

УДК 677.076.4

**ВЛИЯНИЕ ПИКСЕЛЬНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ
ЦИФРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ НЕТКАНЫХ СТРУКТУР
НА ТОЧНОСТЬ РЕЗУЛЬТАТОВ ИХ КОМПЬЮТЕРНОГО АНАЛИЗА***

**INFLUENCE OF DIGITAL IMAGES PIXEL CHARACTERISTICS
OF NONWOVEN STRUCTURES
ON THE ACCURACY OF THEIR COMPUTER ANALYSIS RESULTS**

С.В. ЕРШОВ, Е.Н. КАЛИНИН
S.V. ERSHOV, E.N. KALININ

(Ивановский государственный политехнический университет)
(Ivanovo State Polytechnical University)
E-mail: ttp@ivgpu.com

В статье представлены результаты исследования влияния пиксельной характеристики цифровых изображений нетканых структур на точность результатов их компьютерного анализа. Для достижения поставленной цели проведен анализ скорости вычислений по определению направленности волокон в нетканых структурах и исследовано изменение выходных данных при анализе углеродных нетканых структур в разработанном нами программном комплексе в зависимости от разрешения загружаемых изображений. Установлено, что для нетканых структур с невысокой плотностью волокон достаточным с точки зрения точности результатов и быстродействия является разрешение изображений в 1024×768 точек. Для нетканых материалов с высокой плотностью волокон требования к разрешению изображений более высокие, и допустимый размер таких изображений должен быть в пределах от 1536×1152 до 1024×768 точек.

The article presents the results of influence investigation of digital images resolution of nonwoven structures on the accuracy of their computer analysis results. To achieve this goal computing speed analysis to determine fiber orientation in nonwoven structures was carried out and the output data changes in the analysis of carbon nonwoven structures using our developed software system depending on the

* Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства образования и науки Российской Федерации на выполнение проекта по теме «Развитие методов определения направленности волокон в углеродных нетканых структурах» по программе международного научно-образовательного сотрудничества «Михаил Ломоносов» (задание №11.763.2016/DAAD).

resolution of uploaded images were investigated. It is found that for nonwoven structures with low fiber density in terms of results accuracy and performance the adequate image resolution is 1024×768 pixels. For nonwovens with high fiber density the requirements for image resolution are higher and permissible size of the images must be in the range from 1536×1152 to 1024×768 pixels.

Ключевые слова: углеродные нетканые структуры, направленность волокон, метод анализа изображений, разрешение цифровых изображений.

Keywords: nonwoven structures, fiber orientation, image analysis, digital image resolution.

Более высокая пиксельная характеристика (разрешение) изображений волокнистой структуры в цифровой форме обеспечивает более точное представление оригиналов нетканого материала. Однако, переходя к компьютерному анализу изображений нетканых структур с целью определения направленности волокон и прогноза физико-механических свойств материала, становится очевидным, какое важное практическое значение приобретает вопрос эффективного использования вычислительных ресурсов компьютерных систем. При работе с высоким разрешением ресурсоемкость вычислений выше и на их выполнение затрачивается значительное количество машинного времени. Особенного внимания вопрос заслуживает при работе с большими массивами обрабатываемых изображений.

Целью работы является поиск допустимого разрешения цифровых изображений нетканых структур для их компьютерного анализа, что позволит сократить время обработки и обеспечит требуемую точность результатов.

Разработанный нами ранее программный комплекс для определения направленности волокон в нетканых структурах, в котором реализован метод анализа изображений, основанный на преобразовании Фурье, позволил с высокой степенью точности провести анализ волокнистых структур нетканого материала и выполнить достоверный прогноз их физико-механических свойств [1...3]. Цифровые изображения углеродных нетканых структур были получены нами с использованием

оптического микроскопа высокого разрешения и имели формат 2048×1536 точек (пикселей). Такая высокая четкость изображений позволила достоверно определить направленность волокон, коэффициент анизотропии, средний угол и величину отклонения направленности волокон от среднего значения для исследуемых образцов нетканого материала.

В соответствии с целью работы, задаваясь вопросом эффективного использования вычислительной мощности компьютерных систем, нами был проведен анализ зависимости скорости вычислений по определению направленности волокон в нетканых структурах от разрешения загружаемых в программный комплекс изображений. Анализ выполнен для трех компьютерных систем на базе процессоров с одним, двумя и четырьмя ядрами (рис. 1). Численные значения результатов анализа приведены в табл. 1.

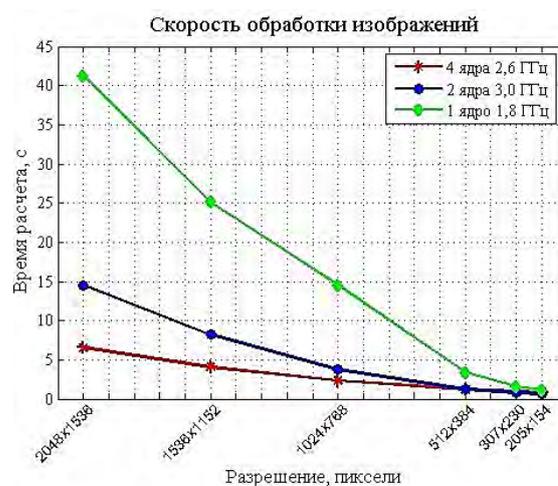


Рис. 1

Количество ядер в процессоре	Разрешение изображения, пиксели					
	2048×1536	1536×1152	1024×768	512×384	307×230	205×154
	Скорость обработки изображений, с					
1 ядро/1,8 ГГц	41,23	25,11	14,53	3,35	1,60	1,06
2 ядра/3,0 ГГц	14,5	8,22	3,76	1,25	0,75	0,64
4 ядра/2,6 ГГц	6,56	4,08	2,31	1,21	0,90	0,82

Из рис. 1 видно, что при работе с изображениями нетканой структуры время расчета значительно сокращается при уменьшении разрешения обрабатываемых изображений для всех трех типов процессоров. При уменьшении разрешения с 2048×1536 до 205×154 пикселей, то есть со 100% до 10%, скорость расчета увеличилась для одного ядра более чем на 4000%, для двух ядер – более чем на 2000%, для четырех ядер – на 800%.

Однако при уменьшении разрешения четкость изображений нетканой структуры ухудшается, и даже возможно искажение визуальных данных, что в большинстве случаев не позволит четко выделить линии волокон в структуре нетканого материала.

Принимая высокую точность результатов анализа изображений углеродных нетканых структур технического назначения, полученных для оригинального разрешения изображений в 2048×1536 точек

[3], за исходную, нами проведено исследование изменения выходных данных при анализе изображений углеродных нетканых структур в разработанном нами программном комплексе в зависимости от разрешения загружаемых в программный комплекс изображений. Для шести разных образцов нетканого материала из углеродных волокон нами определены основные структурные параметры, а именно направленность волокон и коэффициент анизотропии, при этом для анализа каждого образца использованы разрешения изображений, приведенные в табл. 1, которые передают изменение размера в 100% исходного изображения до 75, 50, 25, 15 и 10% соответственно. Результаты расчета направленности волокон в исследуемых образцах для выбранных разрешений приведены на рис. 2...7, численные значения результатов анализа изображений представлены в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

Изображение нетканого материала	Разрешение изображения, пиксели					
	2048x1536	1536x1152	1024x768	512x384	307x230	205x154
	Коэффициент анизотропии/Отклонение от исходного значения					
Образец 1	1,50/0%	1,49/0,53%	1,47/2,03%	1,39/7,36%	1,27/15,44%	1,22/18,32%
Образец 2	1,75/0%	1,73/0,90%	1,71/2,17%	1,56/10,34%	1,43/18,10%	1,18/32,31%
Образец 3	1,75/0%	1,74/0,67%	1,74/0,54%	1,62/7,60%	1,39/20,59%	1,34/23,56%
Образец 4	1,43/0%	1,42/0,55%	1,32/7,62%	1,24/13,04%	1,17/18,16%	1,18/17,29%
Образец 5	2,11/0%	2,09/1,02%	2,08/1,44%	1,86/11,74%	1,57/25,56%	1,48/30,07%
Образец 6	1,78/0%	1,77/0,86%	1,68/5,50%	1,58/11,12%	1,35/23,95%	1,33/25,11%

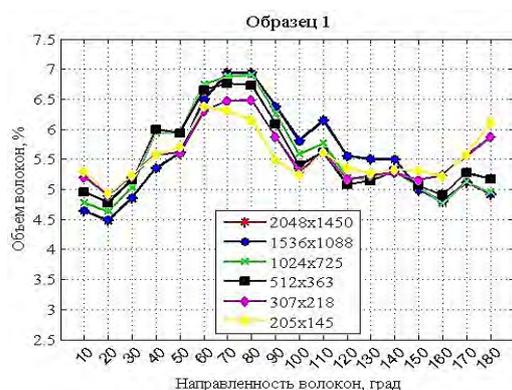


Рис. 2

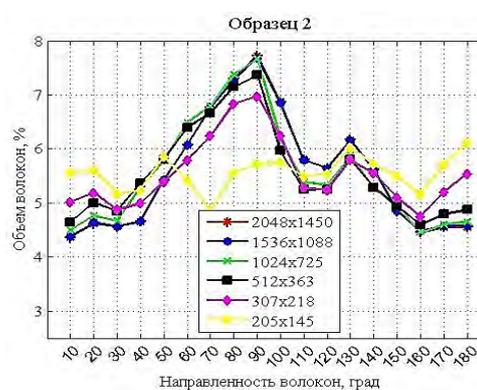


Рис. 3

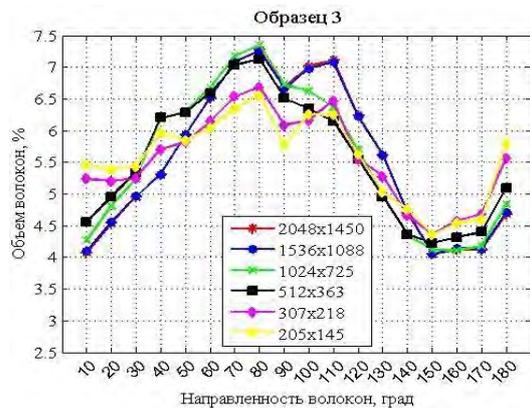


Рис. 4

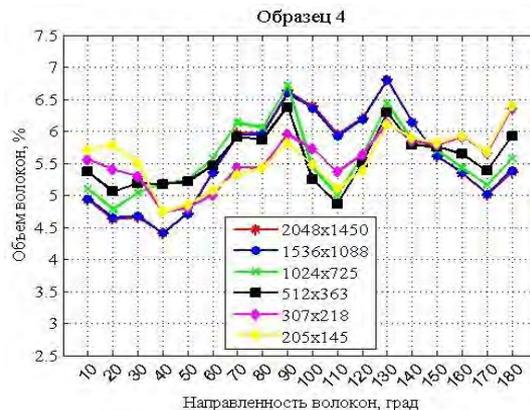


Рис. 5

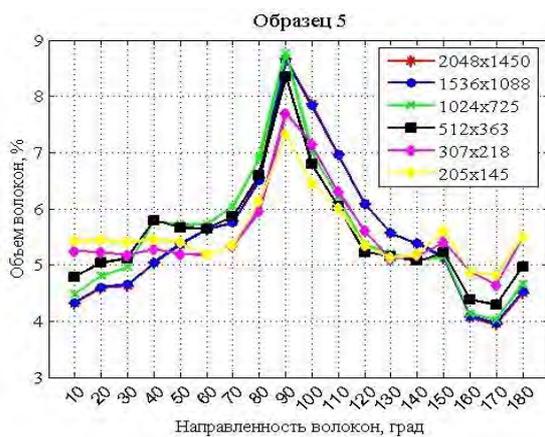


Рис. 6

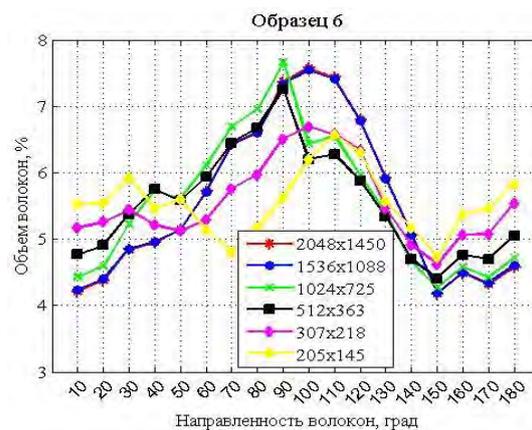


Рис. 7

Результаты проведенного анализа показывают, что размер изображений нетканой структуры оказывает существенное влияние на точность расчетов по определению направленности волокон в нетканом материале, а следовательно, и на достоверность прогноза его физико-механических свойств. Из полученных нами данных, приведенных в табл. 2, следует, что при разрешении, меньшем, чем 1024×768 точек, то есть когда размер изображения меньше 50% от исходного разрешения в 2048×1536 точек, погрешность вычислений составила порядка 10% и ошибка продолжала расти с дальнейшим уменьшением размера изображений нетканой структуры. При изменении разрешения с 2048×1536 точек до 1024×768 точек, то есть со 100% до 50%, среднее значение погрешности по всем шести образцам составило порядка 3%.

Следует отметить, что при анализе образцов 4, 5, 6 нетканого материала, имеющих высокую плотность волокон, для разрешения изображений от 1024×768 точек и менее до 307×230 точек наблюдалось большее отклонение результатов расчета от исходных значений, чем для образцов 1, 2 и 3, имеющих невысокую плотность волокон.

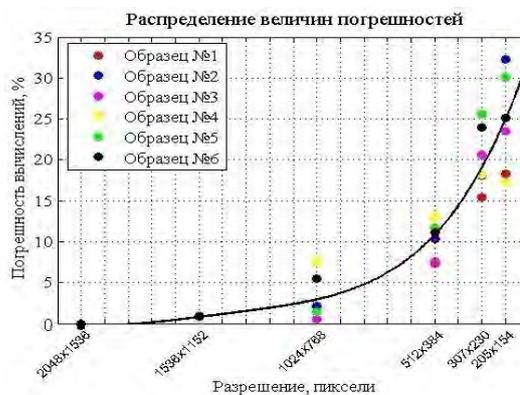


Рис. 8

Такой результат объясняется большим искажением визуальных данных, а именно потерей границ между волокнами, для образцов нетканого материала с высокой плотностью волокон при уменьшении размера изображений.

С целью более наглядного представления динамики изменения погрешности вычислений в зависимости от изменения размера изображений углеродных нетканых структур при определении направленности волокон и коэффициента анизотропии нами построено экспоненциальное распределение величин погрешностей по всем шести образцам нетканого материала для рассматриваемых размеров изображений (рис. 8).

ВЫВОДЫ

1. Результаты проведенного исследования позволяют сделать вывод, что размер изображений нетканых структур оказывает существенное влияние на точность расчетов по определению направленности волокон в нетканом материале, а следовательно, и на достоверность прогноза его физико-механических свойств.

2. Уменьшение размера изображений нетканых структур многократно сокращает время расчета, но при этом ухудшается четкость изображений, и при разрешениях меньше 512×384 точек наблюдается искажение визуальных данных, что в большинстве случаев не позволяет четко выделить линии волокон в структуре нетканого материала.

3. Из расчета отклонений выходных данных от исходных значений, соответствующих результатам расчета для разрешения 2048×1536 точек, установлено, что для нетканых структур с невысокой плотностью волокон достаточным с точки

зрения точности результатов и быстродействия является разрешение изображений в 1024×768 точек. Для нетканых материалов с высокой плотностью волокон требования к разрешению изображений более высокие, и допустимый размер таких изображений должен быть в пределах от 1536×1152 до 1024×768 точек.

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. *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.

REFERENCES

1. Ershov S.V., Kalinin E.N., Tidt T. Opredelenie napravlenosti volokon v ugleodnyh 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 ugleodnyh netkanyh strukturah // Vestnik Cherepoveckogo gosudarstvennogo universiteta. – Cherepovec: ChGU, 2015, №1. S. 12...17.
3. Ershov S.V., Kalinin E.N., Tidt T. Analiz napravlenosti ugleodnyh volokon v real'nyh netkanyh strukturah tehničeskogo naznachenija // Izv. vuzov. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti. – 2015, №6. S.189...193.

Рекомендована кафедрой наземных транспортных средств и технологических машин. Поступила 21.10.16.