

РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ КОРРЕКЦИИ БИНАРИЗАЦИИ И ВЫЧИСЛЕНИЯ ПЛОТНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВОЛОКОН В НЕТКАНЫХ МАТЕРИАЛАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЦВЕТОВЫХ КАРТ ПОВЕРХНОСТИ В КОНТЕКСТЕ АНАЛИЗА ОБРАЗЦОВ С РАЗНОЙ ПОВЕРХНОСТНОЙ ПЛОТНОСТЬЮ

И.А. Суворов, Е.Н. Калинин, В.Б. Кузнецов

Иван Александрович Суворов (ORCID 0000-0002-1824-0737)

Ивановский государственный химико-технологический университет, пр. Шереметевский, 7, Иваново, 153000, Россия

E-mail: unsuorov@gmail.com

Евгений Николаевич Калинин*, Виктор Борисович Кузнецов

Ивановский государственный политехнический университет, пр. Шереметевский, 21, Иваново, 153000, Россия

E-mail: enkalini@gmail.com*, kuznetsovtex@gmail.com

В работе представлен сравнительный анализ алгоритмов устранения дефектов бинаризации, примененных к изображениям волокнистых материалов. Разработан алгоритм вычисления плотности распределения волокон в структурах с различной поверхностной плотностью по их бинарным изображениям и его программная реализация. Приводится результат проведенного анализа цифровых изображений волокнистых материалов, произведенных с использованием разных технологий холстоформирования и разных типов волокон. Для исследуемых образцов была произведена оценка плотности распределения волокон, а также построены цветные карты поверхности для различных образцов нетканых материалов по их изображениям. Разработанный алгоритм коррекции бинаризации и вычисления плотности распределения волокон обладает высокой точностью и может быть применен для анализа различных волокнистых материалов, включая тканые, плетеные, трикотажные и другие. Полученное свидетельство на программу для ЭВМ подтверждает оригинальность и научную значимость разработки. Результаты исследования могут быть использованы для улучшения качества производства нетканых материалов и оптимизации производственных процессов.

Ключевые слова: плоские нетканые структуры, автоматизированная система, метод бинаризации, системы обработки изображений, разработка, контроль качества.

DEVELOPMENT OF METHODS FOR BINARIZATION CORRECTION AND CALCULATION OF FIBER DISTRIBUTION DENSITY IN NON-WOVEN MATERIALS USING SURFACE COLOR MAP IN THE CONTEXT OF SAMPLES ANALYSIS WITH DIFFERENT SURFACE DENSITY

I.A. Suvorov, E.N. Kalinin, V.B. Kuznetsov

Ivan A. Suvorov (ORCID 0000-0002-1824-0737)

Ivanovo State University of Chemistry and Technology, 7 Sheremetevsky Ave., Ivanovo, 153000 Russia

E-mail: unsuorov@gmail.com

Evgeny N. Kalinin*, Viktor B.Kuznetsov

Ivanovo State Polytechnic University, 21 Sheremetevsky Ave., Ivanovo, 153000 Russia

E-mail: enkalini@gmail.com*, kuznetsovtex@gmail.com

The paper presents a comparative analysis of algorithms for eliminating binarization defects applied to images of fibrous materials. An algorithm for calculating the distribution density of fibers in structures with different surface density from their binary images and its software implementation have been developed. The analysis result of fibrous materials digital images produced using different technologies of lamination and different types of fibers is presented. For the samples under study, the distribution density of the fibers was estimated, and color maps of the surface were constructed for various samples of nonwoven materials according to their images. The developed algorithm for correcting binarization and calculating the distribution density of fibers is highly accurate and can be used to analyze various fibrous materials,

including woven, woven, knitted, and others. The received certificate for the computer program confirms the originality and scientific significance of the development. The results of the study can be used to improve the quality of nonwovens production and optimize production processes.

Keywords: flat nonwoven structures, automated system, binarization method, image processing systems, development, quality control.

Для цитирования:

Суворов И.А., Калинин Е.Н., Кузнецов В.Б. Разработка методов коррекции бинаризации и вычисления плотности распределения волокон в нетканых материалах с использованием цветowych карт поверхности в контексте анализа образцов с разной поверхностной плотностью. *Известия высших учебных заведений. Серия «Экономика, финансы и управление производством» [Ивэкофин]*. 2023. №02(56). С. 96-103. DOI: 10.6060/ivecofin.2023562.648

For citation:

Suvorov I.A., Kalinin E.N., Kuznetsov V.B. Development of methods for binarization correction and calculation of fiber distribution density in non-woven materials using surface color map in the context of samples analysis with different surface density. *Ivecofin*. 2023. N 02(56). С. 96-103. DOI: 10.6060/ivecofin.2023562.648 (in Russian)

ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день нетканые материалы (далее - НМ) занимают важное место в текстильной промышленности и представляют собой одну из наиболее перспективных категорий продукции. Высокие физико-механические свойства НМ и превосходство в некоторых параметрах перед традиционными материалами и сплавами делают их востребованными в различных отраслях. Объемы производства НМ в мире устойчиво продолжают свой рост. Для производства НМ используются различные типы волокнистого сырья, такие как хлопок, вискоза, синтетические волокна, шерсть и отходы прядильного производства. Качество НМ сильно зависит от сырья, материалов, способа производства и технологического процесса. Для обеспечения высокого качества производства необходимо проводить анализ структуры НМ с оценкой распределения волокон в материале. В настоящее время, автоматические системы контроля качества НМ привлекают все больше внимания. Одним из способов анализа структуры нетканых материалов является использование методов бинаризации и определения плотности распределения волокон. Бинаризация позволяет разделить изображение материала на черные и белые области, что облегчает анализ структуры. Определение плотности распределения волокон позволяет оценить гомогенность материала и выявить потенциальные дефекты, такие как неравномерное распределение волокон или образование зон с пониженной плотностью. Кроме того, для анализа качества нетканых материалов часто используется построение цветowych карт поверхности, которые позволяют оценить гладкость и равномерность поверхности материала. Введение автоматических систем контроля

качества позволяет значительно повысить эффективность производства нетканых материалов и обеспечить их высокое качество.

Целью данной работы является разработка автоматизированной системы для анализа поверхностной плотности распределения волокон в нетканых плоских структурах по изображениям их поверхности с последующей генерацией цветowych карт плотности распределения волокон, что позволит определить неравномерность распределения волокон в материале как численно, так и графически.

Изображения являются важным источником информации для анализа материалов, и в последние годы методы обработки изображений все чаще применяются для изучения свойств различных материалов. Ранее нами проведен анализ изображений [1], направленный на оценку плотности распределения волокон в нетканых материалах, а также разработана автоматизированная система в виде программного комплекса, использующего функционал системы MATLAB [2]. Для разработанного программного комплекса был спроектирован алгоритм (рис. 1), позволяющий вычислить плотность распределения волокон в нетканых структурах на основе их бинарных изображений и выполнять построение цветowych карт поверхности. Разработанная автоматизированная система была реализована в виде программного кода в среде MATLAB [7].

Разработка систем обработки изображений обычно требует значительного уровня тестирования и экспериментов, чтобы достичь приемлемого решения [3]. Спроектированный алгоритм можно разделить на три основных блока:

- Обработка изображений;
- Визуализация данных;
- Перспектива дальнейшего применения.

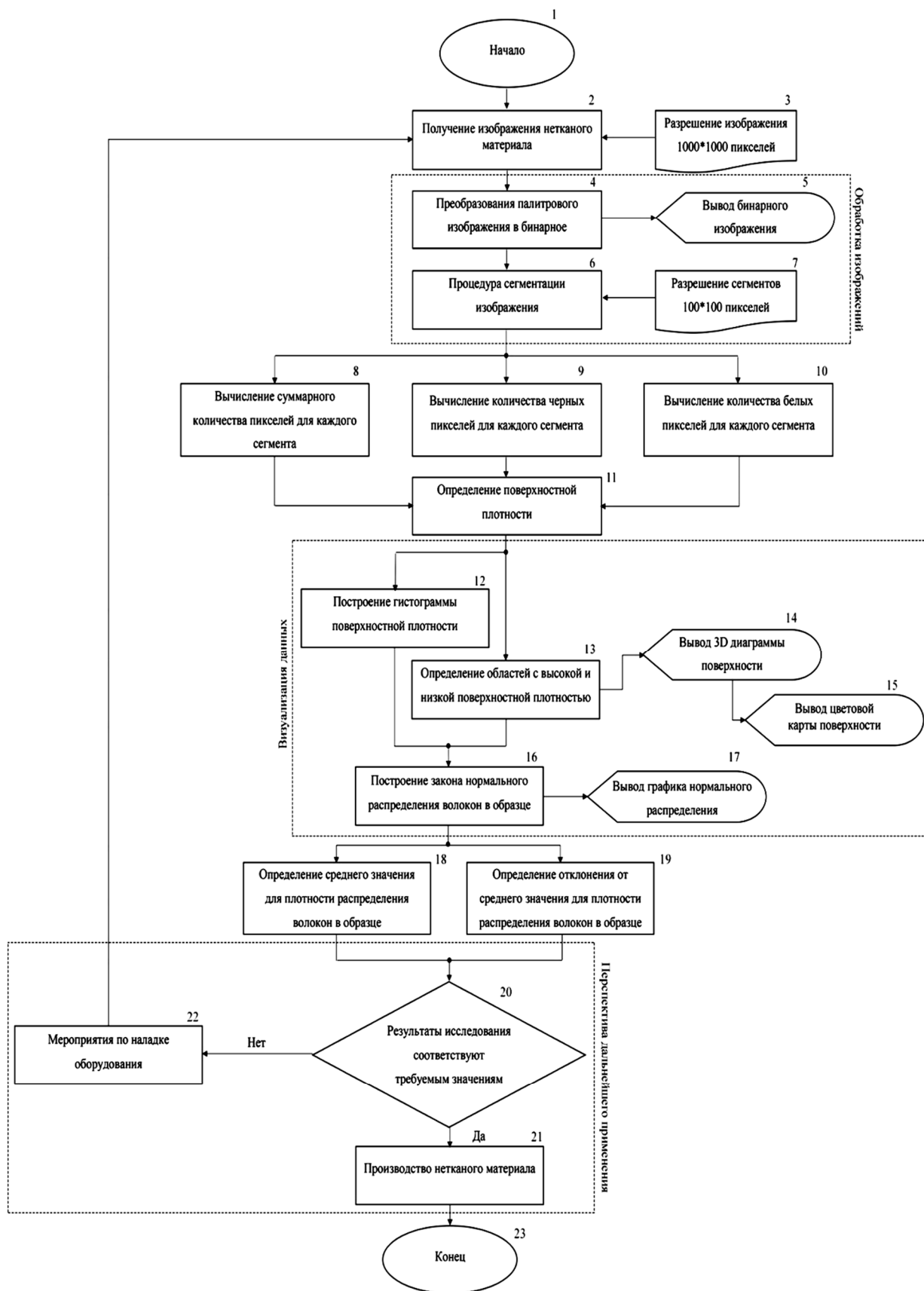


Рисунок 1. Спроектированный алгоритм вычисления плотности распределения волокон на основе их бинарных изображений
Figure 1. Designed algorithm for calculating the distribution density of fibers based on their binary images

В рамках исследования был проведен анализ цифровых изображений (микрофотографий) волокнистых материалов (рис. 2), для производства которых использованы разные технологии холстоформирования и разные типы волокон. Было проведено вычисление плотности распределения волокон, а также выполнено построение цветowych карт поверхности для различных образцов материалов по их изображениям их поверхности. Для первой стадии анализа выбран следующие материалы: рогожка; бязь – стандарт, сатин – люкс, поплин.

Используя разработанную автоматизированную систему на основе микрофотографий, уда-

лось получить бинарные изображения текстильных структур (рис. 3). Полученные изображения позволяют четко выделить волокна и определить плотность их распределения, что является важным шагом в анализе и оптимизации свойств материалов. Бинарные изображения получены с высокой точностью и достоверностью благодаря эффективному алгоритму обработки изображений.

После выполнения процедур обработки изображения удалось получить бинарное изображение, на котором волокна четко выделяются (рис. 3). Полученный результат, считающийся приемлемым для простых образцов тканей, позволил перейти к анализу более сложных нетканых материалов [4].

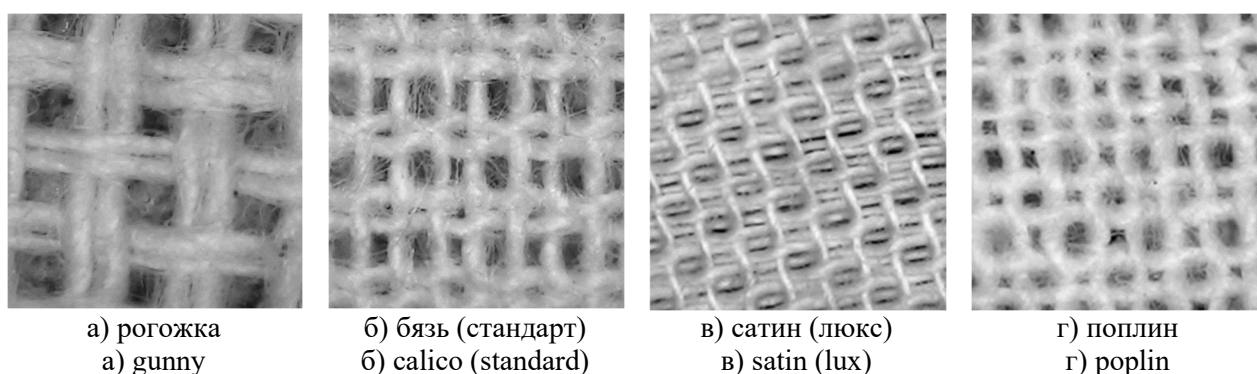


Рисунок 2. Микрофотография структуры волокнистых материалов
Figure 2. Micrograph of the fibrous materials structure

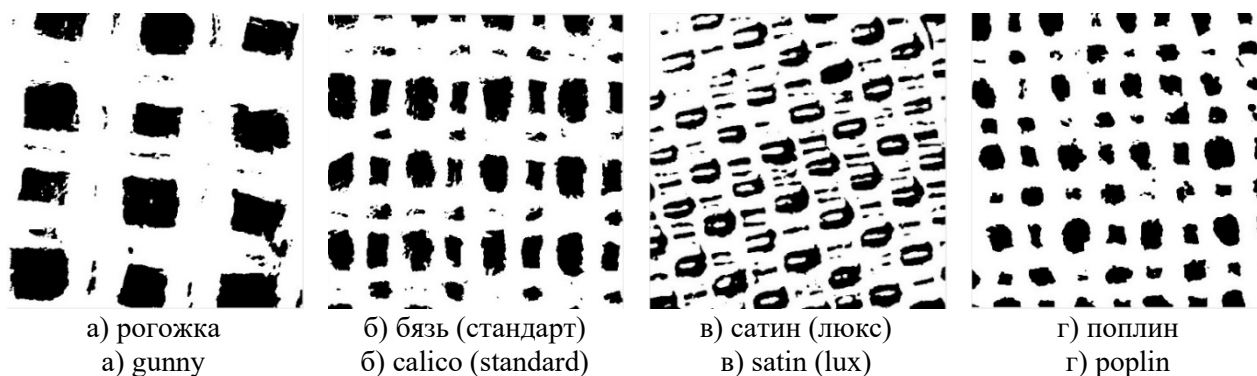


Рисунок 3. Бинарное изображение структуры волокнистых материалов
Figure 3. Binary image of the fibrous materials structure

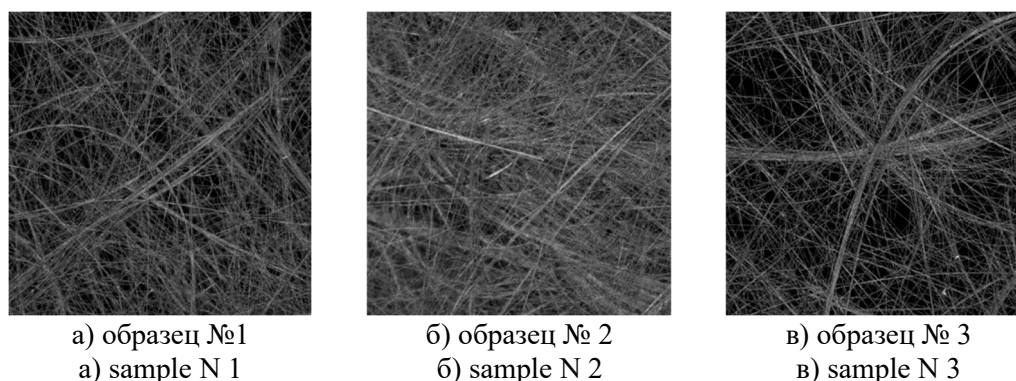


Рисунок 4. Микрофотография образцов нетканого материала
Figure 4. Micrograph of nonwoven fabric samples

Нетканые материалы (НМ) — полотна, по внешнему виду напоминающие ткани, получаемые из текстильных волокон или пряжи без процесса ткачества [5]. Для анализа взяты три микрофотографии (рис. 4) нетканого материала, изготовленного из штапельного углеродного волокна аэродинамическим методом холстоформирования с различной поверхностной плотностью.

Разработанные процедуры обработки полноцветного изображения нетканого матери-

ала стоят из нескольких этапов, на первом этапе изображения нетканых структур, полученные непосредственно с оптических приборов (рис. 5, а), конвертируются в полутоновые изображения (рис. 5, б), представляющие плавный переход от черного цвета через серый к белому [6]. Последующая работа с изображениями заключается в применении метода бинаризации, в ходе которого получено бинарное изображение НМ с четко выделенным волокнами (рис. 5, в).

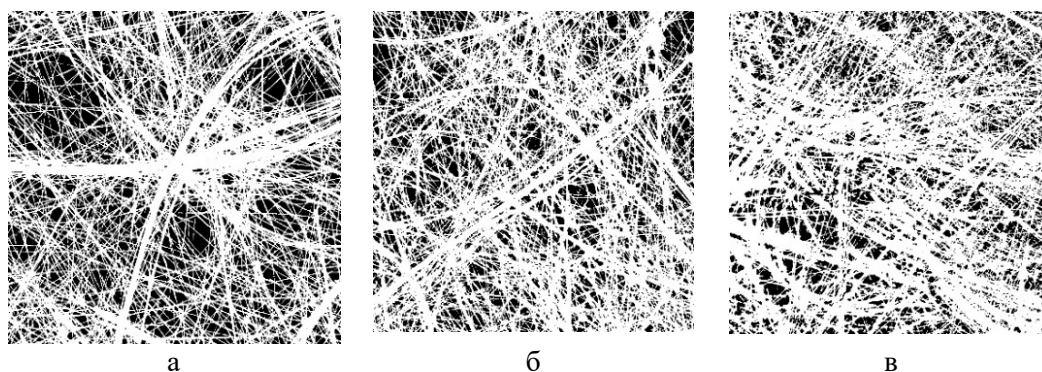


Рисунок 5. Этапы обработки бинарного изображения структуры НМ
Figure 5. Stages of processing a binary image of the nonwoven fabric structure

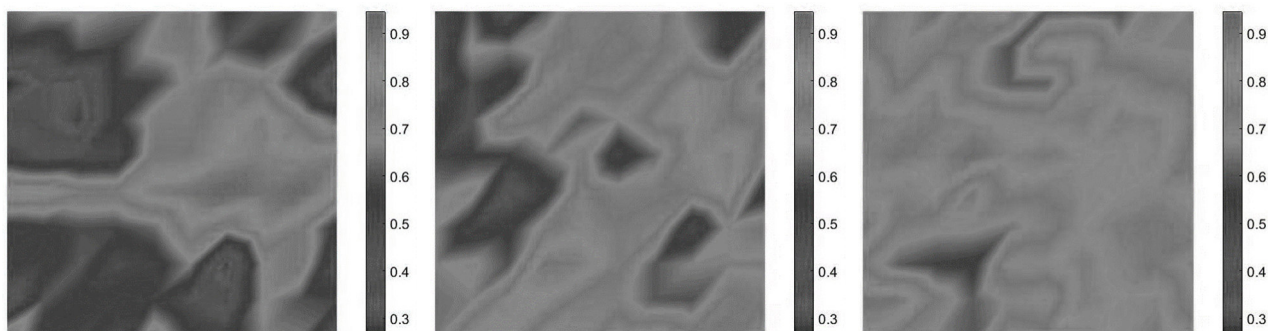


Рисунок 6. Цветовая карта поверхности структуры НМ
Figure 6. Color map of the surface of the nonwoven fabric structure

Для графических результатов анализа текстильных материалов были использованы полноцветные изображения размером 1000×1000 пикселей, эквивалентные квадрату размером 10×10 см. Полученные черно-белые изображения структуры волокон позволяют вычислить числовое значение плотности распределения в образцах и перейти к построению цветowych карт поверхности для наглядной визуализации данных [7-9].

Поверхностная плотность нетканых плоских структур P_s , $г/м^2$, определяется по формуле:

$$P_s = m / S, \quad (1)$$

где m — масса образца, г;

S — площадь поверхности образца, $м^2$.

При одинаковой и постоянной площади поверхности исследуемых образцов S различие в плотности распределения волокон (поверхностной плотности) для образцов будет зависеть от

различия массы m волокон, образующих нетканую структуру. В случае плоских нетканых структур можно сравнивать образцы по площади, которую занимают волокна в них, вместо сравнения по массе. Площадь, которую занимают волокна в образцах, определяется параметрической характеристикой k_s которая выражается в долях от общей площади поверхности образца S НМ.

Величина k_s рассчитывается из матрицы изображения нетканой структуры как отношение числа элементов со значением 1 (белые пиксели) к общему числу элементов матрицы (общее число точек изображения) по формуле:

$$k_s = \frac{\sum white_px}{w \cdot h} \quad (2)$$

где $\sum white_px$ — суммарное число белых пикселей (пиксели со значением 1), которые передают на изображении линии волокон/нитей;

$w * h$ – разрешение изображения – количество пикселей по горизонтали и вертикали.

Для построения цветной параметрической карты поверхности используется команда *surf*, которая применяется к имеющемуся массиву данных [10]. Одна из осей массива содержит значения коэффициентов плотности распределения волокон, а также значения, формирующие изображения. Для добавления вертикальной шкалы палитры к текущей диаграмме используется команда *colorbar*. Шкала палитры отображает минимальное и максимальное значения плотности распределения волокон в образце, что является дополнительным графическим индикатором для пользователя (рис. 6) [11].

В табл. 1 приведены численные значения результатов анализа плоских нетканых структур исследуемых образцов, полученных с помощью разработанного программного комплекса.

Для достижения большей наглядности и более полного представления о распределении плотности волокон в структуре текстильных материалов были созданы 3D-диаграммы (рис. 7) [12]. В частности, для рогожки, бязи (стандарт), сатина (люкс), поплина, были построены 3D-диаграммы, которые позволяют более детально рассмотреть распределение плотности волокон в трех измерениях.

Диаграммы помогают исследователям лучше понять характеристики текстильного материала и обнаруживать тенденции в распределении плотности волокон [13].

Таблица 1. Численные значения результатов анализа исследуемых образцов плоских нетканых структур

Table 1. Numerical values of the analysis results of the studied flat nonwoven structures samples

Изображение нетканой структуры	Диапазон значений kS в сегментированном изображении	Значение kS в наибольшем числе сегментов	Среднее значение kS в образце, kS_СР	Интервал с наибольшей плотностью распределения значений kS
Рисунок 5а	(0,25...0,95)	0,55	0,62	0,62±0,16
Рисунок 5б	(0,40...0,90)	0,75	0,68	0,68±0,11
Рисунок 5в	(0,55...0,90)	0,80	0,76	0,76±0,09

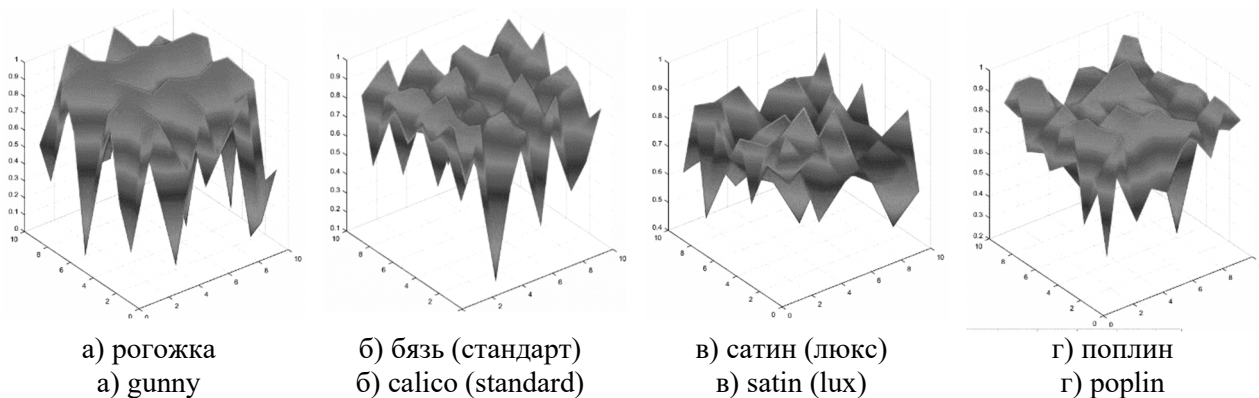


Рисунок 7. 3D-диаграмма распределения плотности волокон структуры волокнистых материалов
Figure 7. 3D density distribution diagram fibrous materials structure

Разработанные алгоритмы обработки цифровых изображений плоских нетканых структур позволяют получать бинарные изображения, что устраняет дефекты бинаризации [14-15]. Хаотичный характер распределения волокон в нетканой структуре при таком способе производства снижает вероятность их равномерного распределения, поэтому низкая поверхностная плотность является фактором, влияющим на распределение волокон. Визуальная оценка изображений нетканых структур и цветовых карт их поверхности со-

ответствует полученным результатам. Проведенный анализ изображений плоских нетканых структур и целостность полученных данных, характеризующих распределение волокон, позволяют сделать вывод об эффективности использования разработанного алгоритма предварительной обработки изображений для оценки плотности распределения волокон в плоских нетканых материалах. Следовательно, разработанный подход имеет потенциал для широкого применения в промышленности текстильных материалов.

ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Автоматизированная система для анализа качества текстильной поверхности волоконно-композитного слоя с применением систем обработки изображений реализована в виде программного блока с использованием функций в системе MATLAB. Внедрение разработанной системы для анализа качества текстильной поверхности волоконно-композитного слоя с применением систем обработки изображений может привести к экономической эффективности за счет автоматизации процесса контроля качества, сокращения времени на анализ и повышения точности результатов. Также система может применяться для обработки цифровых изображений различных волокнистых структур, что расширяет ее возможности и потенциальный рынок применения. По результатам разработки автоматизированной системы для анализа качества текстильной поверхности волоконно-композитного слоя с применением систем обработки изображений было получено свидетельство на программу для ЭВМ [6], что подтверждает ее новизну и оригинальность. Дальнейшие исследования могут быть направлены на расширение функционала программного комплекса для анализа других параметров текстильных материалов и разработку новых алгоритмов обработки изображений.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Суворов И.А.** Разработка автоматизированной системы для анализа качества текстильной поверхности волоконно-композитного слоя с использованием систем обработки изображений. *Известия высших учебных заведений. Серия «Экономика, финансы и управление производством» [Ивэкофин]*. 2022. № 03(53). С.101-108. DOI: 10.6060/ivecofin.2022533.619.
2. **Ершов С.В., Кузнецов В.Б., Кожевников С.О., Суворов И.А., Калинин Е.Н.** Метод бинаризации как основа структурного анализа поверхностной плотности нетканого наполнителя композитного материала. *Вестник Череповецкого государственного университета*. 2021. №1 С. 9-19.
3. **Rafael C. Gonzalez, Richard Eugene Woods, Steven L. Eddins** Digital Image Processing Using MATLAB. Dorsing Kindersley. 2004. 620 p.
4. Сайт пользователей системы Matlab. <http://matlab.expenta.ru>.
5. **Ершов С.В., Суворов И.А., Калинин Е.Н.** Анализ плотности распределения волокон в нетканых плоских структурах по изображениям их поверхности. *Известия вузов. Технология текстильной промышленности*. 2018. № 2 С. 194-200.
6. **Кузнецов В.Б., Суворов И.А., Калинин Е.Н., Ершов С.В.** Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023612811. 23.08.2023. Система для анализа качества текстильной поверхности волоконно-композитного слоя и определения её неравномерности в нетканых плоских структурах.
7. **Ермолаев М.Б., Хомякова А.А., Белова А.Д., Серкова Ю.А.** Разработка алгоритма интеллектуальной поддержки принятия решений на базе системного подхода. *Известия высших учебных заведений. Серия «Экономика, финансы и управление производством» [Ивэкофин]*. 2022. № 01(51). С.138-146. DOI: 10.6060/ivecofin.2022511.594.

1. Разработанный программный комплекс на основе систем обработки изображений позволяет проводить автоматизированный анализ качества текстильной поверхности волоконно-композитного слоя с высокой достоверностью и точностью.

2. Разработанный алгоритм предварительной обработки изображений плоских нетканых структур позволяет получать бинарные изображения, исключая дефекты бинаризации, и обеспечивает эффективную оценку плотности распределения волокон в плоских нетканых материалах.

3. Разработанный метод анализа плотности распределения волокон в плоских нетканых материалах может быть использован для контроля качества и оптимизации производства таких материалов.

Работа выполнена при поддержке Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере по проекту №52 ГССС 15-Л/79002: «Разработка автоматизированной системы для анализа качества текстильной поверхности волоконно-композитного слоя с использованием систем обработки изображений».

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflict of interest.

REFERENCES

1. **Suvorov I.A.** Development of an automated system for analyzing the quality of the textile surface of a fiber-composite layer using image processing systems. *Ivecofin*. 2022. N03(53). P.101-108. DOI: 10.6060/ivecofin.2022533.619. (in Russian).
2. **Ershov S.V., Kuznetsov V.B., Kozhevnikov S.O., Suvorov I.A., Kalinin E.N.** Binarization method as a basis for structural analysis of the surface density of a non-woven filler of a composite material. *Bulletin of the Cherepovets State University*. 2021. N 1 P. 9-19. (in Russian).
3. **Rafael C. Gonzalez, Richard Eugene Woods, Steven L. Eddins** Digital Image Processing Using MATLAB. Dorsing Kindersley. 2004. 620 p.
4. Site of users of the Matlab system. <http://matlab.expenta.ru>. (in Russian).
5. **Ershov S.V., Suvorov I.A., Kalinin E.N.** Analysis of fiber distribution density in non-woven flat structures based on their surface images. *News of universities. Technology of the textile industry*. 2018. N 2 P. 194-200. (in Russian).
6. **Kuznetsov V.B., Suvorov I.A., Kalinin E.N., Ershov S.V.** Certificate of state registration of the computer program N2023612811. 23.08.2023. A system for analyzing the quality of the textile surface of a fiber-composite layer and determining its unevenness in non-woven flat structures.
7. **Ermolaev M.B., Khomyakova A.A., Belova A.D., Serkova Yu.A.** Development of an intelligent decision support algorithm based on a systematic approach. *Ivecofin*. 2022. N 01(51). P.138-146. DOI: 10.6060/ivecofin.2022511.594. (in Russian).

8. **Суворов И.А., Кузнецов В.Б., Калинин Е.Н., Манин Б.Е., Грис Т.** Разработка программного комплекса для трехмерного моделирования волокнистых армирующих структур и расчета их оптимальной геометрии по заданным структурным параметрам тканого полотна и нитей. *Физика волокнистых материалов: структура, свойства, наукоемкие технологии и материалы (SMARTEX)*. 2021. № 1. С. 325-328.
9. **Бобков С.П., Астраханцева И.А., Волков В.С.** Имитационное моделирование системы массового обслуживания с целью анализа ее работы. *Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение*. 2021. №3(67). С. 58-62. DOI: 10.6060/snt.20216703.0008. EDN TZQQYN.
10. **Бобков С.П., Астраханцева И.А., Галиаскаров Э.Г.** Применение системного подхода при разработке математических моделей. *Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение*. 2021. № 1(65). С. 66-71. DOI :10.6060/snt.20216501.0008. EDN KOXZWY.
11. **Ершов С.В., Суворов И.А.** Получение бинарных изображений плоских нетканых структур для систем автоматического контроля их качества. *Физика волокнистых материалов: структура, свойства, наукоемкие технологии и материалы (SMARTEX)*. 2018. № 1-2. С. 19-23.
12. **Ершов С.В., Калинин Е.Н., Тидт Т.** Анализ направленности углеродных волокон в реальных нетканых структурах технического назначения. *Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности*. 2015. № 6 (360). С. 189-193.
13. **Mizgirev L., Galiaskarov E., Astrakhantseva I., Bobkov S., Astrakhantsev R.** Transfer learning for road-based location classification of non- residential property. *CEUR Workshop Proceedings*. Moscow: 2021. 03. EDN NQTBDE.
14. **Ершов С.В., Суворов И.А.** Анализ параметров поверхности текстильного волоконно-композитного слоя с использованием цифровых систем обработки изображения. *Молодые ученые - развитию Национальной технологической инициативы (ПОИСК)*. 2021. № 1. С. 131-132.
15. **Ершов С.В., Калинин Е.Н.** Влияние пиксельной характеристики цифровых изображений нетканых структур на точность результатов их компьютерного анализа. *Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности*. 2016. № 6 (366). С. 243-247.
16. **Ершов С.В., Кузнецов В.Б., Никифорова Е.Н., Суворов И.А., Козлова Н.Б., Калинин Е.Н.** Многофункциональный анализ параметров тканой армирующей структуры по функциональным свойствам элементарной периодической ячейки композитного материала. *Пластические массы*. 2022. №9-10. С.31-34.
8. **Kuznetsov V.B., Suvorov I.A., Kalinin E.N., Manin B.E., Gris T.** Development of a software package for three-dimensional modeling of fibrous reinforcing structures and calculation of their optimal geometry according to specified structural parameters of a woven fabric and threads. *Physics of fibrous materials: structure, properties, high technologies and materials (SMARTEX)*. 2021. N 1. P. 325-328. (in Russian).
9. **Bobkov S.P., Astrakhantseva I.A., Volkov V.S.** Simulation modeling of a queuing system for the purpose of analyzing its operation. *Modern high-tech technologies. Regional application*. 2021. N 3(67). P. 58-62. DOI: 10.6060/snt.20216703.0008. EDN TZQQYN. (in Russian).
10. **Bobkov S.P., Astrakhantseva I.A., Galiaskarov E.G.** Application of a systematic approach to the development of mathematical models. *Modern high technologies. Regional application*. 2021. N 1 (65). P. 66-71. DOI: 10.6060/snt.20216501.0008. EDN KOXZWY. (in Russian).
11. **Ershov S.V., Suvorov I.A.** Obtaining binary images of flat non-woven structures for automatic quality control systems. *Physics of fibrous materials: structure, properties, high technologies, and materials (SMARTEX)*. 2018. N 1-2. P.19-23. (in Russian).
12. **Ershov S.V., Kalinin E.N., Tidt T.** Analysis of the direction of carbon fibers in real non-woven structures for technical purposes. *Technology of the textile industry*. 2015. N 6 (360). P. 189-193. (in Russian).
13. **Mizgirev L., Galiaskarov E., Astrakhantseva I., Bobkov S., Astrakhantsev R.** Transfer learning for road-based location classification of non- residential property. *CEUR Workshop Proceedings*. Moscow: 2021. 03. EDN NQTBDE.
14. **Ershov S.V., Suvorov I.A.** Analysis of surface parameters of a textile fiber-composite layer using digital image processing systems. *Young scientists - development of the National Technology Initiative (POISK)*. 2021. N 1. P. 131-132. (in Russian).
15. **Ershov S.V., Kalinin E.N.** Influence of the pixel characteristic of digital images of nonwoven structures on the accuracy of the results of their computer analysis. *Technology of the textile industry*. 2016. N 6 (366). P. 243-247. (in Russian).
16. **Ershov S.V., Kuznetsov V.B., Nikiforova E.N., Suvorov I.A., Kozlova N.B., Kalinin E.N.** Multifunctional analysis of the parameters of a woven reinforcing structure according to the functional properties of an elementary periodic cell of a composite material. *Plastic masses*. 2022. N 9-10. P. 31-34. (in Russian).

Поступила в редакцию 12.04.2023
Принята к опубликованию 26.04.2023

Received 12.04.2023
Accepted 26.04.2023