УДК 677.017

ОЦЕНКА АНИЗОТРОПИИ ДРАПИРУЕМОСТИ ТКАНЕЙ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА РЕЗУЛЬТАТОВ 3D-СКАНИРОВАНИЯ

EVALUATION OF FABRICS DREAPEABILITY ANISOTROPY ON THE BASE OF 3D-SCANNING RESULTS ANALYSIS

Д.Б. РЫКЛИН, С. ТАН

D.B. RYKLIN, X.TANG

(Витебский государственный технологический университет, Республика Беларусь)

(Vitebsk State Technological University, Belarus)

E-mail: Ryklin-db@mail.ru

Статья посвящена разработке метода оценки анизотропии драпируемости тканей на основе применения метода 3D-сканирования. Показано, что на основе статистической обработки результатов сканирования образцов драпированной ткани может быть получена математическая модель, описывающая форму поверхности ткани и профили ее отдельных сечений.

Предложен критерий для оценки анизотропии драпируемости тканей. На основании экспериментальных данных показано, что применение предложенного критерия может характеризовать анизотропию драпируемости тканей, которая в различной степени обнаруживается при визуальном анализе.

The article is devoted to the development of the method for assessing fabric drapeability anisotropy based on the use of 3D scanning. It is shown that, based on statistical processing of the results of draped fabric samples scanning a mathematical model can be obtained that describes the shape of the fabric surface the and the profiles of its individual sections. The indicator is proposed as criterion for the fabric drapeability anisotropy evaluation. Based on experimental data it is shown that the application of the proposed indicator can characterize the fabric drapeability anisotropy which is detected to different degree in visual analysis.

Ключевые слова: драпируемость, анизотропия, 3D-сканирование, оценка.

Keywords: dreapeability, anisotropy, 3D-scanning, evaluation.

Исследованию драпируемости текстильных полотен в настоящее время уделяется большое внимание, так как она в значительной степени оказывает влияние на внешний вид готовых изделий. Драпируемость – это способность текстильных материалов в подвешенном состоянии под действием собственной массы образовывать красивые округлые устойчивые складки [1]. Из данного определения следует, что одним из показателей данного свойства является эстетичный вид драпированной ткани, чему будет уделено внимание в данной работе.

Интерес исследователей к драпируемости связан с возникновением и активным развитием новых областей применения информации о ней. Например, драпируемость тканей и трикотажных полотен учитывают при визуализации швейных изделий в современных системах автоматизированного проектирования и разработке интерактивных (электронных) примерочных, позволяющих представить внешний вид одежды на конкретном человеке до ее материального изготовления [2]. Поэтому разработке новых методов оценки драпируемости и применению получаемой в процессе испытаний информации посвящено множество работ, проводимых исследователями разных стран [3...5].

Целью данной работы является обоснование критерия для оценки анизотропии драпируемости тканей на основе анализа внешнего вида 3D-сканированных проб. Под анизотропией драпируемости в работе понимается искажение формы складок, вызванное неравномерностью свойств тканей в разных направлениях. Можно предположить, что анизотропия драпируемости ткани имеет те же причины, что и анизотропия жесткости, которая зависит от свойств нитей, плотности ткани в продольном и поперечном направлениях, различий натяжения основы и утка в процессе изготовления ткани. Кроме того, известно, что жесткость тканей в диагональном направлении существенно ниже жесткости вдоль основы или утка [6].

Предполагается, что ткани характеризуются ортотропией, то есть анизотропией по двум взаимно перпендикулярным направлением с учетом того, что они сформированы из двух систем нитей. Однако с учетом переплетения и состава ткани направления, в которых может проявляться анизотропия, могут не совпадать с направлениями основы и утка.

Искажение складок может быть также следствием местной неравномерности свойств тканей, возникающей, например, из-за неровноты пряжи по линейной плотности, определенных элементов рисунков и т.д. Такие искажения в работе не рассматриваются в качестве проявления анизотропии.

В работе выдвинуто предположение, что эстетичность драпированной пробы при испытании дисковым методом может быть оценена равномерностью формирования складок. В "идеальном" случае проба имеет складки одинаковой формы, следовательно, ее поверхность может быть описана математически.

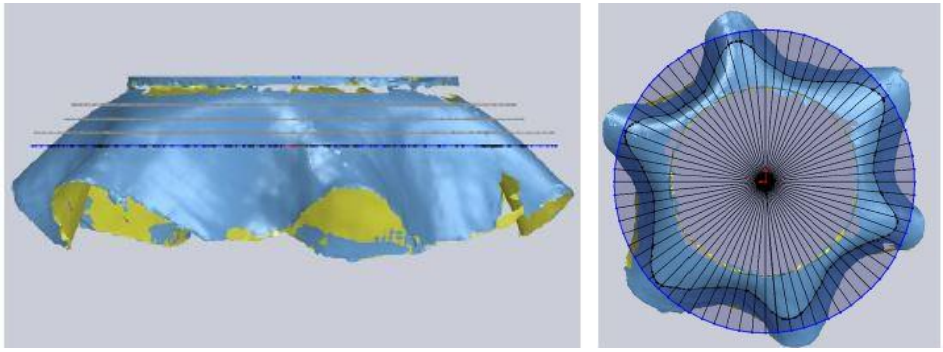
Традиционные показатели драпируемости не позволяют оценивать ее анизотропию. В ряде публикаций предлагаются новые показатели, использование которых позволяет оценивать анизотропию по соотношению параметров наиболее выступающих складок [7] или по соотношению длин осевых линий в различных направлениях [8]. Недостатком данных показателей является то, что они характеризуют не всю форму поверхности драпированной пробы, а только ее отдельные складки или размеры.

Наиболее перспективным направлением совершенствования методов оценки драпируемости является расширение инструментальной базы на основе применения технологий 3D-сканирования [9], [10]. Для проведения исследования в работе использовали 3D-сканер ARTEC SPIDER, результаты сканирования сохраняли в формате STL и обрабатывали в программном комплексе SolidWorks следующим образом:

– полученную трехмерную модель драпированной пробы рассекали параллельными горизонтальными сечениями на различных расстояниях от опорного диска (рис. 1-а), определяемых в зависимости от высоты свисающей части пробы;

– каждое сечение разбивали на 72 сектора с центральным углом 5° (рис. 1-б);

– в каждом секторе определяли расстояние от оси опорного диска до крайней точки на поверхности пробы.



а) б)

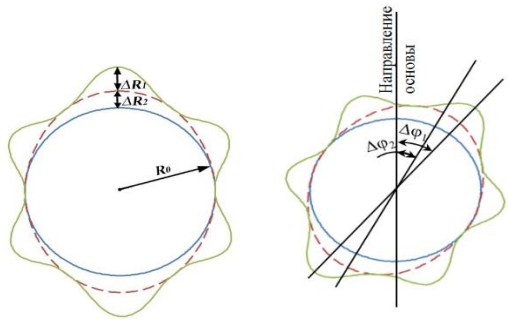
Рис. 1

Ранее для умягченной чистольняной ткани было установлено, что горизонтальное сечение пробы при количестве складок, равном n, в полярных координатах может быть описано следующей формулой:

$$R_Д(\phi) = R_0 + \Delta R_1 \left(\frac{1+\sin\left(n\phi + \Delta\phi_1\right)}{2} \right)^{k_1} + \Delta R_2 \left(\frac{1+\sin\left(2\phi + \Delta\phi_2\right)}{2} \right)^{4}, \qquad (1)$$

где $R_Д$ – расстояние от оси опорного диска до точки на поверхности пробы, измеренное под углом φ относительно направления основы ткани, мм; R_0 – радиус окружности, вписанной в сечение пробы, мм; ΔR_1 – высота складки без учета анизотропии ткани по свойствам, мм; ΔR_2 – отклонение высоты складки, являющееся следствием ее анизотропии, мм; n – количество формируемых складок; k_1 – показатель степени, который характеризует искажение формы сечения складок по сравнению с принятой за основу синусоидой, с увеличением значения k_1 складки заостряются; $\Delta\varphi_1$ и $\Delta\varphi_2$ – началь-

ные фазы периодических составляющих формулы (1).



а) б)

Рис. 2

На рис. 2 представлены варианты конфигураций горизонтальных сечений пробы при одинаковых (рис. 2-а) и различных (рис. 2-б) значениях фаз $\Delta\varphi_1$ и $\Delta\varphi_2$. Можно отметить, что при неравенстве значений $\Delta\varphi_1$ и $\Delta\varphi_2$ становится сложнее выявить анизотропию драпируемости визуально.

В общем виде форма поверхности свисающей части пробы при количестве складок, равном n, в полярных координатах может быть описана следующей формулой:

$$R_Д(\phi, H) = (a_0 + a_1 H) + (a_2 + a_3 H)\left(\frac{1+\sin(n\phi + \Delta\phi_1)}{2}\right)^{(a_4 + a_5 H)} + (a_6 + a_7 H)\left(\frac{1+\sin(2\phi + \Delta\phi_2)}{2}\right)^4, \quad (2)$$

где H – расстояние от точки на поверхности драпированной ткани до опорного диска, мм; a_0 – a_7 – эмпирические коэффициенты, которые зависят от параметров процесса испытания пробы, от радиусов пробы и опорного диска), показателей свойств испытываемой ткани (поверхностной плотности, плотности по основе и утку, жесткости нитей основы и утка, переплетения и т.д.).

По формуле (2) можно определить положение каждой точки на поверхности пробы в зависимости от расстояния H и полярного угла φ между направлением нити основы и отрезком, соединяющим центр сечения пробы и рассматриваемую точку.

В качестве дополнительного показателя для оценки драпируемости предложено использовать коэффициент детерминации R^2, так как он характеризует степень соответствия регрессионной модели, построенной на основании формулы (1), экспериментальным данным, полученным в процессе 3D-сканирования [11], то есть принято допущение о том, что соответствие профилей сечения пробы формуле (1) свидетельствует о равномерном формировании складок. Коэффициент детерминации рассчитывали для отдельных сечений драпированной пробы ткани на основе после статистической обработки 72 результатов $R_Д$ измерения расстояний от оси до точки на поверхности ткани, как было показано на рис. 1.

Для характеристики анизотропии предлагается использовать отношение параметров ΔR_2 и R_0, выраженное в процентах:

$$A = \frac{\Delta R_2}{R_0} \cdot 100\%. \quad (3)$$

Рекомендуется при расчетах по данной формуле использовать значения ΔR_2 и R_0, определенные для нижнего сечения пробы, так как в верхней области складки еще недостаточно сформированы, а проявление анизотропии усиливается с увеличением расстояния от опорного диска.

Рассмотрим пример применения предложенного критерия анизотропии драпируемости. В качестве объектов исследований выбраны четыре образца тканей производства РУПТП "Оршанский льнокомбинат", характеристика которых представлена в табл. 1. Драпируемость ткани оценивалась в соответствии со стандартом ISO 9073-9:2008, толщину тканей – по ГОСТ12023–2003, показатели жесткости ткани – по ГОСТ 10550–93.

Исследуемые ткани отличались составом, структурой и поверхностной плотностью, а также видом заключительной отделки. Так, ткани 1, 3 и 4 подвергались умягчению по различным технологиям, в результате чего изменялись не только показатели их жесткости в разных направлениях, но и поверхностная плотность.

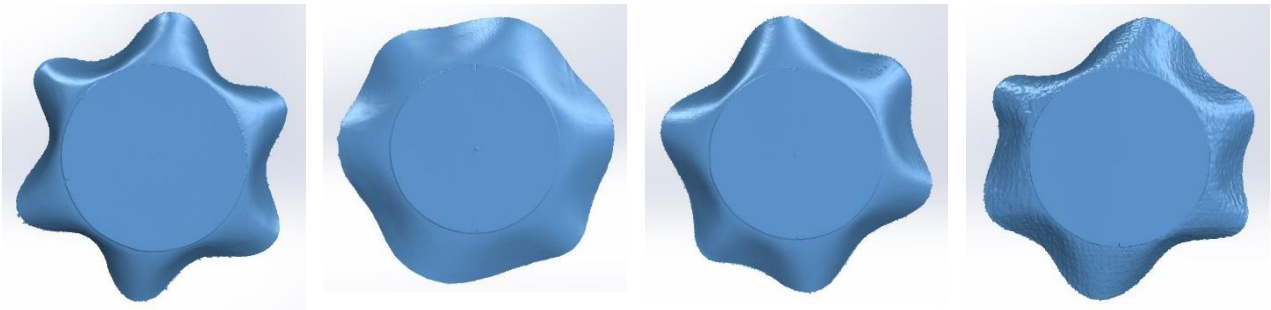
При проведении исследований использовался опорный диск диаметром 180 мм, а измерения проводились для проб диаметром 300 мм.

Таблица 1

Номер пробы	1	2	3	4
Переплетение	Полотняное	Полотняное	Полотняное	Двухслойное
Состав	Лен – 100%	Лен – 100%	Лен – 100%	Лен – 79 %, хлопок – 21%
Линейная плотность пряжи, текс: - основа - уток	 56 46	 42 42	 42 42	 50* 56, 110**
Число нитей на 10 см: - по основе - по утку	 165 180	 180 182	 191 182	 243 251
Поверхностная плотность, г/м^2	180,93	155	172,7	411,46
Жесткость при изгибе EI, мкН·см^2: - вдоль основы - вдоль утка - под углом 45° к направлению основы	 5780 5192 2292	 17678 17295 11757	 8705 10198 5460	 17646 30327 19302
Коэффициент жесткости K_{EI}	1,11	1,022	0,854	0,582
Толщина ткани, мм	0,455	0,380	0,395	0,582

Примечание. * – пряжа льнохлопковая пневмомеханического способа прядения; ** – пряжа льняная пневмомеханического способа прядения

На рис. 3 представлены изображения проб, полученных в результате 3D-сканирования. Анализируя изображения, можно отметить, что наибольшей анизотропией обладает проба 4, представляющая собой двухслойную ткань с соединением слоев по контуру рисунка. Анизотропию остальных проб сложно оценить визуально без вычисления количественных показателей.



а) проба 1 б) проба 2 в) проба 3 г) проба 4

Рис. 3

Аппроксимация сечений сканированных 3D-проб осуществлена с помощью специально разработанной программы, применение которой существенно сокращает продолжительность обработки данных и повышает точность получаемых результатов.

Для испытанных проб получены следующие модели, описывающие их поверхности:

$$R_Д(\varphi, H) = (92,82 + 0,172H) + (3,738 + 1,030H)\left(\frac{1+\sin(6\varphi - 0,821)}{2}\right)^{(1,131+0,0216\cdot H)} +$$

$$+(1,123 + 0,0357H)\left(\frac{1+\sin(2\varphi + 1,646)}{2}\right)^{4},$$

$$R_Д(\varphi, H) = (96,78 + 0,941H) + (1,56 + 1,166H)\left(\frac{1+\sin(6\varphi + 0,623)}{2}\right)^{(1,107+0,0213\cdot H)} +$$

$$+(-2,52 + 0,530H)\left(\frac{1+\sin(2\varphi - 1,101)}{2}\right)^{4},$$

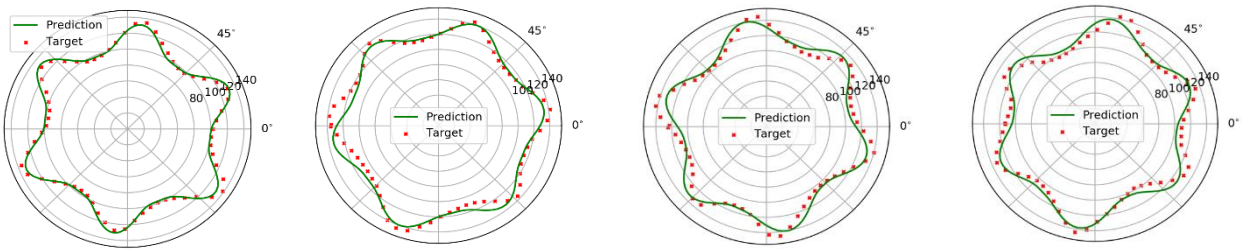
$$R_Д(\phi, H) = (96,15 + 0,367H) + (1,87 + 0,995H)\left(\frac{1+\sin(6\phi - 2,889)}{2}\right)^{(1,074+0,0089\cdot H)} +$$

$$+(2,50 + 0,337H)\left(\frac{1+\sin(2\phi - 1,474)}{2}\right)^{4},$$

$$R_Д(\phi, H) = (94,68 + 0,324H) + (2,61 + 0,898H)\left(\frac{1+\sin(6\phi - 0,854)}{2}\right)^{(1,204+0,0050\cdot H)} +$$

$$+(1,95 + 0,402H)\left(\frac{1+\sin(2\phi - 0,919)}{2}\right)^{4}.$$

Графически результаты аппроксимации представлены на рис. 4.



а) проба 1 б) проба 2 в) проба 3 г) проба 4

Рис. 4

Значения показателей драпируемости представлены в табл. 2 (результаты обработки данных 3D-сканирования тканей). Видно, что проба 4 действительно характеризуется максимальной анизотропией драпируемости, как было установлено при визуальном анализе изображений на рис. 3. Проба 3 имеет достаточно высокое значение показателя А. Проба 1 имеет наиболее правильную форму, о чем свидетельствует высокое значение коэффициента детерминации R^2 и низкое значение показателя А.

Таблица 2

Номер образца	Расстояние от опорной плоскости до исследуемого сечения H, мм	Коэффициент драпируемости, %	Коэффициент детерминации модели R2	Показатель анизотропии A, %
1	30	47,6	0,93	2,24
2	18	79,7	0,60	5,52
3	25	61,2	0,69	10,35
4	25	56,4	0,69	11,67

Полученные результаты оценки анизотропии были сопоставлены с результатами расчетов показателя анизотропии, приведенными в патенте [9]. Так как смысл показателей, характеризующих анизотропию при использовании разных методов, существенно различается, сопоставлялись не их численных значения, а получаемые при этом выводы. Так, для образцов 1 и 4 по методу, предложенному в патенте [9], получены практически одинаковые значения показателей анизотропии драпируемости (соответственно 1,18 и 1,14), следовательно, используя предложенный в источнике метод, мы могли бы сделать вывод о приблизительно одинаковой анизотропии этих проб. Однако по рис. 3 видно, что это не так. Причиной некорректных результатов применения метода [9] является то, что он не предполагает искажение формы пробы в направлении, не совпадающем с направлением основы или утка, в то время как анизотропия ткани может проявляться в разных направлениях.

Таким образом, из анализа полученных результатов можно сделать вывод о том, что образцы ткани 3 и 4 характеризуются более высокой анизотропией драпируемости по сравнению с образцами 1 и 2, в связи с чем можно рекомендовать внести изменения в технологию их производства и/или отделки в том случае, если они будут использоваться для изготовления ассортимента изделий, для которых драпируемость тканей имеет существенное значение.

Рассмотрим влияние процесса умягчения ткани на изменение ее драпируемости на примере чистольняной ткани полотняного переплетения артикула И14С176-ШР производства РУПТП "Оршанский льнокомбинат". При проведении исследований образец ткани подвергался отделке по следующим двум технологиям.

1. Стирка с добавлением ферментного препарата Энзитекс ЦКП производства ООО "Фермент" и последующее полоскание в мягчителе Tubingal производства фирмы CHT.

2. Стирка с добавлением ферментного препарата Bactosol фирмы Archroma с последующим полосканием в мягчителе Tubingal производства фирмы CHT.

Свойства образцов тканей, оказывающие влияние на их драпируемость, представлены в табл. 3.

Таблица 3

Наименование показателя	До умягчения	После умягчения	
		вариант 1	вариант 2
Линейная плотность пряжи, текс: - основа - уток		42*1 СрЛ 42*1 СрЛ	
Поверхностная плотность, г/м^2	155	163,13	172,66
Жесткость при изгибе EI, мкНсм^2: - по основе - по утку - под углом 45° к направлению основы	 17678 17295 11757	 8705 10198 5460	 8718 10711 5622
Коэффициент жесткости K_{EI}	1,022	0,814	0,854
Толщина	0,38	0,43	0,42

Из полученных образцов ткани были изготовлены пробы диаметром 300 мм, которые испытывались в той последовательности, которая описана выше. Усредненные показатели драпируемости проб представлены в табл. 4.

Сопоставляя данные табл. 3 и 4, можно отметить следующее:

– умягчение ткани по обеим технологиям привело к снижению их жесткости во всех направлениях, причем в меньшей степени этот эффект проявился в направлении утка;

– умягчение ткани существенно повысило ее драпируемость, что выражается снижением коэффициента драпируемости. Необходимо отметить, что коэффициенты драпируемости для двух проб умягченных тканей отличаются незначительно, что не позволяет сделать вывод о том, какая из технологий является предпочтительной;

– в результате отделки тканей складки стали более равномерными, о чем свидетельствует повышение коэффициента детерминации R^2 и показателя анизотропии А. Как и в случае коэффициента драпируемости, значения коэффициентов R^2 для обеих проб приблизительно одинаковы. Однако показатель анизотропии пробы, полученной по второй технологии умягчения, существенно ниже, чем для пробы, умягченной по первой технологии.

Необходимо отметить, показатель анизотропии является дополнительным критерием принятия решения о выборе рациональной технологии отделки тканей. Его использование не исключает необходимости проведения технико-экономических расчетов, а также оценки образцов по основным физико-механическим, геометрическим и прочим показателям.

Таблица 4

Образец		Расстояние от опорной плоскости до исследуемого сечения Н, мм	Показатели драпируемости		
			Коэффициент драпируемости, %	Коэффициент детерминации модели R^2	Показатель анизотропии А, %
До умягчения		15	77,9	0,65	9,00
После умягчения	вариант 1	25	56,2	0,72	6,19
	вариант 2	25	57,4	0,71	4,43

ВЫВОДЫ

1. Разработан метод оценки анизотропии драпируемости тканей, включающий 3D-сканирование пробы, статистическую обработку результатов с получением регрессионных моделей, описывающих форму поверхности и отдельных сечений пробы. В качестве показателя анизотропии предложено использовать соотношение коэффициентов модели, аппроксимирующее поперечное сечение пробы в нижней ее части. Данный показатель отличается тем, что при расчете его значений используется информация не о размерах конкретных складок, а обо всей форме профиля сечения поверхности драпированной ткани.

2. Выявлено, что расчетные значения показателя анизотропии льносодержащих тканей в значительной степени соответствуют результатам визуального анализа проб тканей, что свидетельствует о возможности применения разработанного метода для решения поставленной задачи при оценке качества тканей разной структуры и состава.

3. Экспериментально установлено, что в процессе умягчения льняных тканей не только повышается ее драпируемость, но и снижается анизотропия данного свойства. Доказано, что предложенный показатель анизотропии может быть использован в качестве дополнительного критерия при оценке эффективности применяемого метода отделки льняных тканей.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Шустов Ю.С.* Основы текстильного материаловедения. – М.: МГТУ им. А.Н. Косыгина. – 2007.

2. Интерактивные примерочные: будущее модного ритейла? [Электронный ресурс]. — Режим доступа: https:// mediastancia.com/articles/4438/.

3. *Sanad R., Cassidy T., Vien C., Evans E.* Fabric and Garment Drape Measurement – Part 2 // Journal of Fiber Bioengineering and Informatics. – Vol.6, №1, 2013. P. 1…22.

4. *Tsai K-H., Tsai M-C., Wang P-N., Shyr T-W.* New Approach to Directly Acquiringe the Drape Contours of Various Fabrics // FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe. – Vol. 17, № 3, 2009. P. 54…59.

5. *Gnanavel P., Ananthakrishnan T.* Volume Based Measurement of Fabric Drape using Surfer Software and Studies on Effect of Influencing Factors [Электронный ресурс] // Journal of Textile Science & Engineering. – 2014. – Vol. 4, № 4. — Режим доступа: https://www.omicsonline.org/open-access/volume-based-measurement-of-fabric-drapeusing-surfer-software-and-studies-on-effectof-influencing-factors-2165-8064-4-159.pdf.

6. *Сюй Ц., Яо М.* Исследование анизотропии жесткости при изгибе ткани // Северо-Западный институт текстильной науки и техники (Китай). – 2001, №2 (25). С. 102...105.

7. Способ определения анизотропии драпируемости : пат. RU 2255335 C1 / Н. А. Смирнова, О. В. Иванова, А. В. Смирнов, С. Д. Серикова, Е. И. Тугунова. – Опубл. 24.02.2004.

8. Способ определения драпируемости материалов: пат. RU 2680611 C1 / М. В. Бырдина, Л. А. Бекмурзаев, М. Ф. Мицик. – Опубл. 17.04.2018.

9. *Glombikova V., Kus Z.* Drape evaluation by the 3D-drape scanner // Tekstil ve konfeksiyon, 2014. – 2014. 24(3). P. 279…285.

10. *Шен В., Рен Ц.* Испытания драпируемости ткани на основе датчика Kinect // Журнал Чжэцзянского университета науки и технологии – 2014, №3. С. 306...309.

11. *Рыклин Д.Б, Тан С., Гришаев А.Н., Песковский Д.В.* Оценка драпируемости льняных тканей с использованием 3D-сканирования // Сб. ст.: Инновационные технологии в текстильной и легкой промышленности. – Витебск: ВГТУ, 2018. С. 84...86.

R E F E R E N C E S

1. Shustov Yu.S. Osnovy tekstil'nogo materialovedeniya. – M.: MGTU im. A.N. Kosygina. – 2007.

2. Interaktivnye primerochnye: budushchee modnogo riteyla? [Elektronnyy resurs]. — Rezhim dostupa: https:// mediastancia.com/articles/4438/.

3. Sanad R., Cassidy T., Vien C., Evans E. Fabric and Garment Drape Measurement – Part 2 // Journal of Fiber Bioengineering and Informatics. – Vol.6, №1, 2013. P. 1…22.

4. Tsai K-H., Tsai M-C., Wang P-N., Shyr T-W. New Approach to Directly Acquiringe the Drape Contours of Various Fabrics // FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe. – Vol. 17, № 3, 2009. P. 54…59.

5. Gnanavel P., Ananthakrishnan T. Volume Based Measurement of Fabric Drape using Surfer Software and Studies on Effect of Influencing Factors [Elektronnyy resurs] // Journal of Textile Science & Engineering. – 2014. – Vol. 4, № 4. — Rezhim dostupa: https://www.omicsonline.org/open-access/volume-based-measurement-of-fabric-drapeusing-surfer-software-and-studies-on-effectof-influencing-factors-2165-8064-4-159.pdf.

6. Syuy Ts., Yao M. Issledovanie anizotropii zhestkosti pri izgibe tkani // Severo-Zapadnyy institut tekstil'noy nauki i tekhniki (Kitay). – 2001, №2 (25). C. 102...105.

7. Sposob opredeleniya anizotropii drapiruemosti : pat. RU 2255335 S1 / N. A. Smirnova, O. V. Ivanova, A. V. Smirnov, S. D. Serikova, E. I. Tugunova. – Opubl. 24.02.2004.

8. Sposob opredeleniya drapiruemosti materialov: pat. RU 2680611 S1 / M. V. Byrdina, L. A. Bekmurzaev, M. F. Mitsik. – Opubl. 17.04.2018.

9. Glombikova V., Kus Z. Drape evaluation by the 3D-drape scanner // Tekstil ve konfeksiyon, 2014. – 2014. 24(3). P. 279…285.

10. Shen V., Ren Ts. Ispytaniya drapiruemosti tkani na osnove datchika Kinect // Zhurnal Chzhetszyanskogo universiteta nauki i tekhnologii – 2014, №3. S. 306...309.

11. Ryklin D.B, Tan S., Grishaev A.N., Peskovskiy D.V. Otsenka drapiruemosti l'nyanykh tkaney s ispol'zovaniem 3D-skanirovaniya // Sb. st.: Innovatsionnye tekhnologii v tekstil'noy i legkoy promyshlennosti. – Vitebsk: VGTU, 2018. S. 84...86.

Рекомендована кафедрой технологии текстильных материалов. Поступила 22.02.20.