

## АНАЛИЗ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЦИФРОВЫХ МЕТОДОВ ИЗМЕРЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СВОЙСТВ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ

### ANALYSIS AND PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF DIGITAL METHODS FOR MEASURING THE PROPERTIES OF TEXTILE MATERIALS AND PRODUCTS

*Т.Н. НОВОСАД, М.А. СТАШЕВА, Т.О. ГОЙС, А.Ю. МАТРОХИН, Н.А. КОРОБОВ, Б.Н. ГУСЕВ*  
*T.N. NOVOSAD, M.A. STASHEVA, T.O. GOIS, A.YU. MATROKHIN, N.A. KOROBOV, B.N. GUSEV*

(Ивановский государственный политехнический университет)

(Ivanovo State Polytechnical University)

E-mail: mtsm@ivgpu.ru

*В рамках федерального проекта «Цифровые технологии» для решения задач по обеспечению ускоренного внедрения цифровых технологий в экономику и социальную сферу Российской Федерации требуется опережающее развитие отечественного научного приборостроения. Одним из действенных путей развития отечественной научной приборной базы в исследовании свойств различных видов текстильных материалов и изделий, не требующих больших капитальных вложений, является создание и дальнейшее развитие цифровых методов исследования, обуславливающих в начальной фазе измерение физических величин.*

*Определены современные тенденции развития ассортимента текстильных материалов (волокон, нитей, полотен (тканых, нетканых, трикотажных, мембранных)) и обоснована необходимость расширения номенклатуры показателей качества текстильных материалов и изделий в соответствующих технических условиях на их производство с учетом новых потребительских требований (запросов) к качеству продукции. Показана необходимость опережающего развития цифровых методов измерения показателей свойств текстильных материалов и изделий для проведения соответствующих научных исследований, то есть создания задела по научному приборостроению.*

*Проведена общая систематизация известных структурных свойств текстильных материалов и изделий с возможностью прогнозирования введения новых свойств в рамках создания матричной формы их представления и описания, а также необходимостью представления отдельного свойства в комплементарной форме для разграничения и нормирования количественных показателей свойств.*

*Осуществлен анализ современного состояния цифровых методов измерения отдельных показателей свойств текстильных волокон, нитей и полотен. Дополнительно выделены первоочередные проблемы стандартизации и метрологического обеспечения цифровых методов измерения показателей свойств текстильных материалов и изделий.*

*Within the framework of the federal project "Digital Technologies", in order to solve the tasks of ensuring the accelerated introduction of digital technologies into the economy and social sphere of the Russian Federation, the advanced development of domestic scientific instrumentation is required. One of the effective ways*

*to develop the domestic scientific instrument base in the study of the properties of various types of textile materials and products that do not require large capital investments is the creation and further development of digital research methods that cause the measurement of physical quantities in the initial phase.*

*The current trends in the development of the range of textile materials (fibers, threads, webs (woven, non-woven, knitted, membrane) are determined) and the necessity of expanding the range of quality indicators of textile materials and products in the appropriate technical conditions for their production, taking into account new consumer requirements (requests) for product quality, is shown. The necessity of advancing the development of digital methods for measuring the properties of textile materials and products for conducting relevant scientific research, that is, creating a reserve for scientific instrumentation, is shown.*

*A general systematization of the known structural properties of textile materials and products has been carried out with the possibility of predicting the introduction of new properties within the framework of creating a matrix form of their representation and description, as well as the need to present a separate property in a complementary form to differentiate and normalize quantitative indicators of properties.*

*The analysis of the current state of digital methods for measuring individual indicators of the properties of textile fibers, threads and webs is carried out. Priority problems of standardization and metrological support of digital methods for measuring the properties of textile materials and products are highlighted separately.*

**Ключевые слова:** текстильные материалы и изделия, свойства, показатели, методы измерения, цифровые технологии.

**Keywords:** textile materials and products, properties, indicators, measurement methods, digital technologies.

#### *Введение*

В рамках реализации Указа Президента Российской Федерации от 21.07.2020 г. №474 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года», в том числе с целью решения задачи по обеспечению ускоренного внедрения цифровых технологий в экономике и социальной сфере, Правительством Российской Федерации сформирована национальная программа «Цифровая экономика Российской Федерации», утвержденная протоколом заседания Президиума Совета при Президенте Российской Федерации по стратегическому развитию и национальным проектам от 4 июня 2019 г. № 7. Наряду с другими программами в состав национальной программы «Цифровая экономика Российской Федерации» входит и федеральный проект «Цифровые техноло-

гии», для которого был разработан и утвержден соответствующий паспорт [1].

Для объектов (сырье, технологии, готовая продукция) текстильной и легкой промышленности цифровизация систем управления производством, технологическими процессами, обеспечения качества продукции играет первостепенную роль. Это связано с тем, что за последние несколько десятилетий ассортимент текстильных материалов (волокон, нитей, полотен) существенно изменился в сторону улучшения потребительских характеристик. Появились или стали массовыми новые волокна как по составу (например, полилактидные), так и по структуре (полюе, бикомпонентные, профилированные, с микрокапсулами и т.д.). Также получили широкое распространение текстурированные и профилированные текстильные нити

[2]. Кроме того, изменилась структура полотна: например, разработаны переплетения, создающие эффект 3Д (объемность) [3]; стали более востребованными многослойные материалы (дуплексы, триплексы); для повышения водоупорности используются мембранные полотна [4]. Есть новинки и в отделке текстильных изделий: например, обработка ферментами, позволяющая существенно снизить жесткость льняных тканей; закрепление нанесенных отделочных препаратов ИК-ремиссией и др. [5].

Появление новых материалов приводит к необходимости исследования и новых характеристик, в том числе структурных, оказывающих непосредственное влияние на остальные показатели качества и формирующих их. В частности, новые мембранные полотна требуют более тщательного изучения их пористости и заполнения, от которых зависят итоговые водозащитные свойства. Поэтому целесообразно определить размер, форму и пространственное расположение пор в материале. Но для этого необходимы новые методы и средства исследования, в том числе и с применением цифровых технологий.

В декабре 2022 года в Сочи проходил II Конгресс молодых ученых, ключевым мероприятием которого стала встреча Президента России В.В. Путина с его участниками с обсуждением предложений по развитию науки и цифровых технологий и рассмотрением других тем. В частности, были затронуты и вопросы развития отечественного научного приборостроения [6].

«К сожалению, зависимость от иностранной приборной базы у нас очень большая, по некоторым направлениям до 90 %. И в сегодняшних условиях это особенно остро ощущается, хотя – я все время говорю

об этом, и, думаю, вы тоже со мной согласитесь, – ясно, что без приборной базы работать невозможно. Но ясно также и то, что нужно было в конце концов когда-то начать интенсивно развивать свою приборную базу... Поэтому эта сегодняшняя ситуация подталкивает нас к самостоятельной работе по очень многим направлениям, в том числе и по производству собственной научной приборной базы».

Одним из действенных путей развития отечественной научной приборной базы в исследовании свойств различных видов текстильных материалов и изделий, не требующих больших капитальных вложений, является создание и дальнейшее развитие цифровых методов исследования.

#### *Методы и объекты исследования*

Ввиду многообразия свойств текстильных материалов, входящих в различные группы (строения, механических, физических, биологических и других), необходима их систематизация, которая позволит осуществить прогнозирование и новых потребительских свойств. Например, для построения матрицы простых структурных свойств можно использовать признаки, определяющие состояние и характер взаимодействия элементов строения материалов, а именно: форму элементов, взаимное их расположение, взаимосвязь самих элементов, включение посторонних элементов, нарушение структуры элементов (табл. 1).

По каждому представленному в табл. 1 свойству имеется n-е число количественных показателей (физических величин), которые можно оценить путем операции измерения. При этом число показателей может быть достаточно большим. В табл. 2 в качестве примера приведены показатели свойства ворсистости пряжи.

Т а б л и ц а 1

Состояние и характер взаимодействия элементов строения	Вид текстильного материала			
	Волокно	Нить	Полотно	
			тканое, трикотажное	нетканое
Форма элементов	Извитость Изогнутость	Извитость <b>Ворсистость</b>	Ворсистость	
Взаимное расположение элементов		Скрученность	Переплетение Пористость Заполнение Опорная поверхность	Пористость Ориентация волокон

Взаимосвязь элементов	Смешанность	Связность	Смешанность
Включение посторонних элементов	Засоренность Загрязненность Запыленность		
Нарушение структуры элементов	Порок Дефект		

Т а б л и ц а 2

Наименование группы, подгруппы и отдельного показателя	Обозначение показателя и его взаимосвязь с другими показателями
<b>1. Параметрические</b>	
<i>1.1. События (абсолютные):</i>	
Количество кончиков	$n_{кв}$
Количество петель	$n_{п}$
Количество ворсинок	$n_{в} = n_{кв} + n_{п}$
Число точек пересечения ворсинок	$n_{ТП}$
Геометрическая длина ворса	$(L_{в})_{геом.}$
Радиус ворсистости пряжи	$r_{в}$
Ширина зоны плотного ворса	$b_{пв}$
Ширина зоны среднего ворса	$b_{св}$
Ширина зоны информативного ворса	$b_{ив}$
<i>1.2. События (относительные):</i>	
Доля кончиков	$(\varepsilon_{п})_{кв} = n_{кв} / n_{в}$
Доля петель	$(\varepsilon_{п})_{п} = n_{п} / n_{в}$
Относительная ширина зоны плотного ворса	$\Delta b_{пв} = b_{пв} / r_{пв}$
Относительная ширина зоны среднего ворса	$\Delta b_{св} = b_{св} / r_{пв}$
Относительная ширина зоны информативного ворса	$\Delta b_{ив} = b_{ив} / r_{пв}$
<i>1.3. События (удельные):</i>	
Радиальный показатель количества ворсинок (ствола)	$N_{ст} = n_{в} / d_{ст}$
Радиальный показатель количества ворсинок (пряжи)	$N_{пр} = n_{в} / d_{пр}$
<i>1.4. Протяженности (абсолютные):</i>	
Общая длина кончиков	$L_{кв} = \sum_{i=1}^{n_{кв}} (l_{кв})_i$
Общая длина петель	$L_{п} = \sum_{i=1}^{n_{п}} (l_{п})_i$
Общая длина ворсинок	$L_{в} = \sum_{i=1}^{n_{в}} (l_{в})_i$
Средняя длина кончиков	$\bar{l}_{кв} = \sum_{i=1}^{n_{кв}} (l_{кв})_i / n_{кв}$
Средняя длина ворсинок	$\bar{l}_{в} = \sum_{i=1}^{n_{в}} (l_{в})_i / n_{в}$
<i>1.5. Протяженности (относительные)</i>	
	$L_{отн} = \sum_{i=1}^f (l_{в})_i / \ L\ $
<i>1.6. Протяженности (удельные)</i>	
	$L_{уд} = L_{в} / m_{п}$

<b>2. Функциональные</b>	
2.1. <i>Развернутые:</i>	
Относительная плотность расположения ворсинок по диаметру пряжи	$\Phi_d = \phi(d_{пр})$
Относительная плотность расположения ворсинок по длине пряжи	$\Phi_l = \phi(l_{пр})$
2.2. <i>Свернутые (дифференциальные, интегральные):</i>	
Распределение количества ворсинок на фиксированной длине нити	$\left[ \begin{array}{l} f = f(n_b); \\ F = F(n_b) \end{array} \right.$
Распределение длины ворсинок на фиксированной длине нити	$\left[ \begin{array}{l} f = f(l_b); \\ F = F(l_b) \end{array} \right.$

Само свойство, т.е. качественную характеристику продукции, можно рассматривать как предмет исследования и выделять его составляющие (морфологические) признаки. В отдельных случаях однополярная трактовка свойства продукции в виде «скрученность», «прочность», «ворсистость» сужает границы его представления. Поэтому целесообразно отдельные свойства рассматривать в виде конструкции из двух противоположных характеристик. Отмечаем, что противоположные характеристики одновременно и определяют предел проявления какого-нибудь качества, свойства, действия, и указывают на неразрывную связь противоположностей. Обычно различают два вида противоположности: комплементарную (от латинского слова «*complementum*» – дополнение) и контрарную («*contraries*» – противо-

ложный). При этом комплементарная противоположность выражает свойства в виде двухполярной конструкции, а контрарная – в трехполярной конструкции. При представлении свойства в виде комплементарной (двухполярной) характеристики свойства обозначаются видовыми понятиями «X» и «Y», дополняющими друг друга до родового так, что нередко между ними невозможно никакое третье, среднее понятие (например, «мягкость – жесткость», «ворсистость – гладкость»). Родовое понятие здесь исчерпывается двумя видовыми определениями, поэтому отражение одного из них дает содержание другого («немягкий» – значит «жесткий», и наоборот). В табл. 3 приведены комплементарные характеристики отдельных свойств текстильных материалов.

Таблица 3

Объект исследования	Комплементарные характеристики	
	«X»	«Y»
Волокно	Зрелость	Недозрелость
Крученая пряжа	Скрученность	Раскрученность
Волокно, комплексная нить	Извитость	Распрямлённость
Волокно, пряжа	Чистота	Засорённость
Волокно, нить, ткань	Мягкость	Жесткость
Пряжа, ткань	Гладкость	Ворсистость
Волокно, нить, ткань	Прочность	Слабость
Волокно, нить, ткань	Растяжимость	Нерастяжимость
Ткань	Сминаемость	Несминаемость
Ткань	Пористость	Заполнение

Таким образом, при проведении объективных исследований искомого свойства возникает необходимость подробного рас-

смотрения и его противоположного состояния. В табл. 4 приведены показатели гладкости пряжи.

Наименование показателя	Обозначение показателя	Описание показателя
<b>1. Параметрические</b>		
Количество неровностей	$n_n$	Количество неровностей на определенной длине нити
Высота неровности	$h$	Расстояние от границы ствола нити до наивысшей точки неровности
Максимальная высота неровности	$h_{max}$	Наибольшее расстояние от границы ствола нити до наивысшей точки неровности на определенной ее длине
Шаг между неровностями	$s$	Отрезок, ограничивающий две соседние неровности
Средний шаг между неровностями	$\bar{s}$	Среднее арифметическое значение шага неровностей на определенной длине нити
Ширина неровности	$b$	Отрезок, характеризующий наиболее широкую часть неровности
<b>2. Функциональные</b>		
Изменение высоты неровностей относительно диаметра участка текстильной нити	$y_d = \phi(d_{пр})$	Графическое отображение наличия отклонения высоты неровностей относительно диаметра участка нити
Отклонение гладкости поверхности относительно измеряемого участка текстильной нити	$y_l = \phi(l_{пр})$	Графическое отображение наличия отклонения высоты неровностей относительно измеряемого участка нити

Применение двухполярных координат также необходимо для определения границы (демаркационной линии) между свойствами и установления соответствующих нормативных значений данной границы. Что касается свойств «ворсистость-гладкость», то только одно из этих двух свойств будет преобладающим в каждом конкретном случае для различных ассортиментных групп текстильных изделий.

#### *Результаты исследования*

Анализ публикаций по цифровым методам измерений показывает, что цифровая обработка может применяться на всех этапах процесса измерения искомого показателя свойства, а именно: при получении и обработке изображения текстильного изделия [7], [11], при выделении количественных информативных признаков показателей свойств [12], [20], при построении гистограмм и функциональных зависимостей [21], [25], при формировании итогового протокола результатов измерения [26], [28]. Кроме этого цифровыми методами решаются сопутствующие задачи, связанные с прогнозированием [29], [31] и моделированием [32], [33] значений показателей свойств в конкретном текстильном изделии,

созданием цифровых двойников текстильных материалов и изделий, базы (библиотеки) для 3D-моделирования [34], [35], использованием искусственного интеллекта при проектировании нормативных (базовых) значений показателей свойств [36], [37], а также другие проблемы [38], [39].

Инновационность цифровых методов измерения показателей свойств текстильных материалов и изделий определяется технической возможностью их совместной защиты в форме патентного и авторского права. Патентное право связано с оформлением соответствующих материалов на получение патента на изобретение, характеризующего операции конкретного способа измерения, что определяется более предпочтительной категорией относительно соответствующего измерительного устройства. Авторское право связано с дополнительной возможностью создать алгоритм и листинг соответствующей программы для ЭВМ, а также сформировать соответствующую базу данных.

В табл. 5 показаны отдельные патенты ИВГПУ на цифровые методы измерений показателей отдельных свойств волокон, нитей и полотен за последние 15 лет, а в

табл. 6 приведены программы для ЭВМ и базы данных ИВГПУ на решения по авторскому праву цифровых методов изме-

рений показателей свойств текстильных материалов и изделий.

Т а б л и ц а 5

Свойство	Направленность и показатель	Наличие патента
<b>Волокна</b>		
Зрелость	Определение зрелости хлопковых волокон	Патент на изобретение №2348035 РФ, МПК G01N33/36. 2009. Бюл. №6
Протяжённость	Определение длины отдельных текстильных волокон	Патент на изобретение №2343404 РФ, МПК G01B 11/02. 2009. Бюл. №1
	Определение характеристик длины группы текстильных волокон	Патент на изобретение №2234676 РФ, МПК G01B 11/02. 2004. Бюл. №23
Количество	Подсчёт отдельных волокон в пробе	Патент на полезную модель №72548 РФ, МПК G01N 21/01. 2008. Бюл. № 11
<b>Нити</b>		
Толщина Засорённость	Определение показателей толщины, засоренности и ворсистости текстильных нитей	Патент на изобретение №2575777 РФ, МКП G01N 33/36. 2016. Бюл. №5
Ворсистость	Определение показателей ворсистости текстильной нити	Патент на изобретение №2384658 РФ, МПК D01H 13/32 G01N 33/36. 2010. Бюл. №8
<b>Полотна</b>		
Плотность	Определение перерасхода нитей утка при изготовлении тканых сеток	Патент на изобретение №2633956 РФ, МПК D03D 13/00. 2017. Бюл. №29
Плотность прошивки	Определение плотности прошивки нетканых полотен	Патент на изобретение №24285527 РФ, МПК G01N 21/27. 2011. Бюл. №17
Пористость Заполнение	Определение показателей заполнения и пористости тканых полотен	1. Патент на изобретение №2225980 РФ, МПК G01N 33/36. 2004. Бюл. №8 2. Патент на изобретение №2366946 РФ, МПК G01N33/36. 2009. Бюл. №25
Ворсистость	Определение показателей ворсистости тканых полотен	Патент на изобретение №2256177 РФ, МПК G01N 33/36. 2005. Бюл. №19
Дефект	Идентификация инородных объектов на поверхности волокнистых материалов	Патент на изобретение №2411501 РФ, МПК G01N 21/27. 2011. Бюл. №4
Цвет	Определение изменения окраски текстильных полотен при оценке ее устойчивости к физико-механическим воздействиям	Патент на изобретение №2439560 РФ, МПК G01N33/36. 2012. Бюл. №1

Нахождение в библиотеке Федерального института патентных исследований (ФИПС) указанных в табл. 5 и 6 патентов и листингов программ позволяет сторонним пользователям проводить собственные исследования. В частности, были проведены сравнительные исследования показателей пористости хлопчатобумажных тканей полотняного переплетения, полученных с помощью ряда расчетных методов и компьютерной программы по определению показателей пористости и заполнения тканых полотен [41], [42]. В результате сделаны выводы о степени их воспроизводимости [43].

Приведем ряд конкретных примеров по разработке цифровых методов измерений отдельных показателей структурных свойств волокон, пряжи, тканых и трико-

тажных полотен по техническим решениям, показанным в табл. 5 и 6.

Для оптимальной сортировки состава волокон при производстве хлопчатобумажной пряжи определяющую роль играет экспресс-анализ зрелости волокон. В качестве операционной среды, в которой работает измерительная программа [44], была выбрана MS Windows XP SP2, а для разработки форм диалоговых окон использовано приложение Graphical User Interfaces системы матричных вычислений Matlab. Удобство этого приложения заключается в возможности проектирования взаимосвязанных форм и окон как в ручном режиме, так и в виде внутренних ссылок команд измерительной программы (callback), инициирующих работу вспомогательных подпрограмм.

Свойство	Направленность и показатель	Наличие программы для ЭВМ
<b>Волокна</b>		
Происхождение	Распознавание происхождения волокон с использованием цветовых измерений	Свидетельство №2002611528 о регистрации 30.08.2002 программы для ЭВМ в государственном реестре программ
Зрелость	Измерение зрелости хлопковых волокон	Свидетельство №9239 о регистрации 02.10.2007 программы для ЭВМ в отраслевом фонде Федерального агентства по образованию
Протяжённость	Анализ протяженности элементарных текстильных волокон	Свидетельство №2003610935 о регистрации 17.04.2003 программы для ЭВМ в государственном реестре программ
Засорённость, цвет	Определение показателей засоренности и цвета текстильных волокон по компьютерному изображению	Свидетельство №2008612378 о регистрации 16.05.2008 программы для ЭВМ в государственном реестре программ
<b>Нити</b>		
Скрученность	Определение параметров скрученности крученой пряжи	Свидетельство №2002611377 о регистрации 14.08.2002 программы для ЭВМ в государственном реестре программ
	Определение параметров скрученности армированной пряжи	Свидетельство №2003610763 о регистрации 27.03.2003 программы для ЭВМ в государственном реестре программ
Ворсистость	Измерение показателей ворсистости текстильной пряжи	Свидетельство №7314 о регистрации 29.11.2006 программы для ЭВМ в отраслевом фонде Федерального агентства по образованию
<b>Полотна</b>		
Плотность	Определение показателей строения махровых текстильных изделий	Свидетельство №2011613234 о регистрации 25.04.2011 программы для ЭВМ в государственном реестре программ
Геометрия	Анализ геометрических и структурных свойств ткани полотняного переплетения	Свидетельство №2003610868 о регистрации 10.04.2003 программы для ЭВМ в государственном реестре программ
Структура	Измерение структурных характеристик геотекстильных материалов	Свидетельство №21693 о регистрации 10.03.2016 программы для ЭВМ в объединенном фонде «Наука и образование»
	Бинаризация цифровых изображений проб геотекстильных материалов	Свидетельство №21692 о регистрации 10.03.2016 программы для ЭВМ в объединённом фонде «Наука и образование»
Пористость Заполнение	Определение показателей заполнения и пористости тканых полотен	Свидетельство №2002610835 о регистрации 29.05.2002 программы для ЭВМ в государственном реестре программ
Ворсистость	Измерение высоты ворса ткани	Свидетельство №3065 о регистрации 15.12.2003 программы для ЭВМ в отраслевом фонде Федерального агентства по образованию
Дефект	Составление базы данных для установления степени значимости дефектов внешнего вида текстильных полотен	Свидетельство №2011620015 о регистрации 11.01.2011 базы данных в государственном реестре программ
Протяжённость трикотажной петли	Определение геометрических характеристик петлеобразования трикотажных полотен	Свидетельство №2011617016 о регистрации 08.09.11 программы для ЭВМ в государственном реестре программ
Качество	Автоматизированное проектирование качества трикотажных полотен и изделий	Свидетельство №16315 о регистрации 22.10.2011 программы для ЭВМ в отраслевом фонде «Наука и образование»
Параметры процесса	Формирование базы данных по контролируемым параметрам процессов производства тканых геотекстильных материалов	Свидетельство №21724 о регистрации 22.03.2016 программы для ЭВМ в отраслевом фонде «Наука и образование»



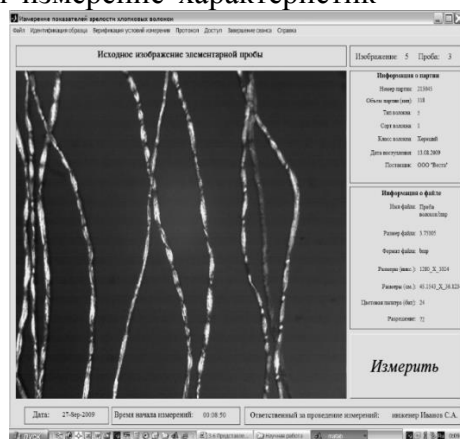
Среди показателей зрелости наиболее значимыми для производственной испытательной лаборатории являются:

- средний коэффициент зрелости  $K_z$  (является единственной оценкой зрелости, используемой на отечественных текстильных предприятиях);

- коэффициент зрелости «maturityratio»  $M$  (для оценки качества хлопкового волокна, импортируемого из стран дальнего зарубежья, и сопоставления отечественных и зарубежных требований к качеству);

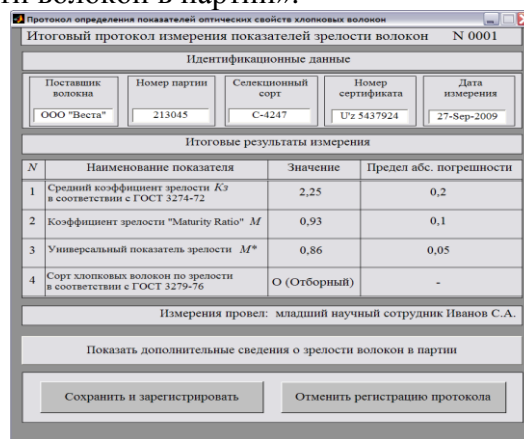
- универсальный коэффициент зрелости  $Z$  (как более стабильный и точный аналог «maturityratio», повсеместное применение которого возможно в перспективе).

Анализ изображения текущей элементарной пробы и измерение характеристик



а)

зрелости хлопковых волокон выполняются программой автоматически после нажатия кнопки «Измерить» на главном интерфейсном окне (см. рис. 1, а). При выполнении команды «Измерить» на экране появляется протокол, вид которого представлен на рис. 1, б. Этот протокол содержит две колонки данных, в одной из которых расположены измеренные значения показателей зрелости, применяемых в различных системах оценки качества хлопковых волокон, а в другой приведены предельные значения итоговой погрешности соответствующих показателей зрелости. Дополнительный протокол может быть активирован пользователем нажатием кнопки «Показать дополнительные сведения о зрелости волокон в партии».



б)

Рис. 1

Таким образом, измерение показателей зрелости предложенным цифровым методом можно отнести к прямым измерениям, то есть к измерениям, при которых искомое значение величины получают непосредственно от средства измерений. Преимуществом прямых измерений является большая объективность и воспроизводимость результатов по сравнению с косвенными измерениями и органолептическими оценками.

Для обнаружения границ участков пряжи с ворсовой поверхностью при цифровой обработке изображения использовали методы контрастирования перепадов яркости с последующим пороговым детектированием [45]. Основной проблемой, которую необходимо решить при выделении интересующей исследователя области, является

определение величины порога яркости, задающего бинарное преобразование. Для этого необходимо знать плотность вероятности, описывающую распределение яркости точек этого изображения. Оценку распределения вероятностей яркости изображения можно получить с помощью гистограммы [46]. Большая часть изображения была окрашена в черный цвет, и этот факт проявился в виде всплеска для значений яркости, близких к нулю. В правой части гистограммы (значения яркости от 200 до 230 условных единиц) отмечено увеличение количества ярких точек, формирующее изображение ствола пряжи. Для выделения части изображения, содержащей ствол пряжи, воспользовались преобразованием, реализованным в программном пакете Image Processing Toolbox MATLAB

в виде функции  $im2bw$ , задав соответствующий порог яркости бинарного преобразования. В данном случае этот порог равен 170 условным единицам. Чтобы выделить изображение ворса, провели повторную бинаризацию изображения по порогу яркости, равному значению 25 условных единиц (величине, при которой происходит спад значений яркости по гистограмме), и осуществили логическую операцию исключающего «ИЛИ» выделенного изображения с бинарным изображением ствола пряжи. Полученные изображения инвертировали перед выводом на экран [47]. Результаты препарирования изображения отрезка пряжи показаны на рис. 2, где приведено изображение ствола пряжи (рис. 2, а) и соответственно ворса пряжи (рис. 2, б).

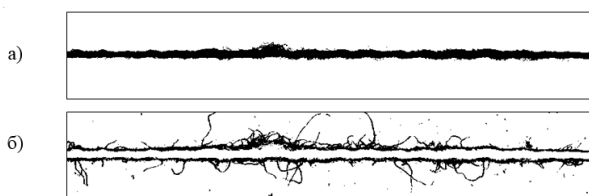
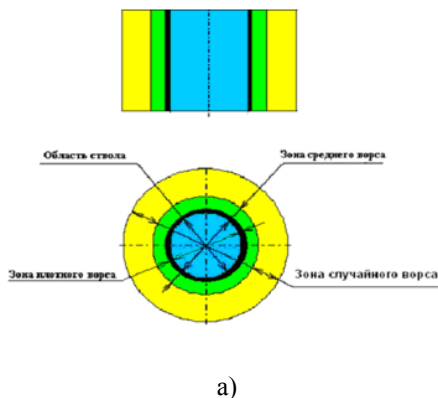
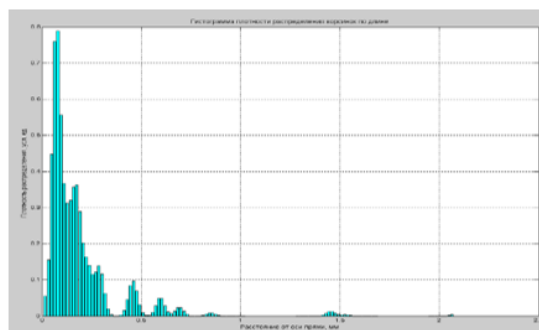


Рис. 2



а)



б)

Рис. 3

Процесс измерения характеристик ворсистости пряжи в ходе реализации компьютерной программы (см. табл. 6) в итоговом виде включает операцию заполнения протокола испытания, а сам протокол представляет собой лист (рис. 4), содержащий следующие блоки: идентификационные данные, информация о графическом объекте, окна для вставки изображения

После выполнения описанных выше преобразований становится возможным определение конкретных показателей ворсистости пряжи, приведенных в табл. 2.

Отмечаем, что для обеспечения достоверности измерения показателей ворсистости пряжи предварительно были установлены зоны ворса, характеризующие ворсистую пряжу, а именно: зона плотного ворса, зона среднего (информативного) ворса, зона случайного ворса. Схематично структурная модель ворсистой пряжи имеет вид, показанный на рис. 3, а. Принципы выделения зоны плотного ворса учитывали на основе построения дифференциальной функции колебаний яркости изображения ворсистой нити и расчета зоны среднего ворса с использованием интегральной функции ворсистости. Для определения ширины зоны случайного ворса строили гистограмму плотности расположения ворсинок по длине пряжи (рис. 3, б), где с помощью соответствующей функции рассчитывали расстояние от зоны среднего ворса, на котором с вероятностью 0,99 появится хоть одна ворсинка.

пряжи и соответствующих графиков и рисунков, таблицы с результатами расчетов и панель управления.

Размеры пробы для определения показателей структурных свойств тканого полотна [40] ограничиваются размерами используемого сканера. Следует отметить, что немаловажную роль играет и расположение пробы в поле сканера, а именно: ли-

бо основные, либо уточные нити должны располагаться вдоль направления движения сканирующего элемента.

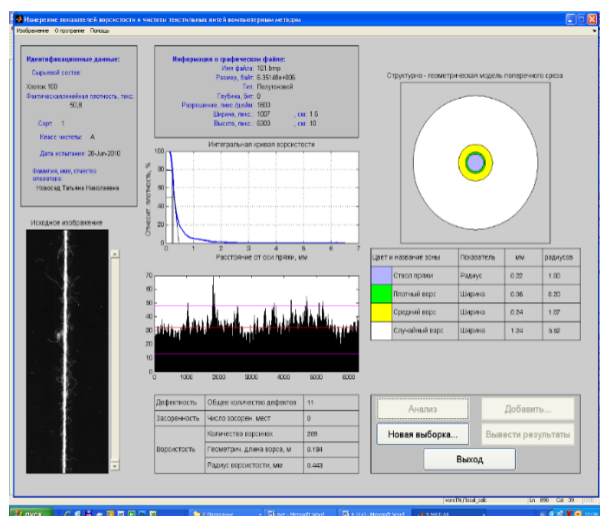


Рис. 4

Для анализа изображения пробы ткани, отсканированной на принтере, достаточно информации, полученной в палитре серого цвета. При этом уровни яркости в изображении распределены между темными и светлыми участками в виде двумерного массива данных, где каждый элемент изображения имеет числовое значение яркости от 0 (соответствует черному цвету) до 255 (соответствует белому цвету). Все остальные промежуточные значения в зависимости от близости к минимальному или максимальному значению включают оттенки серого цвета. Общую схему последовательности всех измерительных операций для цифрового метода измерения можно представить следующим образом: формирование пробы; получение изображения; формирование алгоритма обработки (выявление особенностей объекта исследования по полученному изображению, обработка изображения пробы, определение показателей исследуемого свойства, обработка результатов измерений); формирование протоколов испытаний.

Обработка изображения и определение структурных показателей изображения тканого полотна состоит в следующем [40], [41]. Первоначально с помощью специальной программы (см. табл. 6) осу-

ществляют просмотр всех строк и столбцов изображения (рис. 5, а).

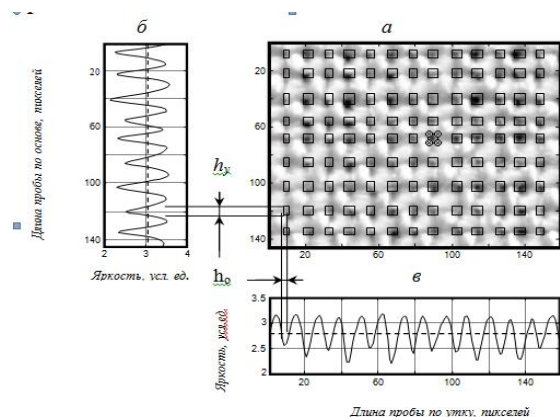


Рис. 5

Исходное изображение представляет собой матрицу точек, каждая из которых обладает определенной яркостью от 0 до 255. Формат матрицы  $A = [a_{ij}]$  размером  $n \times m$  (где  $i$  – номер строки,  $j$  – номер столбца,  $n$  – количество строк,  $m$  – количество столбцов). Строки матрицы соответствуют направлению нитей утка, а столбцы – направлению нитей основы в ткани. Обработку матрицы осуществляют в следующем порядке. Сначала формируют функции яркости по основе (рис. 5, б) и по утку (рис. 5, в) путем суммирования значений яркости точек исходного изображения по строкам и по столбцам. Анализ значений амплитуд колебаний яркости показывает, что максимумы функции соответствуют нитям (основы или утка) или их переплетению, а минимумы отражают отсутствие нитей, т.е. сквозные поры (их геометрический центр). Поэтому можно предположить, что период функции равен суммарному значению линейных размеров нитей и пор. Далее, найдя величину периода и его составляющих, определяют размеры пор и нитей в ткани. Для этого устанавливают местоположение средней линии на профилях яркости, вычисляя средние значения функций.

После этого осуществляют определение месторасположения пор на изображении пробы путем нанесения сетки из прямоугольников, соответствующих порам на ткани (рис. 5, а). Высоту  $h_0$  и ширину  $h_y$  прямоугольников определяют по значениям

усредненных функций яркости, лежащих ниже средних значений. Далее рассчитывают сумму площадей нанесенных прямоугольников, что соответствует площади сквозных пор  $S_{пор}$ , и площадь всей пробы  $S_{пр}$ . На рис. 6 показан итоговый протокол результатов измерения показателей заполнения и пористости на основе модернизированной компьютерной программы, которая позволяет вместо эквивалентных прямоугольников устанавливать фактические размеры пор [41].

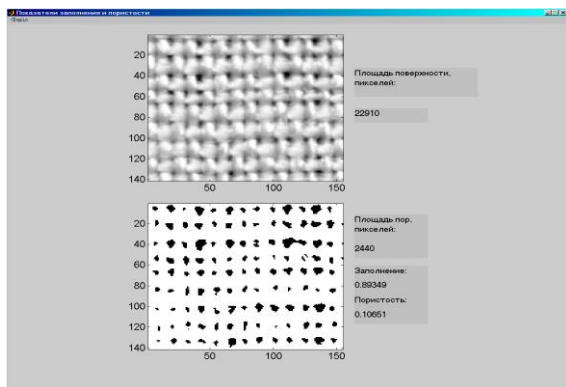


Рис. 6

Измерение геометрических характеристик петлеобразования трикотажного полотна в различных научных исследованиях является постоянно востребованным [48], [49]. В данном случае пробу трикотажного полотна размером  $10 \times 10$  см укладывают на рабочую поверхность планшетного сканера, затем сканируют для получения графической информации. Саму пробу размещают таким образом, чтобы процесс сканирования проходил вдоль петельных столбиков (плотность по вертикали) трикотажного полотна. Разрешающая способность сканера устанавливалась не менее 600 пикселей на дюйм. Режим выбора отраженного или проходящего света зависел от цвета исследуемого полотна (для светлых полотен – отраженный, для темных – проходящий).

Полученное графическое изображение пробы выводят на экран монитора, где выделяют участок (локальный элемент) в виде прямоугольника (рис. 7). Выбор размера локального элемента зависит от производительности компьютера, оптимальным размером является прямоугольная область,

занимающая четверть полученного изображения. Затем локальный элемент смещают в двух направлениях – по горизонтали и вертикали.

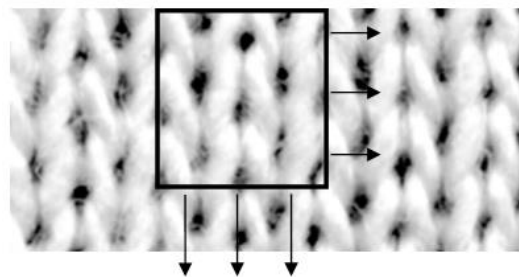


Рис. 7

Первоначально выделенное изображение смещают по горизонтали (например, слева направо), выделяя при этом с помощью автокорреляционной функции вертикальные светлые и темные полосы, характеризующие периодически повторяющиеся нити и поры трикотажного полотна. Затем локальный элемент смещают по вертикали вниз, выделяя при этом аналогично горизонтальные светлые и темные полосы. Эта операция осуществляется для того, чтобы оценить периодичность изображения петлеобразования по горизонтали и по вертикали. Далее по виду автокорреляционной функции находят локальные максимумы, которые характеризуют периодичность изображения.

В дальнейшем с учетом полученных данных моделируют трикотажную петлю с помощью сплайна (s-образной кривой). На следующем этапе вычисляют размеры сетки, которая представляет собой прямоугольную матрицу, для чего закладывают полученные данные (ширину  $w$ , высоту  $h$  трикотажной петли и количество периодов по горизонтали  $k_g$  и вертикали  $k_v$ ) и таким образом получают определенные размеры сетки (рис. 8).

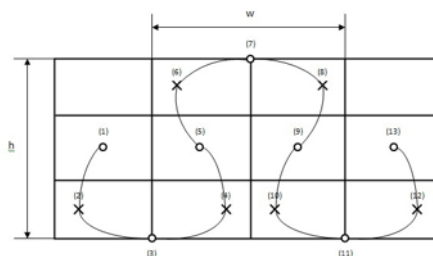


Рис. 8

Далее проводят интерполирование кривой трикотажной петли кубическим параметрическим сплайном (кубическим сплайном на отрезке  $[a, b]$  называется дважды непрерывно дифференцируемая функция  $y = f(x)$ , на каждом из отрезков  $\Delta_j = [x_{j-1}, x_j]$  совпадающая с кубическим полиномом и удовлетворяющая условиям интерполяции  $f(x_j) = y_j; j = 1, \dots, N$ ). В итоге получают для дальнейшего анализа сетку трикотажной петли с 13-ю узлами (рис. 8). Далее выводят конечное изображение смоделированной трикотажной петли пробы (рис. 9), по которому на основе известных зависимостей рассчитывают геометрические характеристики петлеобразования трикотажного полотна. Рабочее окно итогового протокола приведено на рис. 10.

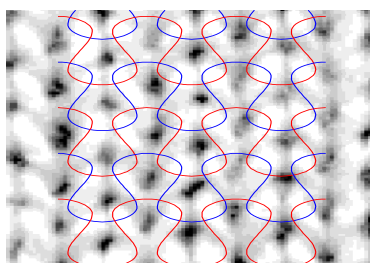


Рис. 9

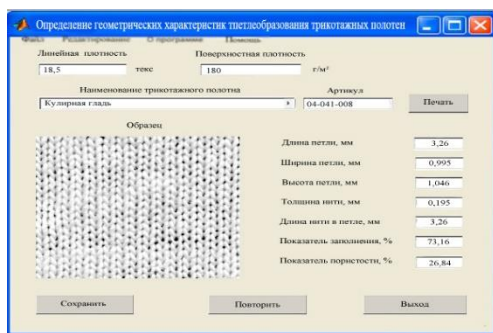


Рис. 10

Определенное поле деятельности в направлении создания обновленных цифровых методов измерения показателей свойств текстильных материалов с новыми улучшенными метрологическими характеристиками имеется и на основе анализа базы данных ранее зарегистрированных технических решений как изобретения на способ измерения показателей соответствующего свойства. В качестве примера

рассмотрим способ измерения ворсистости пряжи по авторскому свидетельству СССР № 1302188 (заявитель ИвТИ им. М.В. Фрунзе, опубликовано 1987, Бюл. №13).

Основные операции данного способа следующие: располагают измеряемый участок пряжи в проекционной связи параллельно линии пересечения двух плоскостей проекций, формируют вокруг ствола пряжи цилиндрическую поверхность вращения, ось вращения которой совпадает с осевой линией пряжи, определяют количество точек пересечений ворсинками поверхности вращения и относительно плоскостей проекций определяют количество участков скрещивающихся и пересекающихся ворсинок. Кроме этого количество участков скрещивающихся и пересекающихся ворсинок определяют с внешней стороны цилиндрической поверхности вращения. Характеристика ворсистости пряжи, отражающую количество ворсинок, находят подсчетом числа точек пересечения ворсинок с цилиндрической поверхностью вращения, а характеристику ворсистости пряжи, отражающую длину ворсинок, вычисляют подсчетом числа точек пересечения ворсинок на плоскости. Технический результат получался за счет повышения точности при определении количества ворсинок (прямой метод измерения) и повышения быстродействия при расчете суммарной длины волокон (косвенный метод измерения).

При осуществлении цифровизации данного способа измерения характеристик ворсистости пряжи первоначально выделяли части изображения, содержащего ствол пряжи, где воспользовались преобразованием, реализованным в программном пакете Image Processing Toolbox MATLAB в виде функции *im2bw*, задав соответствующий порог яркости бинарного преобразования [45], а затем последовательно измеряли длину отдельно пронумерованных волокон с использованием соответствующей программы (табл. 6). Итоговое информационное окно по определению характеристик ворсистости пряжи с учетом оцифровки известного способа определения ворсистости пряжи по авторскому

свидетельству СССР №1302188 приведено на рис. 11.

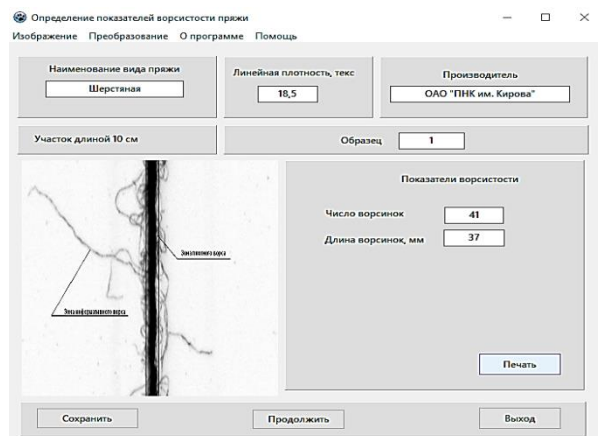


Рис. 11

Для широкого внедрения цифровых методов оценки показателей качества текстильных материалов и изделий не только для научных исследований, но и в отделах технического контроля текстильных предприятий и испытательных центрах необходимо решить ряд задач по их отраслевой (производственной) стандартизации. Основные из них следующие:

- расширение номенклатуры показателей качества по отдельным видам текстильных материалов относительно стандартов СПКП групп однородной продукции;

- формулирование общего принципа (возможно на основе создания основополагающего стандарта) описания операций цифрового метода измерения (формирование алгоритма измерений, установка корректности применения периферийных средств: сканеров, фотоаппаратов, принтеров и т.д., формирование протокола испытаний);

- осуществление обязательной защиты патентного права на изобретение и авторского права на программу для ЭВМ;

- указание соответствующего языка программирования и представление логотипа программы в приложении к национальному стандарту или указание ссылки на сайт, с которого можно скачать данную программу;

- определение необходимости аттестации методики измерения на используемый

метод цифрового измерения и процедурные мероприятия в соответствующем аккредитованном аттестационном органе, если будут применены косвенные методы измерений контролируемого показателя качества как физической величины.

Рассмотрим на примере формирования стандарта организации (ГОСТ Р 1.4-2004 «Стандарты организаций. Общие положения») возможную методику его построения с учетом применения компьютерного метода измерения соответствующего показателя качества текстильного материала. Разделы «Нормативные ссылки», «Термины и определения» оформляются с учетом требований ГОСТ Р 1.5-2004 «Стандарты национальные. Правила построения, изложения, оформления и обозначения».

Описание операций компьютерного метода измерения целесообразно начинать с построения блок-схемы алгоритма измерения в соответствии с ГОСТ 19.701 – 90 «Единая система программной документации. Схемы алгоритмов, программ, данных и систем. Обозначения условные и правила выполнения», выбора необходимых периферийных средств измерений, указания способа формирования и обработки изображения пробы и приведения ссылки на доступ к использованию компьютерной программы. Поэтому отдельной проблемой является получение соответствующей ссылки на использование компьютерной программы, которая должна храниться на сайте разработчика или в облаке соответствующего поисковика с учетом дальнейшего воспроизведения конкретным пользователем. Далее следует представить операции калибровки (поверки) точности, достоверности и сходимости компьютерного метода измерений. В приложении привести наиболее рациональные формы протоколов испытаний.

## ВЫВОДЫ

Показана необходимость опережающего развития цифровых методов измерения показателей свойств текстильных материалов и изделий для проведения соответствующих научных исследований, то есть

создания соответствующего задела по научному приборостроению. Проведена общая систематизация известных структурных свойств текстильных материалов и изделий с возможностью прогнозирования введения новых свойств в рамках создания матричной формы их представления и описания, а также необходимостью представления отдельного свойства в комбинированной форме для разграничения и нормирования количественных показателей свойств. Осуществлен анализ современного состояния создания и использования цифровых методов измерения определяющих показателей структурных свойств текстильных волокон, нитей и полотен. Отдельно выделены первоочередные проблемы стандартизации и метрологического обеспечения цифровых методов измерения показателей свойств текстильных материалов и изделий.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Национальная программа «Цифровая экономика» [Электронный ресурс]. <https://www.tadviser.ru/index.php/> (Дата обращения: 10.04.2023).

2. Киселев А.М., Румянцев Е.В., Одинцова О.И., Румянцева В.Е. Современные технологии получения текстильных материалов со специальными свойствами и области их применения // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2022. № 2. С. 121...133.

3. Мирошниченко Д.А., Толубеева Г.И. Систематизация способов построения переплетений однослойных тканей с визуальными объемными эффектами // Изв. вузов. Технология легкой промышленности. 2017. № 2(Т. 36). С. 12...15.

4. Абдуллин И.Ш., Ибрагимов Р.Г., Зайцева О.В. и др. Современные ткани с мембранным покрытием // Дизайн. Материалы. Технология. 2014. № 5. С. 25...29.

5. Алеева С.В., Лепилова О.В., Кокишаров С.А. Технологические подходы к биомодификации структуры льняного волокна для получения сорбционных материалов // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2017. № 1. С. 319...324.

6. Стенограмма выступления Президента Российской Федерации [Электронный ресурс]. <http://www.kremlin.ru/events/president/news/69967/> (Дата обращения: 12.04.2023).

7. Павлов С.В., Коробов Н.А., Гусев Б.Н. Распознавание происхождения волокон с использованием цветовых измерений // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2001. №6. С.12...14.

8. Комаров А.Б., Коробов Н.А. Нахождение нитей основы и утка на изображении поверхности ткани с помощью преобразования Радона // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2003. №4. С. 96...98.

9. Волгин А.Б. Распознавание цифрового изображения самокрученной нити с целью определения крутки // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2012. №5. С. 159...162.

10. Силаков А.В., Варламова С.А., Котков П.В. Программное распознавание дефектов изображений регулярных текстур в текстильной промышленности // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2022. №2. С. 266...272.

11. Ли У., Лоу Х., Цзян Г., Конг Х. Алгоритм обнаружения дефектов тканей с использованием оптимального фильтра Габора, основанный на RDPSO // Журнал Текстильного института. 2019. Т. 110. № 4. С. 487...495.

12. Зубко Д.П., Коробов Н.А., Гусев Б.Н. Компьютерное исследование поверхностей крученой пряжи // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2002. №1. С. 10...13.

13. Шаломин О.А., Матрохин А.Ю., Гусев Б.Н. Оптимизация значений параметров процесса измерения показателей засоренности хлопковых волокон по их цифровому изображению // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2009. №6. С. 21...24.

14. Гойс Т.О., Баженов С.М., Матрохин А.Ю. Разработка алгоритма распознавания степени повреждаемости геотекстильных полотен на основе анализа цифровых изображений // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2016. №5. С. 55...59.

15. Шляхтенко П.Г., Сухарев П.А. Контроль параметров крученой нитки по компьютерному изображению ее поверхности // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2013. №4. С. 18...21.

16. Трещалин Ю.М., Киселев М.В., Хамматова В.В., Трещалин М.Ю., Киселев А.М. Исследование структуры нетканых материалов методом компьютерной томографии // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2015. №5. С. 31...35.

17. Карева Т.Ю., Мирошниченко Д.А., Толубеева Г.И., Болсуновская М.В., Бойков А.В., Лодышкин А.В. Поиск путей совершенствования цифрового представления текстильных материалов с целью обнаружения дефектов // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2022. №2. С. 104...108.

18. Ивановский В.А. Распознавание нити в структуре трехмерной ткани // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2014. №5. С. 12...15.

19. Копарева Е.М., Зимица М.В., Тутов С.Н., Чагина Л.Л. Использование принципов автоматизированного распознавания оптических изображений для оценки стабильности структуры трикотажных полотен // Технологии и качество. 2021. №1. С. 4...8.

20. Чжан Ж., Уанг Ж., Пан Р., Чжоу Ж., Гао У. Система на основе компьютерного видения для автоматического обнаружения неправильно выполненных нитей основы в ткани, окрашенной в нить. Часть I: непрерывное сегментирование нитей основы // Журнал Textile Institute. 2018. Т. 109. № 5. С. 577...584.
21. Шеронова И.А., Старкова Г.П., Железняков А.С. Компьютеризация экспресс-метода оценки показателей раздвигаемости нитей в тканых полотнах // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2018. №3. С. 55...58.
22. Алексеев И.В., Матрохин А.Ю., Гусев Б.Н. Разработка метода компьютерного измерения показателей белизны текстильных полотен // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2006. №1. С. 127...129.
23. Рыклин Д.Б., Тан С. Оценка анизотропии драпируемости тканей на основе анализа результатов 3D-сканирования // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2020. №2. С. 325...329.
24. Liang Z., Xu B., Chi Z., Feng D. Интеллектуальная характеристика и оценка внешнего вида поверхности пряжи с использованием анализа карты салентности, вейвлет-преобразования и нечеткой нейронной сети ARTMAP // Expert Systems with Applications. 2012. Т. 39. № 4. С. 4201...4212.
25. Hanbay K., Talu M. F., Ozg'üven O.F., Ozt'urk D. Реальное время обнаружения дефектов в трикотаже с использованием преобразования Шпирлет // Текстиль и конфекцион. 2019. Т. 29. № 1. С. 1...10.
26. Матрохин А.Ю., Коробов Н.А., Гусев Б.Н. Компьютерное измерение показателей протяженности волокон // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2000. №3. С. 6...8.
27. Вонг В., Цзян Цзян. Техника компьютерного зрения для обнаружения дефектов тканей // Приложения компьютерного зрения в моделировании, распознавании и поиске моделей в моде и текстильных материалах. Элсеvier, Амстердам, Нидерланды. 2018.
28. Коробов Н.А., Грузинцева Н. А., Лысова М.А., Гусев Б.Н. Построение методики цифрового исследования неравномерности по поверхностной плотности нетканых материалов // Технологии и качество. 2021. №2. С.5...10.
29. Макаров А.Г., Демидов А.В. Цифровое прогнозирование упругих, вязкоупругих и пластических компонент деформации текстильных материалов // Дизайн. Материалы. Технология. 2022. №1. С. 130...135.
30. Климова Н.С., Переборова Н.В., Литвинов А.М., Козлов А.А. Компьютерное прогнозирование деформационных процессов полимерных текстильных материалов // Дизайн. Материалы. Технология. 2021. №2. С. 120...130.
31. Переборова Н.В., Киселев С.В., Вагнер В.И., Козлов А.А., Каланчук О.Э. Компьютерное прогнозирование и системный анализ деформационных процессов текстильных материалов // Изв. вузов. Технология легкой промышленности. 2020. №3. С. 5...15.
32. Акиндинова Т.Л., Смирнова Н.А., Бойко С.В., Лапшин В.В., Замышляева В.В. Исследование и моделирование релакционных процессов при изгибе бортовых тканей // Дизайн. Материалы. Технология. 2021. №1. С. 124...127.
33. Васильева Е.К. Компьютерное моделирование деформационных и релакционных свойств полиамидных тканей для куполов парашютов // Изв. вузов. Технология легкой промышленности. 2016. №1. С. 17...28.
34. Долгова Е.Ю., Чижик М.А., Найманханова Ж.М., Иванцова Т.М. Формирование обучающей выборки для создания цифровых двойников текстильных материалов // Изв. вузов. Технология легкой промышленности. 2021. №3. С. 39...42.
35. Li C., Yang R., Liu Z., Gao G., Liu Q. Обнаружение дефектов ткани путем изучения визуальной выразительности на основе словаря // International Journal of Clothing Science and Technology. 2016, Т. 28, № 4. С.530...542.
36. Киселев А.М., Киселев М.В. Проектирование и прогнозирование физико-механических свойств композиционных материалов на основе 3D-текстильных преформ // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2017. №1. С. 325...329.
37. Климова Н.С. Цифровизация прогнозирования процессов ползучести швейных материалов / Н.С. Климова, В.И. Вагнер, Д.А. Овсянников, А.М. Литвинов // Дизайн. Материалы. Технология. 2022. №2. С. 88-92.
38. Севостьянов П.А., Фирсов А.В. Информационные и компьютерные технологии в текстильной промышленности // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2018. №4. С. 107...109.
39. Гусев Б.Н. Совершенствование методологии выявления показателей качества текстильных материалов и изделий // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2005. №6. С. 119...122.
40. Лысова М.А., Коробов Н.А., Гусев Б.Н. Исследование метода компьютерного определения плотности прошивки многослойных текстильных полотен // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2010. №8. С. 99...102.
41. Сташева М.А., Коробов Н.А., Гусев Б.Н. Разработка экспресс-метода компьютерного измерения показателей заполнения и пористости ткани // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2002. №3. С. 17...19.
42. Сташева М.А., Коробов Н.А., Гусев Б.Н. Совершенствование метода компьютерного измерения показателей заполнения и пористости ткани // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2003. №3. С. 26...29.
43. Кузьмичева Е.Н., Юхин С.С. Исследование показателей пористости тканых полотен // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2008. №2. С. 119...120.



44. Матрохин А.Ю., Шаломин О.А., Круглов А.В., Гусев Б.Н. Выявление информативных признаков для определения зрелости хлопкового волокна // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2009. №4. С. 7...10.

45. Коробова Т.Н., Гусев Б.Н. Моделирование ворсовой поверхности пряжи с учетом ее нормируемых характеристик // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2008. №4. С. 15...18.

46. Коробова Т.Н., Матрохин А.Ю., Гусев Б.Н., Леониди Т. Формирование алгоритма компьютерной обработки изображения пряжи для измерения показателей ее ворсистости // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2005. №2. С. 109...113.

47. Коробова Т.Н., Евсеева Н.В., Гусев Б.Н. Оценка качества компьютерного метода измерения радиуса ворсистости пряжи // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2007. №3. С. 17...21.

48. Стенюгина О.В., Коробов Н.А., Гусев Б.Н., Алешина Д.А. Определение геометрических характеристик петлеобразования трикотажного полотна по компьютерному измерению // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2012. №1. С. 19...22.

49. Мальшева О.В., Гусев Б.Н. Совершенствование компьютерного метода определения структурных (геометрических) характеристик трикотажного полотна // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2016. №5. С. 232...235.

## REFERENCES

1. National program «Digital Economy» [Electronic resource]. <https://www.tadviser.ru/index.php> / (Date of application: 04/10/2023).

2. Modern technologies for the production of textile materials with special properties and their applications / A.M. Kiselev, E.V. Rummyantsev, O.I. Odintsova, V.E. Rummyantseva // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2022. No. 2. Pp. 121...133.

3. Miroshnichenko D.A. Systematization of methods for constructing interlacing of single-layer fabrics with visual volumetric effects / D.A. Miroshnichenko, G.I. Tolubeeva // Izv. vuzov. Light industry technology. 2017. No. 2 (Vol. 36). Pp. 12...15.

4. Abdullin I.Sh., Ibragimov R.G., Zaitseva O.V., etc. Modern fabrics with membrane coating // Design. Materials. Technology. 2014. No. 5. Pp. 25...29.

5. Aleeva S.V. Technological approaches to the biomodification of the structure of flax fiber for the production of sorption materials / S.V. Aleeva, O.V. Lepilova, S.A. Koksharov // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2017. No. 1. Pp. 319...324.

6. Transcript of the speech of the President of the Russian Federation [Electronic resource]. <http://www.kremlin.ru/events/president/news/69967> / (Accessed 12.04.2023).

7. Pavlov S.V., Korobov N.A., Gusev B.N. Recognition of the origin of fibers using color measurements // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2001. No.6. P. 12...14.

8. Komarov A.B., Korobov N.A. Finding the warp and weft threads on the image of the fabric surface using Radon transformation // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2003. No. 4. Pp. 96...98.

9. Volgin A.B. Recognition of a digital image of a self-twisted thread in order to determine the twist // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2012. No. 5. Pp. 159...162.

10. Silakov A.V., Varlamova S.A., Kotkov P.V. Software recognition of defects in images of regular textures in the textile industry // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2022. No.2. Pp. 266...272.

11. Li Y., Low H., Jiang G., Kong H. An algorithm for detecting tissue defects using an optimal Gabor filter based on RDPSO // Journal of the Textile Institute. 2019. Vol. 110. No. 4. Pp. 487...495.

12. Zubko D.P., Korobov N.A., Gusev B.N. Computer research of twisted yarn surfaces // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2002. No.1. P. 10...13.

13. Shalomin O.A., Matrokhin A.Yu., Gusev B.N. Optimization of the values of the parameters of the process of measuring the indicators of clogging of cotton fibers by their digital image // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2009. No. 6. P. 21...24.

14. Gois T.O., Bazhenov S.M., Matrokhin A.Yu. Development of an algorithm for recognizing the degree of damage to geotextile canvases based on the analysis of digital images // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2016. No.5. Pp. 55...59.

15. Shlyakhtenko P.G., Sukharev P.A. Control of parameters of a twisted thread by computer image of its surface // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2013. No. 4. Pp. 18...21.

16. Treshchalin Yu.M., Kiselev M.V., Khammatova V.V., Treshchalin M.Yu., Kiselev A.M. Investigation of the structure of nonwoven materials by computed tomography // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2015. No. 5. Pp. 31...35.

17. Kareva T.Yu., Miroshnichenko D.A., Tolubeeva G.I., Bolsunovskaya M.V., Boikov A.V., Lodyshkin A.V. Search for ways to improve the digital representation of textile materials in order to detect defects // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2022. No. 2. Pp. 104...108.

18. Ivanovskiy V.A. Thread recognition in the structure of a three-dimensional fabric // Izvestiya Vys-

shikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2014. No. 5. P. 12...15.

19. *Kopareva E.M., Zimina M.V., Titov S.N., Chagina L.L.* Using the principles of automated recognition of optical images to assess the stability of the structure of knitted fabrics // *Technologies and quality*. 2021. No. 1. Pp. 4...8.

20. *Zhang Zh., Wang Zh., Pan R., Zhou Zh., Gao Wu.* Computer vision-based system for automatic detection of incorrectly executed warp threads in fabric dyed in thread: Part I: continuous segmentation of warp threads // *Textile Institute Journal*. 2018. Vol. 109. No. 5. P. 577...584.

21. *Sheromova I.A., Starkova G.P., Zheleznyakov A.S.* Computerization of the express method for assessing the parameters of the spreading of threads in woven fabrics // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. 2018. No. 3. Pp. 55...58.

22. *Alekseev I.V., Matrokhin A.Yu., Gusev B.N.* Development of a method for computer measurement of indicators of whiteness of textile fabrics // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. 2006. No.1. Pp. 127...129.

23. *Ryklin D.B., Tan S.* Assessment of the anisotropy of drapery of fabrics based on the analysis of 3D scanning results // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. 2020. No. 2. Pp. 325...329.

24. *Liang Z., Xu B., Chi Z., Feng D.* Intelligent characterization and evaluation of the appearance of the yarn surface using the analysis of the latency map, wavelet transform and fuzzy neural network ARTMAP // *Expert Systems with Applications*. 2012. Vol. 39. No. 4. Pp. 4201...4212.

25. *Hanbay K., Talu M. F., Ozguven O. F., Ozturk D.* Real-time detection of defects in Knitwear using Shirlet transformation // *Textiles and confection*. 2019. Vol. 29. No. 1. P. 1...10.

26. *Matrokhin A.Yu., Korobov N.A., Gusev B.N.* Computer measurement of fiber length indicators // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. 2000. No.3. Pp. 6...8.

27. *Wong V., Jiang Jiang.* Computer vision technique for detecting tissue defects // *Applications of computer vision in modeling, recognition and search for models in fashion and textile materials*. Elsevier, Amsterdam, Netherlands. 2018.

28. *Korobov N.A., Gruzintseva N.A., Lysova M.A., Gusev B.N.* Constructing a methodology for digital research of non-woven surface density unevenness // *Technologies and quality*. 2021. No. 2. Pp. 5...10.

29. *Makarov A.G., Demidov A.V.* Digital prediction of elastic, viscoelastic and plastic components of deformation of textile materials // *Design. Materials. Technology*. 2022. No. 1. Pp. 130...135.

30. *Klimova N.S., Pereborova N.V., Litvinov A.M., Kozlov A.A.* Computer prediction of deformation processes of polymer textile materials // *Design. Materials. Technology*. 2021. No.2. Pp. 120...130.

31. *Pereborova N.V., Kiselev S.V., Wagner V.I., Kozlov A.A., Kalanchuk O.E.* Computer forecasting and system analysis of deformation processes of textile materials // *Izv. vuzov. Light industry technology*. 2020. No. 3. P. 5...15.

32. *Akindinova T.L., Smirnova N.A., Boyko S.V., Lapshin V.V., Zamyshlyeva V.V.* Research and modeling of relaxation processes during bending of side tissues // *Design. Materials. Technology*. 2021. No. 1. Pp. 124...127.

33. *Vasilyeva E.K.* Computer modeling of deformation and relaxation properties of polyamide fabrics for parachute domes // *Izv. vuzov. Light industry technology*. 2016. No. 1. Pp. 17...28.

34. *Dolgova E.Yu., Chizhik M.A., Naimankhanova Zh.M., Ivantsova T.M.* Formation of a training sample for creating digital doubles of textile materials // *Izv. vuzov. Light industry technology*. 2021. No. 3. Pp. 39...42.

35. *Li C., Yang R., Liu Z., Gao G., Liu Q.* Detection of tissue defects by studying visual expressiveness based on a dictionary // *International Journal of Clothing Science and Technology*. 2016. Vol. 28. No. 4. Pp. 530...542.

36. *Kiselev A.M., Kiselev M.V.* Design and prediction of physico-mechanical properties of composite materials based on 3D textile preforms // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. 2017. No. 1. Pp. 325...329.

37. *Klimova N.S., Wagner V.I., Ovsyannikov D.A., Litvinov A.M.* Digitalization forecasting of creep processes of sewing materials // *Design. Materials. Technology*. 2022. No. 2. pp. 88-92.

38. *Sevostyanov P.A., Firsov A.V.* Information and computer technologies in the textile industry // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. 2018. No. 4. Pp. 107...109.

39. *Gusev B.N.* Improving the methodology for identifying quality indicators of textile materials and products // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. 2005. No.6. Pp. 119...122.

40. *Lysova M.A., Korobov N.A., Gusev B.N.* Investigation of the method of computer determination of the density of the stitching of multilayer textile fabrics // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. 2010. No. 8. P. 99...102.

41. *Stasheva M.A., Korobov N.A., Gusev B.N.* Development of an express method for computer measurement of tissue filling and porosity indicators // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. 2002. No. 3. Pp. 17...19.

42. *Stasheva M.A., Korobov N.A., Gusev B.N.* Improvement of the method of computer measurement of filling and porosity of tissue // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. 2003. No. 3. Pp. 26...29.

43. *Kuzmicheva E.N., Yukhin S.S.* Investigation of porosity indicators of woven fabrics // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. 2008. No. 2. Pp. 119...120.

44. *Matrokhin A.Yu., Shalomin O.A., Kruglov A.V., Gusev B.N.* Identification of informative signs for determining the maturity of cotton fiber // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. 2009. No. 4. P. 7...10.

45. *Korobova T.N., Gusev B.N.* Modeling of the pile surface of yarn taking into account its normalized characteristics // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. 2008. No. 4. P. 15...18.

46. *Korobova T.N., Matrokhin A.Yu., Gusev B.N., Leonidi T.* Formation of an algorithm for computer

processing of yarn images to measure its napiness indicators // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. 2005. No.2. Pp. 109...113.

47. *Korobova T.N., Evseeva N.V., Gusev B.N.* Evaluation of the quality of a computer method for measuring the radius of the pile of yarn // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. 2007. No. 3. Pp. 17...21.

Рекомендована кафедрой материаловедения, товароведения, стандартизации и метрологии Ивановского государственного политехнического университета. Поступила 03.05.23.

---