли, поскольку стрела прогиба испытываемого материала должна быть не менее 10 мм. Он может быть испытан при помощи метода кольца на приборе ПЖУ-12-М. Использование данного материала при изготовлении адаптивной одежды возможно для дополнительных слоев деталей изделий особо подверженных трению в процессе эксплуатации.

Учитывая основное положение тела человека в инвалидном кресле, характер движений

и статичность нижней части тела человека, для объективной оценки жесткости материалов в процессе носки в предлагаемой методике реализуется дополнительный принудительный изгиб проб в противоположных направлениях с целью приближения условий испытаний к реальным условиям эксплуатации.

Предварительные исследования проб, соединенных стачным швом и подвергнутых принудительному изгибу, показали увеличение показателей жесткости при изгибе, что доказывает необходимость учета данного фактора при проектировании адаптивной одежды для людей с ОДВ.

С целью повышения комфортности эксплуатации адаптивной одежды, учитывая тот факт, что жесткие ткани мешают движению человека с ограниченными двигательными возможностями, принципиальным моментом для исследуемого контингента потребителей является определение рациональной конструкции шва, обеспечивающей минимальную жесткость и максимальную эргономичность. Результаты исследования жесткости при изгибе различных видов соединительных швов (стачной шов, настрочной, шов «в замок»), используемых в верхней одежде для людей с ОДВ, приведены в табл. 3 и на рис. 3.

Таблица 3

Характеристики анизотропии жесткости исследуемых образцов (EJ , $\text{мкН}\cdot\text{см}^2$)

Направление раскроя	Материал в один слой	Стачной шов	Шов «в замок»	Настрочной шов
Оксфорд R/SIU				
Основа	27 032	181 848	194 130	165 919
Уток	12 733	76 597	233 202	174 884
45°	10 438	89 320	170 609	123 406
Оксфорд R/S				
Основа	4 850	52 864	166 843	109 595
Уток	3 905	42 764	161 650	99 845
45°	1 195	24 012	159 640	78 915

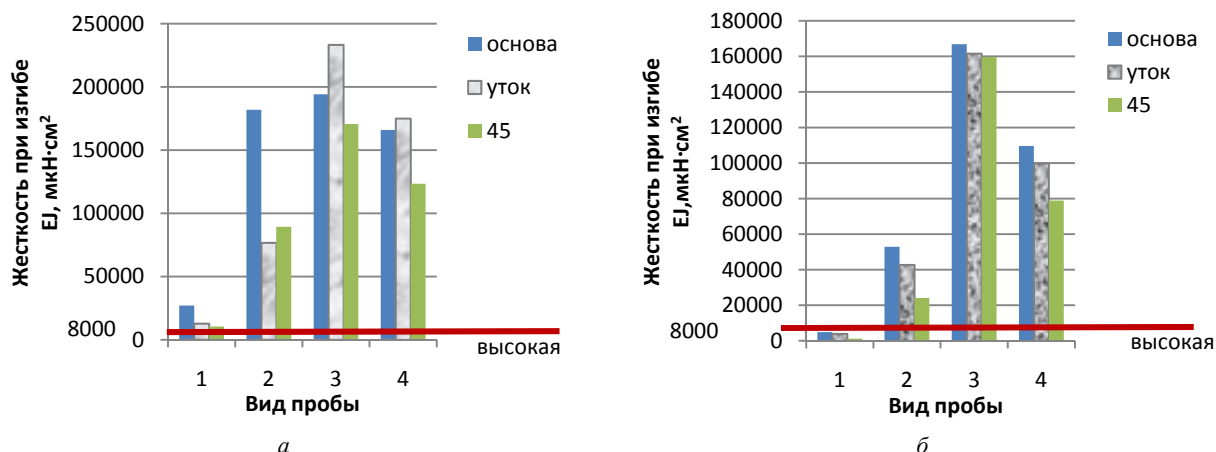


Рис. 3. Жесткость при изгибе систем материалов со швами различной конструкции:

а – Оксфорд R/SIU; б – Оксфорд R/S;

1 – однослойная система материала; 2 – стачной шов; 3 – шов «в замок»; 4 – настрочной шов

Анализ данных табл. 3 позволяет заключить, что продольные конструктивные членения значительно увеличивают жесткость при изгибе, создавая «ребра жесткости» в готовых изделиях. Высокая жесткость швов, сопровождающаяся значительными истирающими воздействиями, снижает срок эксплуатации изделий. Поэтому для адаптивной одежды рациональным решением является исключение членений или их смещение в зоны с меньшей деформацией трения. При необходимости проектирования шва предпочтение следует отдавать стачному шву, как минимально увеличивающему жесткость целостной системы изделия.

Второй этап методики реализует решение задачи прогнозирования характеристик жесткости при изгибе и выбора конструктивных решений. Для прогнозирования внешней формы участков изделия на стадии проектирования, предлагается использовать расчетный метод определения конфигурации и пространственного положения элементов контурных линий или деталей [8, 9]. Метод базируется на использовании теории больших перемещений при плоском изгибе тонких упругих деталей и основан на точном решении дифференциального уравнения упругой линии в результате численного решения в среде MATLAB [10]. Для решения рассматриваемой задачи используется точное уравнение равновесия упругой линии сильно изогнутого стержня, для рассматриваемого случая имеющее вид:

$$\frac{d^2 \vartheta}{ds^2} = -(n+1-L) \frac{Pl^2}{H} \sin(\vartheta + \theta), \quad (2)$$

где ϑ , θ – углы наклона касательной соответственно в текущей точке упругой линии и начальной кривой ($\theta = \pi/2$);

s – длина дуги упругой линии (и начальной кривой), отсчитанная от некоторой точки, принятой за начало;

P – равномерно распределенная нагрузка (силы тяжести);

H – жесткость стержня при изгибе, постоянная по длине;

l – длина упругой линии;

L , n – соответственно количество участков и узлов разбиения упругой линии.

Методом численного решения нелинейного дифференциального уравнения в автоматизированном режиме рассчитывается величина прогиба. Контур элемента изделия различной длины может быть представлен в программе в графическом виде (рис. 4). С учетом геометрии линий могут быть выбраны конструктивные средства и приемы формообразования в зависимости от жесткости исходных материалов и систем с конструктивными членениями.

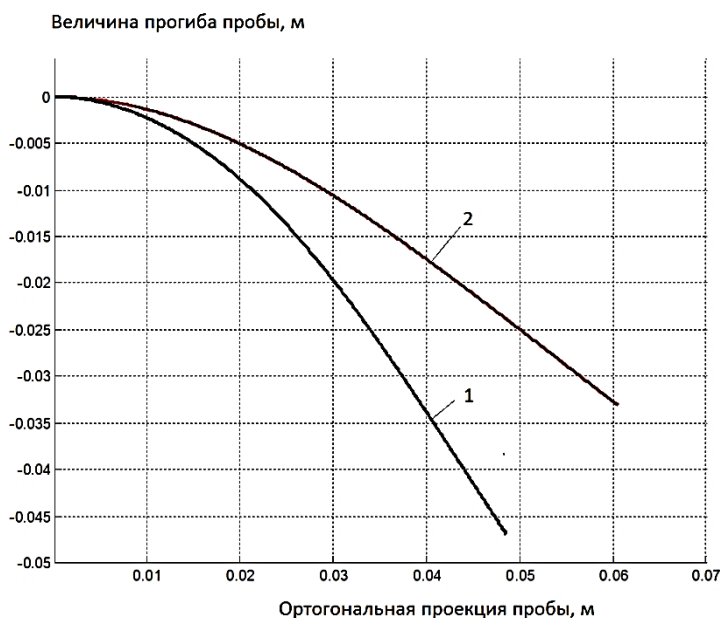


Рис. 4. Пример графического представления результатов определения жесткости при изгибе в среде MATLAB: 1 – проба без шва; 2 – проба со швом

ВЫВОДЫ

1. Предложена методика исследования и прогнозирования характеристик жесткости при изгибе материалов для проектирования адаптивной одежды людей с ограниченными двигательными возможностями.

2. Проведены комплексные экспериментальные исследования характеристик жесткости при изгибе материалов курточного ассортимента,

подтвердившие целесообразность дифференцированного подхода при конфекционировании материалов в пакеты одежды людей с ограниченными двигательными возможностями.

3. Результаты исследований могут быть использованы на стадии проектирования адаптивной одежды при выборе конструктивных и технологических решений.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Приказ Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 15.12.2020 № 898н // Официальный интернет-портал правовой информации. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202101200016> (дата обращения: 16.10.2021).
2. Зими́на М. В., Чагина Л. Л. К вопросу создания одежды для людей с ограниченными возможностями здоровья // Дизайн, технологии и инновации в текстильной и легкой промышленности (Инновации-2020) : сб. ст. Междунар. науч.-техн. конф. Ч. 2. М. : РГУ, 2020. С. 116–119.
3. Чагина Л. Л., Смирнова Н. А. Влияние свойств исходных компонентов пакета одежды на качество готового изделия // Вестник Костромского государственного технологического университета. 2008. № 17. С. 45–48.
4. Чагина Л. Л. Экспериментальное исследование жесткости при изгибе льняных трикотажных полотен по различным методикам // Вестник Костромского государственного технологического университета. 2014. № 1(32). С. 36–41.
5. ГОСТ 10550–93 Материалы текстильные. Полотна. Методы определения жесткости при изгибе. Введ. 1995–01–01. М. : Изд-во стандартов, 1995. 12 с.
6. Зими́на М. В., Чагина Л. Л. Конфекционирование материалов для адаптивной одежды // Научные исследования и разработки в области дизайна и технологий : сб. ст. Всерос. науч.-практ. конф. : в 2 ч. Кострома, 2021. Ч. 2. С. 30–33.
7. Зими́на М. В., Чагина Л. Л., Иванов В. В. Перспективность использования отечественных материалов для изготовления адаптивной одежды // Актуальные вопросы экономики, коммерции и сервиса : сб. науч. трудов кафедры коммерции и сервиса. М., 2021. С. 60–66.
8. Чагина Л. Л., Смирнова Н. А., Хамматова В. В. Использование расчетного метода для изучения влияния жесткости полотна при изгибе на конфигурацию линий формы элементов одежды // Вестник Технологического университета. 2016. Т. 19, № 5. С. 112–115.
9. Влияние жесткости полотен при изгибе на силуэтные линии формы элементов швейных изделий / С. В. Бойко, М. А. Маринкина, Л. Л. Чагина, Н. А. Смирнова // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2015. № 6(360). С. 25–29.
10. Попов Е. П. Теория и расчет гибких упругих стержней. М. : Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1986. 296 с.

REFERENCES

1. *Prkaz Ministerstva truda i social'noj zashchity Rossijskoj Federacii ot 15.12.2020 № 898n* [Order of the Ministry of Labor and Social Protection of the Russian Federation No. 898n dated 15.12.2020]. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202101200016> (date of address: 16.10.2021).
2. Zimina M. V., Chagina L. L. On the issue of creating clothes for people with disabilities. *Dizajn, tekhnologii i innovacii v tekstil'noj i legkoj promyshlennosti (Innovacii-2020) : sb. st. Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. Ch. 2* [Design, technologies and innovations in textile and light industry (Innovations-2020). P. 2: collection of articles of International Scientific and Technical conf]. Moscow, Russian State University Publ., 2020:116–119. (In Russ.)
3. Chagina L. L., Smirnova N. A. The influence of the properties of the initial components of the clothing package on the quality of the finished product. *Vestnik Kostromskogo gosudarstvennogo tehnologicheskogo universiteta* [Bulletin of the Kostroma State Technological University]. 2008;17:45–48. (In Russ.)

4. Chagina L. L. Experimental study of bending stiffness of linen knitted fabrics by various methods. *Vestnik Kostromskogo gosudarstvennogo technologicheskogo universiteta* [Bulletin of Kostroma State Technological University] 2014;1(32):36–41. (In Russ.)
5. *GOST 10550–93. Materialy tekstil'nye. Polotna. Metody opredeleniya zhestkosti pri izgibe. Vved. 1995–01–01.* [State Standart 10550–93. Materials textile fabrics. Methods for determining bending stiffness. Introduction. 1995–01–01]. Moscow, Standartinform Publ., 1995. 12 p.
6. Zimina M. V., Chagina L. L. Confection of materials for adaptive clothing. *Nauchnye issledovaniya i razrabotki v oblasti dizajna i tekhnologij : sb. st. Vseros. nauch.-prakt. konf. : v 2 ch.* [Scientific research and development in the field of design and technology materials: collection of articles of the All-Russian Scientific and practical Conference in 2 parts]. Kostroma, Kostrom. State University Publ., 2021:30–33. (In Russ.)
7. Zimina M. V., Chagina L. L., Ivanov V. V. Prospects of using domestic materials for the manufacture of adaptive clothing. *Aktual'nye voprosy ekonomiki, kommercii i servisa : sb. nauch. trudov kafedry kommercii i servisa* [Actual issues of economics, commerce and service: collection of scientific works of the Department of Commerce and Service]. Moscow, 2021:60–66. (In Russ.)
8. Chagina L. L., Smirnova N. A., Khammatova V. V. The use of a computational method to study the effect of the stiffness of the canvas when bending on the configuration of the lines of the shape of clothing elements. *Vestnik Tekhnologicheskogo universiteta* [Bulletin of the Technological University]. 2016;19,5:112–115. (In Russ.)
9. Boyko S. V., Marinkina M. A., Chagina L. L., Smirnova N. A. The impact of bending stiffness of fabrics on the silhouette line of the elements form of clothing. *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti* [Textile Industry Technology (Series Proceedings of Higher Educational Institutions)]. 2015;6(360):25–29. (In Russ.)
10. Popov E. P. Theory and calculation of flexible elastic rods. Moscow, Nauka Publ. Ed. phys.-mat. lit., 1986. 296 p.

Статья поступила в редакцию 14.10.2021

Принята к публикации 18.11.2021