

**ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ НЕЙРОСЕТЕВЫХ АЛГОРИТМОВ  
В ПРЕДОБРАБОТКЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ БИНАРИЗАЦИИ  
СТРУКТУРНОГО СИНТЕЗА НЕТКАНОГО НАПОЛНИТЕЛЯ  
ТЕКСТИЛЬНОГО КОМПОЗИТА**

**ON THE EFFECTIVENESS OF NEURAL NETWORK ALGORITHMS  
IN THE PREPROCESSING OF IMAGES OF STRUCTURAL SYNTHESIS  
BINARIZATION OF NONWOVEN FILLER TEXTILE COMPOSITE**

*С.В. ЕРШОВ, И.А. СУВОРОВ, В.Б. КУЗНЕЦОВ, Е.Н. НИКИФОРОВА, Н.Б. КОЗЛОВА, Е.Н. КАЛИНИН*  
*S.V. ERSHOV, I.A. SUVOROV, V.B. KUZNETSOV, E.N. NIKIFOROVA, N.B. KOZLOVA, E.N. KALININ*

(Ивановский государственный политехнический университет)

(Ivanovo State Polytechnic University)

E-mail: ershovsy.iv@yandex.ru; suvorov@live.it; kuznetsovtex@gmail.com; enkalini@gmail.com

*В работе проведен сравнительный анализ применения нейросетевых алгоритмов, реализующих процедуры предварительной обработки изображений при синтезе структурной геометрии волокнистой армирующей компоненты, для перспективных процедур бинаризации с целью оптимизации результатов синтеза нетканого наполнителя текстильного композита. Нейросетевые алгоритмы позволяют автоматизировать, повысить точность и обеспечить адекватность результатов процедур предварительной обработки изображений структурной геометрической компоненты, снизить влияние искажений и шумов, влияющих на конечный результат анализа, тем самым повысить скорость аналитических процессов, что делает их важным инструментом как для научных исследований, так и для прикладных приложений.*

*A comparative analysis of the neural network algorithms use that implement image pre-processing procedures in the synthesis of the structural geometry of a fibrous reinforcing component for advanced binarization procedures in order to improve the final results of binarization is carried out. Neural network algorithms make it possible to automate, increase the accuracy and adequacy of the results of pre-processing procedures for images of a structural geometric component, and reduce the influence of distortions and noise on the final analysis result, thereby increasing the speed of analytical processes, making them an important tool for both scientific research and industrial applications.*

**Ключевые слова:** нейросетевые алгоритмы, бинаризация, геометрия волокнистой армирующей компоненты композита.

**Keywords:** neural network algorithms, binarization, geometry of the fibrous reinforcing component of a composite.

*Введение*

Нейросетевые алгоритмы (НА) представляют собой мощный инструмент для

предварительной обработки и последующего анализа используемых в процедурах синтеза композитов изображений структур

нетканых волокнистых материалов с хаотичной структурой. Такие алгоритмы обеспечивают возможность коррекции и автоматизированной обработки изображений с высокой точностью и адекватностью результата численного эксперимента при решении проектных задач, что позволяет проводить анализ структуры нетканого материала более детально. Одним из ключевых методов, используемых с применением нейросетей, является бинаризация изображений, которая позволяет разделить нетканый материал на черные и белые области, снижая ресурсоемкость последующего анализа. Дополнительно нейросетевые алгоритмы могут применяться для определения плотности распределения волокон, что позволяет выявить потенциальные дефекты и оценить гомогенность структурных характеристик нетканого материала.

#### *Материалы и методы*

Deep Learning Toolbox [1, 2] (ранее Neural Network Toolbox) обеспечивает основу для проектирования и синтеза сложных динамических систем, сформированных на глубоких нейронных сетях, с использованием как предварительно обученных моделей, так и с приложениями и инструментами для проектирования архитектуры нейронной сети, обеспечивающей возвращение процедур, предварительно сформированных в предобработке изображения бинаризации структурного синтеза нетканого наполнителя текстильного композита с шумоподавлением глубокой нейронной сети, указанной model Name.

Для шумоподавления в изображениях использована предварительно обученная сверхточная нейронная сеть DnCNN, которая была изначально разработана для устранения шума в изображениях. Однако архитектура DnCNN также способна обучаться для устранения артефактов сжатия JPEG-изображений или увеличения их разрешения. DnCNN обучается способности оценивать остаточное изображение, которое представляет собой разницу между оригинальным изображением и его искаженной копией. Остаточное изображение содержит информацию об искажении по яркости его цветного изображения. Канал

яркости изображения  $Y$  представляет яркость каждого пикселя посредством линейной комбинации значений красного, зеленого и синего пикселей. Напротив, два канала цветности изображения  $S_b$  и  $S_r$  представляют собой различные линейные комбинации значений красного, зеленого и синего пикселей, которые отражают информацию о различиях в цвете. DnCNN обучается с использованием только канала яркости, поскольку человеческая органолептика более чувствительна к изменениям яркости, чем к изменениям цвета.

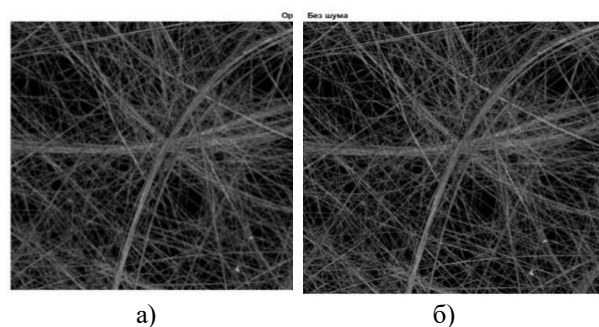


Рис. 1

Имя предварительно обученной глубокой нейронной сети для шумоподавления представлено в виде вектора символов DnCnn. Предварительно обученная модель шумоподавления – единственная доступная на данный момент в системе Matlab (рис. 1). DnCnn обучена только для изображений в оттенках серого, данный фактор необходимо иметь в виду при дальнейшем выполнении преобразований образа испытуемого объекта.

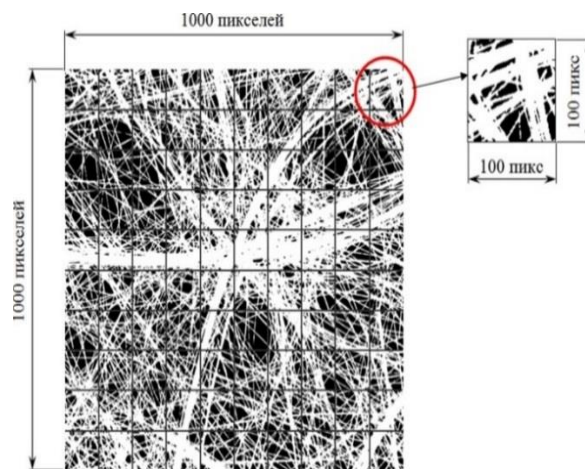


Рис. 2

Для определения неравномерности распределения волокон в образце выполняется разделение образца на сегменты и определяется значение параметрической характеристики  $k_S$  для каждого из них (рис. 2), что обеспечивает заданную точность выходного результата при заданной максимальной скорости вычислительного процесса [3, 5].

#### Результаты и обсуждение

Исследуемые образцы нетканой структуры по результатам преобразований процедурами метода бинаризации представлены на рис. 3, а. Цветовые карты на рис. 3, б из сег-

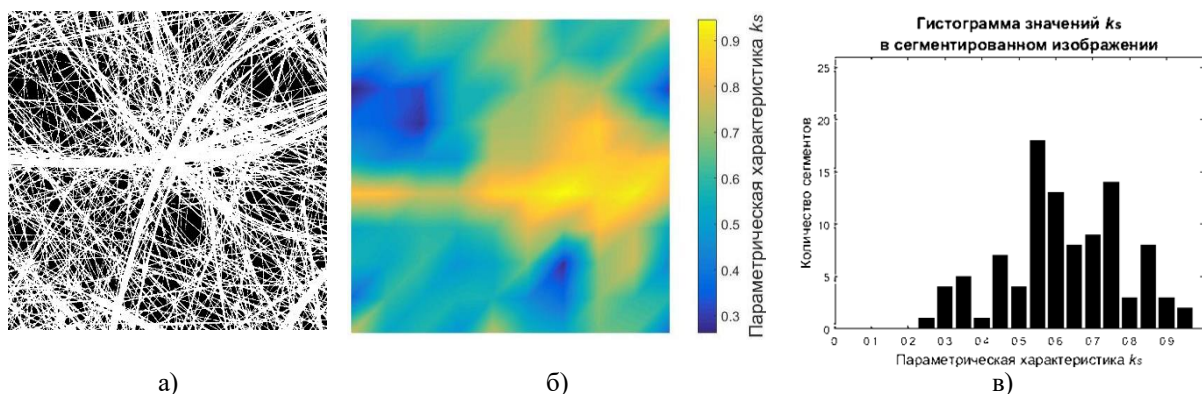


Рис. 3

Рис. 3

На основе развития технологии реализации метода бинаризации и разработанного нами алгоритмического программного комплекса [4], сочетающего возможности системы Matlab, по данным гистограмм (см. рис. 3, в) получено нормальное распределение параметрической характеристики  $k_S$  для исследуемого образца волокнистого материала – текстильного наполнителя синтезируемого композита как компонента армирующей структуры ПКМ [6...8].

Результаты анализа вычислительного эксперимента дают возможность выполнять визуальный контроль плотности распределения волокон в нетканой плоской структуре по цветовым картам их поверхности, а также получать численные значения результатов анализа, которые могут быть использованы для прогнозирования физико-механических свойств нетканых плоских структур – волокнистого наполнителя.

ментированного образа испытуемого образца в зависимости от уровня значений поверхностной плотности нетканой структуры обеспечивают визуализацию результатов анализа вычислительного эксперимента. Также по сегментированным образам исследуемых образцов полимерного композиционного материала (ПКМ) определены и представлены нами в виде гистограмм диапазон и частота распределения значений параметрической характеристики  $k_S$  (рис. 3, в) [7].

Достоверность результатов реализации разработанного нами алгоритмического обеспечения в рамках метода бинаризации цифрового образа нетканой плоской структуры и полнота полученных данных, характеризующих закономерность распределение волокон по поверхности плоской структуры образца нетканого материала, подтверждают эффективность использования разработанного нами программного комплекса, реализующего принципы метода бинаризации как основы структурного анализа поверхностной плотности нетканого армирующего ПКМ.

По значениям плотности распределения волокон  $k_{S\_cp}$  в нетканом материале и допустимому диапазону отклонения этих значений нами разработан вычислительный комплекс [4], который в своем дальнейшем развитии использован как программный блок для создания автоматизированной системы управления технологическим процессом

формирования поверхностной плотности нетканой плоской структурной системы в масштабах производства текстильного композита с заданными физико-механическими параметрами синтезируемого конструкционного материала с применением

нейросетевых алгоритмов. Значения параметрических характеристик  $k_S$  с использованием обученной нейросетевой модели приведены в табл. 1. Значения параметрических характеристик  $k_{Scp}$  без использования обученной модели представлены в табл. 2.

Таблица 1

0,4231	0,3423	0,1614	0,3347	0,6414	0,3814	0,3469	0,4004	0,5806	0,4535
0,5501	0,2618	0,2319	0,2421	0,6172	0,4399	0,4102	0,3805	0,4710	0,5808
0,4878	0,4588	0,3049	0,2822	0,5632	0,4352	0,3991	0,3630	0,4228	0,5400
0,4974	0,4309	0,5056	0,5545	0,6635	0,4113	0,3396	0,4580	0,4898	0,6938
0,5903	0,5872	0,4868	0,6243	0,7545	0,6453	0,5370	0,3749	0,4330	0,4254
0,4198	0,5049	0,5995	0,6764	0,8143	0,5789	0,1851	0,3290	0,4219	0,4091
0,4284	0,4544	0,6109	0,6757	0,8367	0,6533	0,5591	0,4944	0,4345	0,3163
0,5302	0,4437	0,3261	0,7226	0,7672	0,5289	0,4827	0,4135	0,4315	0,4649
0,6558	0,3403	0,2807	0,6443	0,5278	0,3759	0,3881	0,3543	0,4298	0,5501
0,5945	0,4617	0,3330	0,6163	0,4547	0,4476	0,3394	0,4955	0,6181	0,5402

Таблица 2

0,4231	0,3423	0,1614	0,3347	0,6414	0,3814	0,3469	0,4004	0,5806	0,4535
0,5501	0,2618	0,2319	0,2421	0,6172	0,4399	0,4102	0,3805	0,4710	0,5808
0,4878	0,4588	0,3049	0,2822	0,5632	0,4352	0,3991	0,3630	0,4228	0,5400
0,4974	0,4309	0,5056	0,5545	0,6635	0,4113	0,3396	0,4580	0,4898	0,6938
0,5903	0,5872	0,4868	0,6243	0,7545	0,6453	0,5370	0,3749	0,4330	0,4254
0,4198	0,5049	0,5995	0,6764	0,8143	0,5789	0,1851	0,3290	0,4219	0,4091
0,4284	0,4544	0,6109	0,6757	0,8367	0,6533	0,5591	0,4944	0,4345	0,3163
0,5302	0,4437	0,3261	0,7226	0,7672	0,5289	0,4827	0,4135	0,4315	0,4649
0,6558	0,3403	0,2807	0,6443	0,5278	0,3759	0,3881	0,3543	0,4298	0,5501
0,5945	0,4617	0,3330	0,6163	0,4547	0,4476	0,3394	0,4955	0,6181	0,5402

Среднее значение параметрической характеристики  $k_{Scp}$  с использованием обученной модели Deep Learning Toolbox составило 0,479733 (табл. 1). Среднее значение параметрической характеристики  $k_{Scp}$  без использования обученной модели – 0,479674 (табл. 2). Количество черных пикселей с использованием нейросети составило величину 520267. Количество черных пикселей без использования нейросети – 520326.

## ВЫВОДЫ

На основании результатов исследования, где выявлена разница между использованием и неиспользованием нейросетевых алгоритмов, возникает задача о целесообразности совершенствования процедур, направленных на глубокое обучение нейросетевых алгоритмов, и использования

выходных данных в рассматриваемом контексте с обеспечением их практической значимости для конкретного применения. Например, в области синтеза структур нетканых материалов даже небольшое повышение качественных показателей предобработки изображений может иметь существенное значение для точности и достоверности последующего анализа функциональных параметров композита. Более того, использование нейросетевых алгоритмов может значительно ускорить процесс обработки изображений, что также следует учитывать при принятии решения о необходимости углубленного обучения нейросети.

Таким образом, целесообразно использовать нейросетевые алгоритмы для предобработки и анализа изображений структур наполнителя нетканого материала, позволяющие не только улучшить качество анализа данных, но и повысить эффектив-

ность нейросетевых алгоритмов в предобработке изображений бинаризации структурного синтеза нетканого наполнителя текстильного композита.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Оцу Н.* Пороговый метод выбора от Гистограмм Уровня серого // Транзакции IEEE в Системах, Человеке и Кибернетике. 1979. 9 (1). С. 62...66.
2. *Брэдли Д., Рот Г.* Адаптивное определение порога с использованием интегрального изображения // Журнал графических инструментов. 2007. 12 (2). С. 13...21.
3. *Das D., Pourdeyhimi B.* Composite Nonwoven Materials: Structure, Properties and Applications / Woodhead Publishing. 2014. 252 p.
4. *Ершов С.В., Калинин Е.Н.* Разработка программного комплекса для анализа направленности волокон в углеродных нетканых структурах // Вестник Череповецкого государственного университета. 2015. №1. С. 12...17.
5. *Ершов С.В., Суворов И.А., Калинин Е.Н.* Анализ плотности распределения волокон в нетканых плоских структурах по изображениям их поверхности // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2018. №2 (374). С. 194...200.
6. *Суворов И.А., Ершов С.В.* Определение поверхностной плотности нетканых плоских структур методом анализа изображений // Физика волокнистых материалов: структура, свойства, наукоемкие технологии и материалы (SMARTEX). Иваново: ИВГПУ, 2018. №1-2. С. 19...23.
7. *Ершов С.В., Калинин Е.Н., Тидт Т.* Анализ направленности углеродных волокон в реальных нетканых структурах технического назначения // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2015. №6. С. 189...193.
8. *Ершов С.В., Калинин Е.Н.* Влияние пиксельной характеристики цифровых изображений нетканых структур на точность результатов их компьютерного анализа // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2016. №6. С. 243...247.

#### REFERENCES

1. *Otsu N.* Threshold selection method from Gray Level Histograms // IEEE Transactions in Systems, Man and Cybernetics. 1979. Edition 9, No. 1, pp. 62...66.
2. *Bradley D., Roth, G.* Adapting threshold processing using an integral image // Journal of Graphic Tools. 2007. Edition 12, No. 2, pp. 13...21.
3. *Das D., Pourdeyhimi B.* Composite Nonwoven Materials: Structure, Properties and Applications / Woodhead Publishing. 2014. 252 p.
4. *Ershov S.V., Kalinin E.N.* Development of a software package for the analysis of fiber directionality in carbon nonwoven structures // Vestnik Cherepoveckogo gosudarstvennogo universiteta. 2015. №1. P. 12...17.
5. *Ershov S.V., Suvorov I.A., Kalinin E.N.* Analysis of fiber distribution density in planar nonwoven structures using their surface images // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2018. № 2 (374). P. 194...200.
6. *Suvorov I.A., Ershov S.V.* Determination of the surface density of nonwoven planar structures by image analysis // Physics of fibrous materials: structure, properties, high-tech technologies and materials (SMARTEX). Ivanovo: IVGPU, 2018. №1-2, pp. 19...23.
7. *Ershov S.V., Kalinin E.N., Tiedt T.* Analysis of carbon fiber orientation in real nonwoven structures of technical purposes // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2015. № 6. P. 189...193.
8. *Ershov S.V., Kalinin E.N.* Influence of digital images pixel characteristics of nonwoven structures on the accuracy of their computer analysis results // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2016. № 6. P. 243...247.

Рекомендована оргкомитетом XX Международной научно-практической конференции «Новые полимерные композиционные материалы». Поступила 01.10.24.