

**АНАЛИЗ НАПРАВЛЕННОСТИ УГЛЕРОДНЫХ ВОЛОКОН
В РЕАЛЬНЫХ НЕТКАНЫХ СТРУКТУРАХ ТЕХНИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

**ANALYSIS OF CARBON FIBER ORIENTATION
IN REAL NONWOVEN STRUCTURES OF TECHNICAL PURPOSES**

*С.В. ЕРШОВ, Е.Н. КАЛИНИН, Т. ТИДТ
S.V. ERSHOV, E.N. KALININ, T. TIEDT*

(Ивановский государственный политехнический университет. Текстильный институт,
Институт текстильной техники Технического университета г. Ахена (Германия))
(Ivanovo State Polytechnical University. Textile Institute,
Institut für Textiltechnik of RWTH Aachen University (Germany))
E-mai: ttp@ivgpu.com

В статье представлены результаты анализа физических образцов углеродных нетканых структур технического назначения средствами разработанного нами программного комплекса для определения направленности волокон в нетканых материалах. Для исследуемых образцов определены: направление волокон, коэффициент анизотропии, средний угол и величина отклонения от среднего значения для направленности волокон. На основе полученных данных сделан вывод об эффективности применения разработанного нами программного комплекса для прогнозирования функциональных параметров вновь разрабатываемых нетканых структур.

The article presents the results of the analysis of physical models of nonwoven carbon structures of technical designation means we have developed proprogram complex for determining the orientation of fibers in nonwovens. For the test samples are determined: the direction of the fibers, the coefficient anisotropy, and the average angle of deviation from the mean value for the in-focus lock. Based on these results it was concluded that the effectiveness of time-worked our software for the prediction of functional parameters of newly developed nonwoven structures.

Ключевые слова: углеродные нетканые структуры технического назначения, направленность волокон, метод анализа изображений.

Keywords: nonwoven structures of technical purposes, fiber orientation, image analysis.

Точность и достоверность представленных результатов анализа программно сгенерированных образцов нетканых структур с заданными параметрами расположения волокон позволили использовать разработанный нами программный комплекс [1], [2] для исследования физических образцов углеродных нетканых структур технического назначения. Однако их реальные изображения, получаемые с помощью цифровых камер, сканеров, оптических или цифровых микроскопов, пред-

ставляют собой полноцветные изображения, в которых довольно часто не используется весь диапазон значений интенсивностей, присутствуют искажения яркости и ее неравномерность. Все это отрицательно отражается на качестве визуальных данных и в большинстве случаев не позволяет четко выделить линии волокон в нетканой структуре [3], [4].

Поэтому для анализа изображений реальных образцов нетканой структуры дополнительно нами разработан алгоритм их

предварительной обработки с целью максимально четкого выделения линий волокон. Процедура обработки включала в себя следующую последовательность действий. Полноцветное изображение нетканой структуры конвертировалось в полутоновое изображение, представляющее плавный переход от черного через серый к белому. При этом волокна, которые образуют структуру нетканого материала, представлялись светлыми линиями на темном фоне. Затем настраивались параметры контрастности, яркости и резкости полутонового изображения с целью разделения волокон и усиления четкости их границ на общем фоне.

Описанная процедура коррекции изображений достигнута с использованием функций MATLAB [5], на основе которых нами создан программный блок, позволивший реализовать процесс обработки изображений автоматически при загрузке их параметров в разработанный нами программный комплекс для определения направления волокон в нетканом материале. Для коррекции изображений нетканого

материала применяется следующая последовательность процедур:

```
>> G=rgb2gray(f); % Преобразование оригинального изображения нетканого материала f в полутоновое изображение G
>> Q=imadjust(G); % Изменение контрастности полутонового изображения нетканого материала G
>> H = fspecial('unsharp',1); % Создание фильтра H для коррекции параметров яркости и резкости
>> L = imfilter(Q,H,'replicate'); % Применение фильтра H к изображению Q
>> imshow(L) % Вывод на экран обработанного изображения нетканого материала
```

На рис. 1-а, б и в представлено преобразование оригинального изображения нетканой структуры f (а) в полутоновое изображение с увеличенной контрастностью Q (б) и финальное изображение L после применения фильтра коррекции параметров яркости и резкости (в).

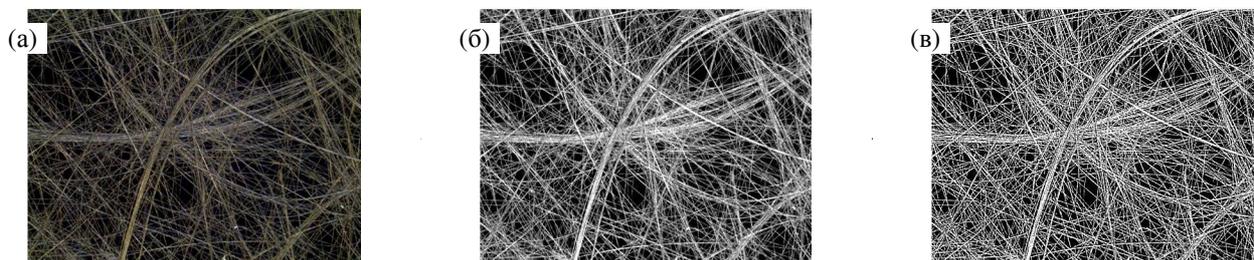


Рис. 1

Таким образом, переходя к анализу [6] углеродных нетканых структур технического назначения, нами проведено исследование трех образцов нетканого материала из углеродных волокон. В процессе производства структура исследуемых нетканых материалов была сформирована аэродинамическим методом. Используя оптический микроскоп высокого разрешения, нами были получены цифровые изображения каждого образца нетканой структуры и для каждого образца сделаны по три изображения из трех различных областей исследуемой нетканой структуры со-

ответственно (рис. 2). Для реализации процедуры анализа параметры полученных изображений были загружены в разработанный нами программный комплекс для определения направленности волокон в нетканых материалах и автоматически обработаны в соответствии с описанным выше алгоритмом. Направленность волокон была определена для каждого изображения, а затем вычислено среднее значение по трем изображениям для каждого образца углеродной нетканой структуры (рис. 3...5-А).

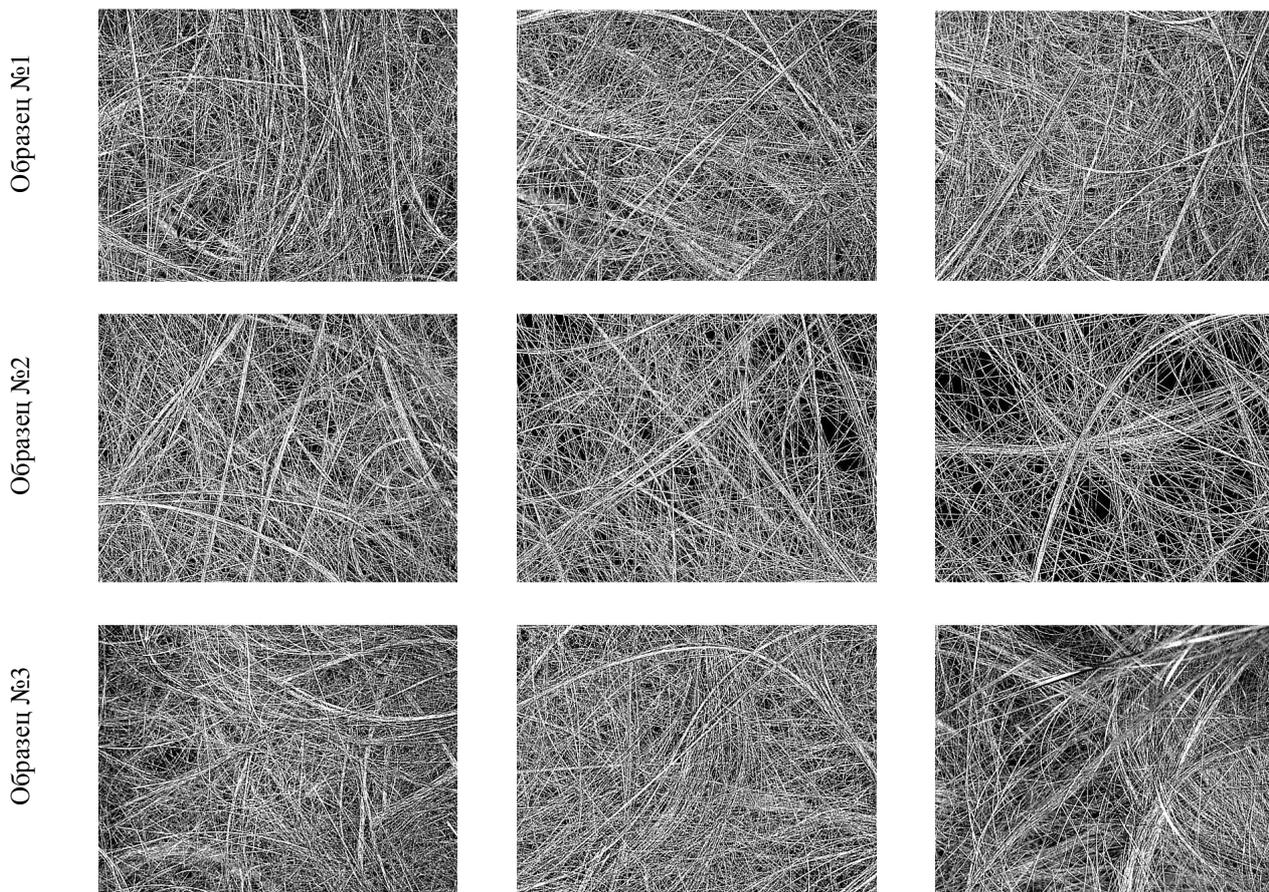


Рис. 2

Как видно из рис. 3...5-А, распределение волокон для образцов №1, 2 и 3 не имеет ярко выраженных вершин, что свидетельствует о равномерном распределении волокон в структуре нетканого материала под углами в диапазоне от 0 до 180°, то есть исследуемые образцы нетканого материала имеют структуру, близкую к изотропной, с одинаковыми физическими свойствами во всех направлениях. А так как изотропная структура нетканого полотна, полученного в результате процесса производства, является главной особенностью ее формирования аэродинамическим методом, результаты анализа исследуемых образцов из углеродных волокон с высокой степенью точности позволяют характеризовать и технологический процесс их производства.

Для определения величины угла μ , являющегося средним значением в направлении волокон для исследуемых образцов

нетканого материала, и величины отклонения от среднего значения σ [1] нами использован пакет Fitting Distribution Toolbox системы MATLAB [5]. Загружая в Fitting Distribution Toolbox данные о направлении волокон, полученные в результате анализа изображений углеродных нетканых структур, нами построены графики их нормального распределения в зависимости от угла (рис. 3...5-Б). Графики описываются следующей функцией, из которой определяются величины μ и σ :

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}. \quad (1)$$

Численные значения результатов анализа реальных образцов углеродных нетканых структур технического назначения приведены в табл.1.

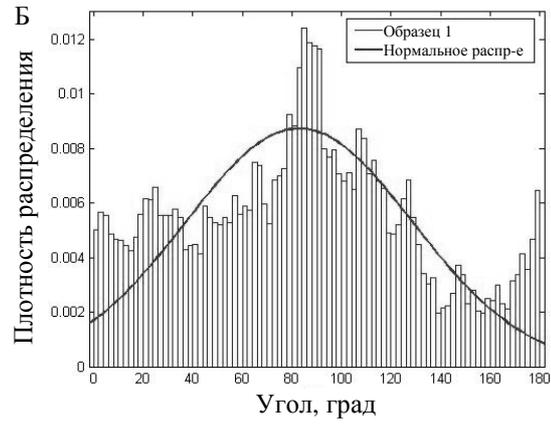
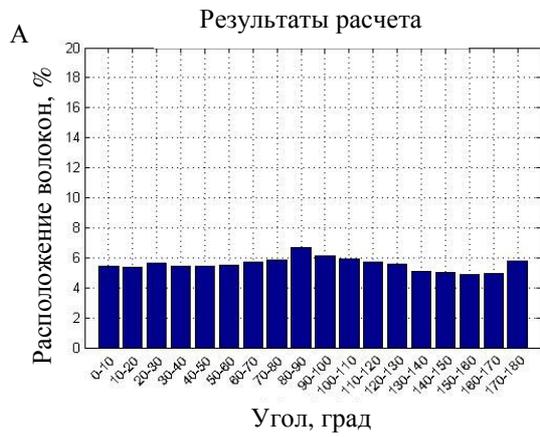


Рис. 3

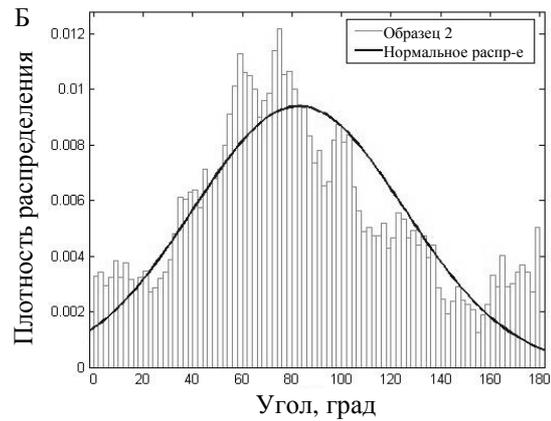
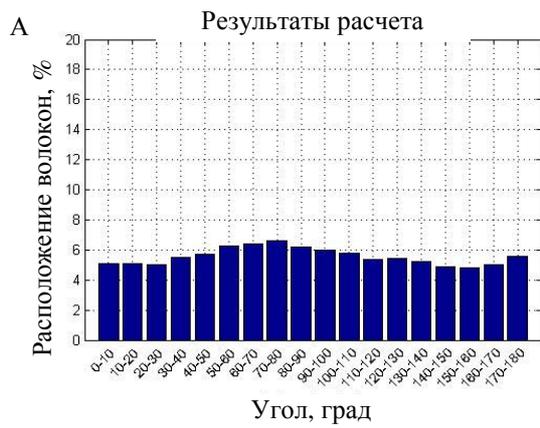


Рис. 4

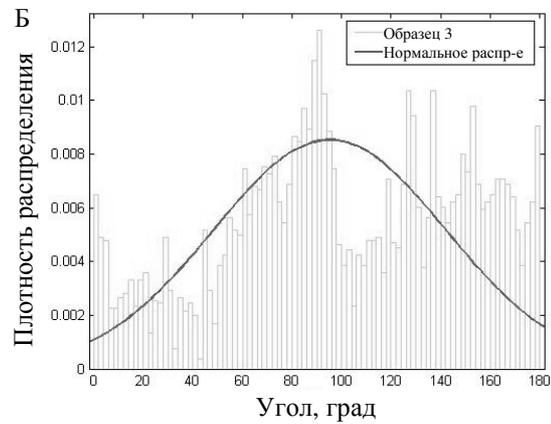
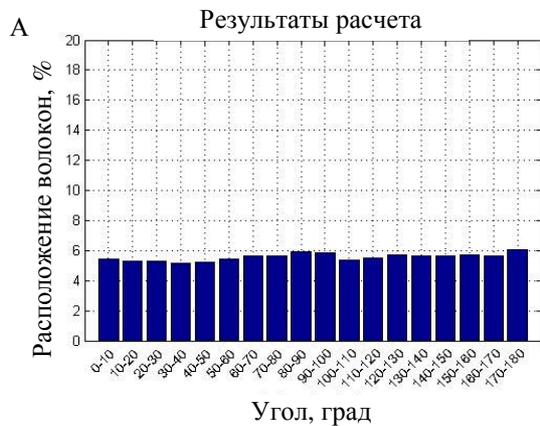


Рис. 5

Таблица 1

Изображение нетканого материала	Направленность волокон		Максимальное значение распределения волокон, %	Минимальное значение распределения волокон, %	Коэффициент анизотропии
	среднее значение, град	отклонение от среднего значения, град			
Образец №1	82,9	45,71	6,65	4,88	1,36
Образец №2	82,81	42,46	6,63	4,78	1,39
Образец №3	95,22	46,75	6,08	5,18	1,17

ВЫВОДЫ

Таким образом, результаты проведенного нами анализа физических образцов углеродных нетканых структур позволяют сделать вывод об эффективности применения разработанного нами программного комплекса для определения направленности волокон в работе с неткаными структурами, а полнота выходных данных дает возможность дальнейшего достоверного прогноза физико-механических свойств мультиаксиальной структуры синтезированной нетканой волокнистой матрицы композиционного материала.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Ершов С.В., Калинин Е.Н., Тидт Т.* Определение направленности волокон в углеродных нетканых структурах средствами преобразования Фурье // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2014, №6. С. 105...110.
2. *Ершов С.В., Калинин Е.Н.* Разработка программного комплекса для анализа направленности волокон в углеродных нетканых структурах // Вестник Череповецкого государственного университета. – Череповец: ЧГУ, 2015, №1. С. 12...17.
3. *Stolyarov O., Kravaev P., Seide G., Gries T.* Influence of Process Parameters on Filament Distribution and Blending Quality in Commingled Yarns Used for Thermoplastic Composites // Journal of Thermoplastic Composite Materials. – 2014, №27 (3). P. 350...363.
4. *Stolyarov O., Kravaev P., Seide G., Gries T.* A method for investigating blending quality of commingled yarns // Textile Research Journal. – 2013, №83 (2). P. 122...129.
5. *Gonzalez R.C., Woods R.E., Eddins S.L.* Digital Image Processing Using MATLAB. – Dorsing Kindersley, 2004.

6. *Королёв П.В., Калинин Е.Н., Шилов М.А.* Визуализация процесса взаимодействия компонентов нанокompозита методами молекулярного моделирования // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2014, №2. С. 148...151.

REFERENCES

1. *Ershov S.V., Kalinin E.N., Tidt T.* Opredelenie napravlenosti volokon v uglerodnyh netkanyh strukturah sredstvami preobrazovanija Fur'e // Izv. vuzov. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti. – 2014, №6. S. 105...110.
2. *Ershov S.V., Kalinin E.N.* Razrabotka programmnoho kompleksa dlja analiza napravlenosti volokon v uglerodnyh netkanyh strukturah // Vestnik Cherepoveckogo gosudarstvennogo universiteta. – Cherepovec: ChGU, 2015, №1. S. 12...17.
3. *Stolyarov O., Kravaev P., Seide G., Gries T.* Influence of Process Parameters on Filament Distribution and Blending Quality in Commingled Yarns Used for Thermoplastic Composites // Journal of Thermoplastic Composite Materials. – 2014, №27 (3). P.350...363.
4. *Stolyarov O., Kravaev P., Seide G., Gries T.* A method for investigating blending quality of commingled yarns // Textile Research Journal. – 2013, №83 (2). P. 122...129.
5. *Gonzalez R.C., Woods R.E., Eddins S.L.* Digital Image Processing Using MATLAB. – Dorsing Kindersley, 2004.
6. *Koroljov, P.V., Kalinin E.N., Shilov M.A.* Vizualizacija processa vzaimodejstvija komponentov nanokompозita metodami molekularnogo modelirovanija // Izv. vuzov. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti. – 2014, №2. S. 148...151.

Рекомендована кафедрой наземных транспортных средств и технологических машин. Поступила 01.06.15.