

УДК 004.932.2

**РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ  
ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ НАПРАВЛЕННОСТИ ВОЛОКОН  
В ПЛЕТЕННЫХ СТРУКТУРАХ**

**DEVELOPMENT OF A COMPUTER VISION SYSTEM  
FOR MEASURING THE FIBER ORIENTATION  
IN BRAIDED STRUCTURES**

*С.В. ЕРШОВ, В. РЕЙМЕР, Е.Н. КАЛИНИН, Т. ГРИС*

*S.V. ERSHOV, V. REIMER, E.N. KALININ, T. GRIES*

(Ивановский государственный политехнический университет, Россия,  
Институт текстильной техники Технического университета, г. Ахен, Германия)

(Ivanovo State Polytechnical University, Russia,  
Institut für Textiltechnik of RWTH Aachen University, Germany)

E-mail: ershovsv.iv@yandex.ru; viktor.reimer@ita.rwth-aachen.de

*Авторами разработана система компьютерного зрения для измерения направленности волокон в плетеных структурах, которая напрямую взаимодействует с устройством захвата изображений и может применяться непосредственно в процессе производства плетеных преформ. Система испытана на трех образцах плетеных преформ, изготовленных с разным углом плетения, для которых средствами разработанной системы определен угол плетения с точностью до 0,5°. Разработана схема реализации системы компьютерного зрения в производственном процессе плетеных преформ.*

*The authors developed a computer vision system for measurement of fiber orientation in braided structures, which directly interacts with an image capture device and can be applied in the manufacturing process of braided preforms. The system was tested on three samples of braided preforms made with different braid angle, for which the braid angle was determined using the developed system with an accuracy of 0,5°. An implementation scheme of the computer vision system into the production process of braided preforms was developed.*

**Ключевые слова:** плетеные структуры, угол плетения, компьютерное зрение, преобразование Фурье.

**Keywords:** braided structures, braid angle, computer vision, Fourier transform.

Главным структурным параметром плетеных преформ, определяющим физико-механические свойства композита, является направленность волокон, которая характеризуется величиной угла плетения [1]. Угол плетения определяет направление укладки нити относительно продольной оси оправки (рис. 1) и зависит от таких параметров процесса плетения, как скорость перемещения оправки и скорость намотки нитей (рис. 2). Настройка этих параметров позволяет получить необходимый угол плетения в преформе, однако для этого требуется точное измерение и контроль его величины в процессе формирования преформы.

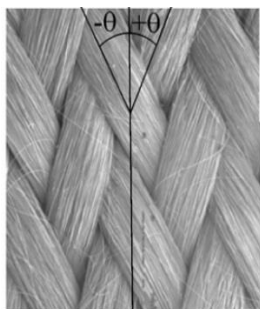


Рис. 1

В настоящее время оценка направленности волокон в плетеных структурах выполняется вручную человеком с использованием стандартного измерительного инструмента, например, угломера или шаблона с измерительной шкалой, но такой метод измерения, как известно, подвержен неизбежным ошибкам в диапазоне от  $\pm 1^\circ$  до  $\pm 2^\circ$  и не применим непосредственно в процессе производства [2]. Целью нашей работы является разработка автоматизированной системы для определения угла плетения на основе принципов компьютерного зрения, которая позволит устранить эти недостатки. Такая система даст возможность автоматически, без участия человека, выполнять измерение направленности волокон в плетеных структурах и в перспективе позволит контролировать величину угла плетения непосредственно в процессе формирования преформы.

Для достижения поставленной цели нами использован метод анализа изображений, в основе которого лежит математичес-

кий аппарат преобразования Фурье. Преобразование Фурье позволяет выполнить разложение цифрового изображения плетеной структуры по спектру, то есть перевести изображение в область частот и представить его в виде периодической функции. В спектре изображения, получаемом после преобразования Фурье, низкочастотные компоненты характеризуют области, в которых яркость изображения практически не изменяется, а высокочастотные компоненты образа волокнистой структуры, наоборот, определяют ее интенсивное изменение, и в случае анализа изображений плетеных волокнистых структур волокна будут преимущественно расположены в направлении, перпендикулярном направлению максимального значения интенсивности спектра, что позволяет определить значение угла плетения. Возможности применения данного метода для анализа плетеных структур были подробно изучены в работах [3], [4], которые показали эффективность его использования и высокую точность результатов измерения направленности волокон в плетеных структурах. Угол плетения в работах с использованием этого метода был измерен с точностью до  $0,5^\circ$ , однако функционирующей в режиме реального времени и удовлетворяющей производственным скоростям системы компьютерного зрения разработано не было.

В настоящей работе компьютерная система для измерения угла плетения, непосредственно взаимодействующая с устройством захвата изображений (цифровой видеокамерой), была создана. Сформированный нами алгоритм вычисления преобразования Фурье, который ранее уже был использован для определения направленности волокон в нетканых структурах [5], [6], и его программная реализация в Matlab позволили автоматизировать процедуру взаимодействия программного и аппаратного обеспечения, что дало возможность применить созданную систему компьютерного зрения непосредственно в процессе производства плетеных преформ. Схема внедрения в производственный процесс разработанной системы компьютерного зрения для измерения угла плетения представлена на рис. 2.

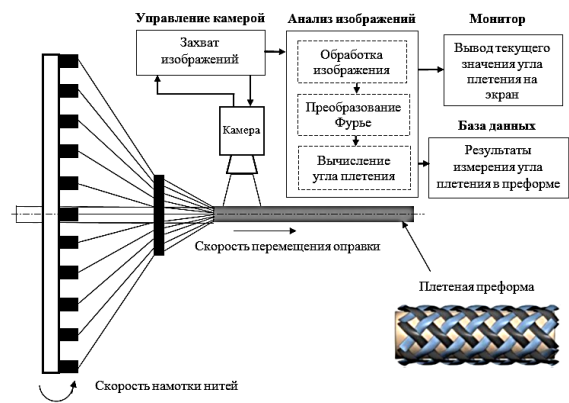


Рис. 2

Система работает следующим образом: камера с заданной частотой в зависимости от скорости формирования преформы, например, каждую секунду, выполняет захват изображения плетеной структуры, которое загружается в программный комплекс и обрабатывается в соответствии с разработанным нами алгоритмом. На экран монитора выводится текущее значение угла плетения, а численные результаты измерения автоматически сохраняются в электронной базе данных на компьютере, которая хранит информацию о каждом выполненном измерении угла плетения для всей преформы.

Последовательность операций разработанного нами алгоритма обработки и анализа изображений плетеной структуры представлена на рис. 3. Текущее изображение плетеной структуры, полученное с цифровой камеры (рис. 3-а), передается в программный комплекс, где предварительно обрабатывается с использованием метода Собеля [7] для идентификации контуров

нитей и волокон в плетеной структуре (рис. 3-б). В результате волокна, образующие плетеную структуру, представляются как светлые линии на темном фоне, что радикально уменьшает количество избыточной информации, которую приходится анализировать, устраняет шумы в изображении и в итоге позволяет выполнить более точное измерение направленности волокон в плетеной волокнистой структуре. На следующем этапе алгоритма для обработанного изображения вычисляется преобразование Фурье и формируется его частотный спектр (рис. 3-в). Распределение значений интенсивности полученного для изображений плетеной структуры спектра представляется нами в виде графика, который имеет два ярко выраженных пика (рис. 3-г). Угол, которому соответствует каждый пик интенсивности, определяет угол укладки нити  $\mu$ , зная который, можно определить угол плетения  $\Theta$  по следующей формуле [4]:

$$\theta = \frac{|(\mu_1 + 90) - (\mu_2 - 90)|}{2}. \quad (1)$$

Результат вычисления текущего значения угла плетения  $\Theta$  сохраняется в электронном файле и выводится на экран монитора, как показано на рис. 3-д. Цифровая шкала и линии укладки нитей, которые добавляются к изображению при выводе на экран, позволяют визуально оценить их направленность и текущее значение угла плетения для каждого измерения в режиме реального времени.

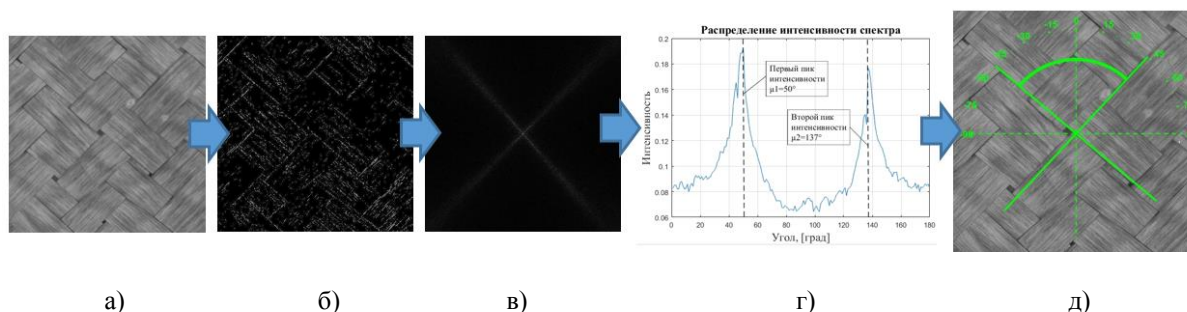


Рис. 3

На практике разработанная система компьютерного зрения для измерения направ-

ленности волокон в плетеных структурах была апробирована на трех образцах

плетеных преформ, изготовленных с разным углом плетения. При формировании образцов технологические параметры оборудования (машина радиального плетения RF 1/64-120, HerzogGmbH) настраивались таким образом, чтобы значения угла плетения были равны 30, 45 и 60° для каждого образца соответственно, а измерение угла плетения выполнялось с использованием разработанной нами системы компьютерного зрения.

Рис. 4 демонстрирует выводимые на экран текущие значения угла плетения для

каждого образца, а в таб. 1 приводятся численные значения результатов измерения для представленных на рис. 4 изображений плетеной структуры. Полученные значения показывают небольшое отклонение в 0,5...1,5° от расчетного значения угла плетения, что объясняется наличием контактного трения между нитями в процессе плетения, которое не было учтено при настройке оборудования, и являются, как было сказано выше, достоверными с точностью до 0,5° [3].

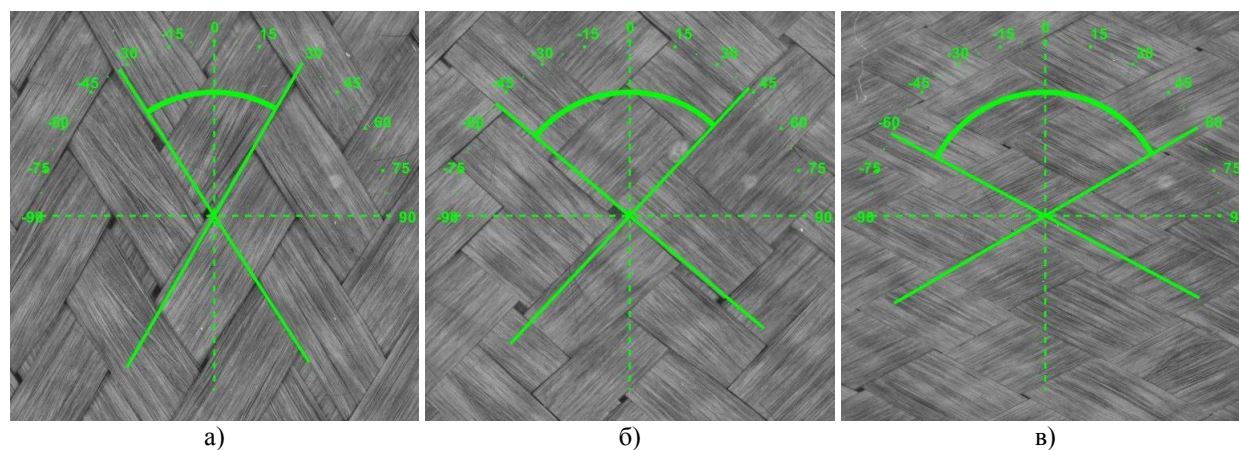


Рис. 4

Т а б л и ц а 1

Образец плетеной структуры	Угол укладки нити, $\mu 1$ , град	Угол укладки нити, $\mu 2$ , град	Угол плетения, $\theta$ , град
Рис. 4(а)	33	30	31,5
Рис. 4(б)	50	41	45,5
Рис. 4(в)	62	60	61

Таким образом, достоверность результатов проведенного нами анализа изображений плетеных структур и точность полученных значений углов плетения для исследуемых образцов позволяют сделать вывод об эффективности использования разработанной нами системы компьютерного зрения для измерения направленности волокон в плетеных структурах в процессе их производства. Система позволяет вычислить угол плетения с точностью до 0,5°, а реализованная в системе форма представления результатов измерения направленности волокон дает возможность выполнять как визуальный контроль угла плетения непосредственно по цифровой шкале на са-

мом изображении, так и получать численные значения результатов анализа, которые могут быть использованы для прогнозирования физико-механических свойств плетеных структур и контроля их качества в процессе формирования.

## В Ы В О Д Ы

Разработана система компьютерного зрения для измерения направленности волокон в плетеных структурах, которая может быть использована непосредственно в процессе производства плетеных преформ. Математический аппарат преобразования Фурье, положенный в основу разработанной сис-

темы, позволил выполнить анализ изображений волокнистой структуры плетеных преформ и определить угол плетения с точностью до  $0,5^\circ$ .

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. *Kyosev Y.* Advances in Braiding Technology / Woodhead Publishing. – 2016.

2. *Hunt A.J., Carey J.P.* Geometry measurement of tubular braided composite materials for real-time applications // CANCOM 2015 - Canadian International Conference on Composite Materials. – 2015.

3. *Lian B., Jiang L., McGrath J.J., Jaranson J.* Quantitative determination of morphological features of triaxially braided composites by the use of machine vision // Composites Science and Technology. – 2000, Vol. 60. P. 159...166.

4. *Zhenkai W., Jialu L.* Braided angle measurement technique for three-dimensional braided composite material preform using mathematical morphology and image texture // AUTEX Research Journal. – 2006, Vol.6(1), P. 30...39.

5. *Ершов С.В., Калинин Е.Н.* Разработка программного комплекса для анализа направленности волокон в углеродных нетканых структурах // Вестник Череповецкого гос. ун-та. – 2015, №1. С. 12...17.

6. *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.

7. *Gonzales R.C., Richard R.E.* Digital Image Processing / Pearson Education. – 2012.

#### REFERENCES

1. *Kyosev Y.* Advances in Braiding Technology / Woodhead Publishing. – 2016.

2. *Hunt A.J., Carey J.P.* Geometry measurement of tubular braided composite materials for real-time applications // CANCOM 2015 - Canadian International Conference on Composite Materials. – 2015.

3. *Lian B., Jiang L., McGrath J.J., Jaranson J.* Quantitative determination of morphological features of triaxially braided composites by the use of machine vision // Composites Science and Technology. – 2000, Vol. 60. P. 159...166.

4. *Zhenkai W., Jialu L.* Braided angle measurement technique for three-dimensional braided composite material preform using mathematical morphology and image texture // AUTEX Research Journal. – 2006, Vol.6(1), P. 30...39.

5. *Ershov S.V., Kalinin E.N.* Razrabotka programnogo kompleksa dlya analiza napravlenosti volokon v uglerodnykh netkanykh strukturakh // Vestnik Cherepovetskogo gos. un-ta. – 2015, №1. S. 12...17.

6. *Ershov S.V., Kalinin E.N., Tidt T.* Analiz napravlenosti uglerodnykh volokon v real'nykh netkanykh strukturakh tekhnicheskogo naznacheniya // Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. – 2015, №6, S. 189...193.

7. *Gonzales R.C., Richard R.E.* Digital Image Processing / Pearson Education. – 2012.

Рекомендована кафедрой технической кибернетики и радиоэлектроники ИВГПУ. Поступила 09.04.19.