

А.Г. Деревянченко, д-р техн. наук, О.Ю. Бабилунга, канд. техн. наук,  
А.О. Соценко, Р.Г. Долищинский, Одесса, Украина

## **ПОДХОД К РАСПОЗНАВАНИЮ СОСТОЯНИЙ ПОВЕРХНОСТЕЙ РЕЖУЩЕЙ ЧАСТИ ИНСТРУМЕНТОВ С УЧЕТОМ РЕЗУЛЬТАТОВ АНАЛИЗА ИХ ТЕКСТУР**

*Підхід до розпізнавання станів поверхонь різальної частини інструментів з урахуванням результатів аналізу їх текстур. Викладений підхід до розпізнавання текстур зон зносу і поломок різальної частини інструментів. Програмно реалізована система розпізнавання текстур зображень зон зносу і сколу різучої частини на основі їх статистичного аналізу. Комп'ютерне моделювання роботи системи підтвердило перспективність застосування даного підходу для розпізнавання різних класів текстур поверхонь інструментів.*

*Подход к распознаванию состояний поверхностей режущей части инструментов с учетом результатов анализа их текстур. Изложен подход к распознаванию текстур зон износа и поломок режущей части инструментов. Программно реализована система распознавания текстур изображений зон износа и скола режущей части на основе их статистического анализа. Компьютерное моделирование работы системы подтвердило перспективность применения данного подхода для распознавания различных классов текстур поверхностей инструментов.*

**DEREVJANCHENKO A.G., BABILUNGA O.JU., SOCENKO A.O., DOLIWINSKIJ R.G.  
AN APPROACH OF SURFACES STATES OF CUTTING PART RECOGNITION TAKING IN  
ACCORDANCE WITH THE RESULTS OF TEXTURES ANALYSIS.**

*An approach of texture recognition of cutting tools wear and breakages of cutting part is discussed. The system of texture recognition of wear and breakages areas of cutting part is programmatic realized on the basis of their statistical analysis. Computer design of the system work confirmed perspective of application of this approach for recognition of different classes of cutting tools surfaces textures.*

В современном станкостроении одним из приоритетных направлений является разработка систем контроля и диагностирования состояния режущих инструментов (РИ). Известно, что надежность режущей части (РЧ) РИ во многом определяет работоспособность станка и качество обработки детали. Реализация систем диагностирования состояния РИ, работающих с визуальной информацией (последовательностями цифровых изображений зон износа), требует использования современных интеллектуальных методов и технологий, в том числе методов обработки и распознавания изображений. *Анализ предыдущих исследований* [1, 2] показал перспективность распознавания классов текстур изношенных поверхностей РИ, в частности – с использованием оценок энергетических спектров Фурье участков изображений [2]. Однако при решении комплекса задач, связанных с восстановлением РИ после внезапного отказа (разрушения) РЧ, возникает необходимость предварительного количественного и качественного анализа поверхностей сколов, представляющих собой самостоятельный класс текстур. Его причисление к перечню классов текстур изношенных поверхностей [2] формирует новые граничные условия для комплексного решения задачи распознавания состояний поверх-

ностей РЧ, требующие использования нового подхода к вычислению соответствующих признаков.

*Целью настоящей статьи является исследование статистического подхода к описанию текстур поверхностей РЧ в системах диагностирования состояния РИ, проведение компьютерного моделирования процесса распознавания текстурных изображений для оценки достоверности распознавания классов износа режущей части инструмента.*

Изображение РЧ, формируемые с использованием системы технического зрения (рис. 1), имеют сложную структуру, определяемую двумя составляющими: 1. многообразием форм зон износа и поломок РЧ; 2. особенностями внутренней структуры, в состав которой входят проточки, следы концентрированного износа, повреждения целостности покрытия, фрагменты поверхности скола и другие дефекты. Своевременное выявление этих элементов в структуре РЧ РИ обеспечивает идентификацию модели отказа РИ уже в начальный период работы.

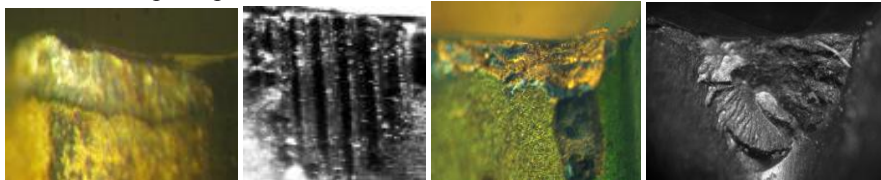


Рисунок 1 – Примеры изображений зон задних поверхностей резцов в различных состояниях (с различной текстурой)

*Рассмотрим основные результаты исследований.* Для дальнейшего анализа были сформированы обучающие выборки четырех классов текстурных изображений (рис. 2): 1. равномерный износ; 2. износ со следами нарушения целостности покрытия на поверхностях РЧ; 3. следы концентрированного износа; 4. скол РЧ.

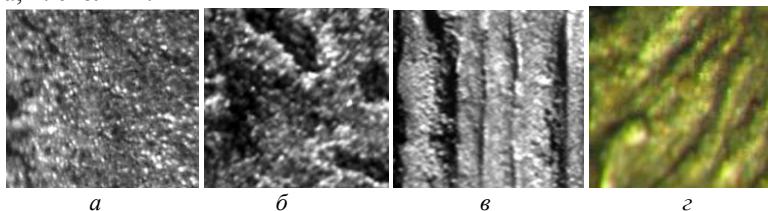


Рисунок 2 – Примеры фрагментов изображений зон износа и поломок задних поверхностей резцов, относящихся к различным классам текстур:

а – равномерный износ; б – износ со следами нарушения целостности покрытия РЧ; в – следы концентрированного износа; г – следы скола РЧ

Формирование описания текстур относится к основным задачам, решаемым при проведении сегментации и распознавания изображений в системах контроля и диагностики состояния режущего инструмента. Известно три основных подхода к описанию текстур [3]: структурный, спектральный и стати-

стический. Однако, при обработке реальных изображений, состоящих из сложной совокупности текстур, не всегда возможно априорно подобрать структурные элементы и вычислить текстурные признаки, которые бы полностью описывали данную текстуру в рамках структурного подхода. Кроме того, изображения реальных текстур не имеют, как правило, четко определенных частотных характеристик, по которым можно было бы построить их описание в спектральном пространстве, а в дальнейшем – провести классификацию текстур без применения дополнительных методов. Поэтому представляется перспективным применение статистического подхода к описанию текстур зон износа режущих инструментов, который позволяет учесть случайный характер распределения интенсивности в текстурном изображении.

Простейшим методом, реализуемым в рамках статистического подхода к описанию текстур, является метод, основанный на вычислении гистограмм интенсивности [4]. Однако, текстурные характеристики, которые вычисляются только на их основе, страдают определенной ограниченностью, поскольку не несут никакой информации о взаимном расположении элементов изображения. Поэтому в данной работе основное внимание уделено методам, учитывающим не только распределение интенсивности, но и местонахождение точек с равными или близкими ее значениями.

Матрица смежности [5] представляет собой пространственное распределение интенсивности на изображении и позволяет охарактеризовать пространственные зависимости внутри совокупности значений интенсивности текстурного изображения. Сделать это можно инвариантно к монотонным преобразованиям интенсивности. На практике используются не сами матрицы, а признаки, вычисленные по ним [6].

Построение матрицы смежности (МС) (рис. 3) требует задания оператора позиционирования  $D: \{\theta, d\}$ , где  $\theta$  определяет позицию пикселя с заданной интенсивностью относительно текущего, а  $d$  – расстояние между пикселями  $i$  и  $j$  изображения.



Рисунок 3 – Структура системы распознавания текстур зон износа цифровых изображений РЧ

Тогда  $A$  – матрица размером  $N \times N$ , состоящая из элементов  $a_{ij}$ , каждый из которых показывает, сколько раз элемент с интенсивностью  $f_i$  встретился на определенной оператором  $D$  позиции относительно элемента с интенсивностью  $f_j$ , где  $1 \leq i, j \leq N$ . Порядок матрицы  $A$  определяется количеством различных градаций интенсивности во входном изображении.

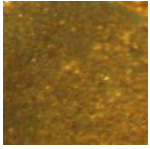
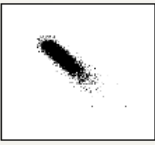
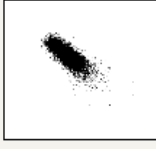
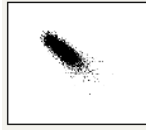

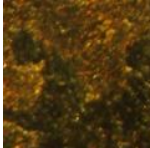
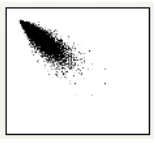
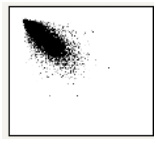
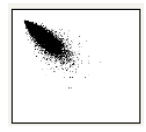
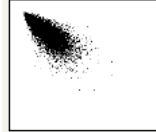
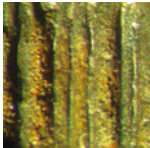
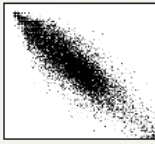

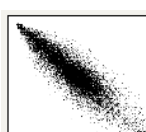
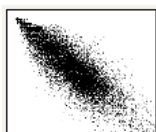
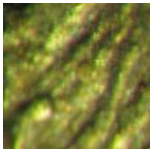
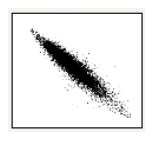
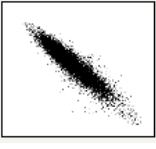
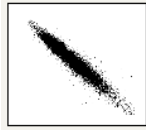
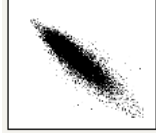
Пусть  $\tilde{r}$  – число пар элементов изображения РЧ, которые удовлетворяют требованиям оператора  $D$  (сумма всех элементов матрицы  $A$ ). Если построить матрицу  $P$  путем деления всех элементов  $A$  на  $\tilde{r}$ , то  $p_{ij}$  будет оценкой вероятности того события, что пара точек со взаимным расположением согласно правилу  $D$  будет иметь значения  $(f_i, f_j)$ . Такая матрица  $P$  является матрицей смежности интенсивности. Поскольку она зависит от  $D$ , присутствующие в изображении участки с заданной текстурой можно обнаружить, выбирая соответствующий оператор позиционирования.

Согласно приведенной реализации статистического подхода к описанию текстурных изображений, для каждого класса текстур РЧ построены матрицы смежности (табл. 1).

С использованием материалов работы [6] определен набор основных признаков, вычисляемых по матрице смежности и используемых для описания текстурных изображений. В предыдущей работе авторов [2] осуществлялся отбор информативных признаков на основе распределения значений признаков по классам текстурных изображений РЧ. Методом полного перебора [3] были проанализированы различные комбинации при формировании вектора признаков текстурных изображений РЧ РИ. В результате для проведения распознавания изображений заданных видов текстур выбрано пространство трех признаков – второй угловой момент; контраст; обратный момент разности. Установлено, что распределение значений признаков в этой комбинации соответствует гипотезе компактности и является рациональным, поскольку обеспечивает наибольший процент правильного распознавания.

При классификации изображений сходство или различие между векторами признаков устанавливается в зависимости от выбранной метрики расстояния между ними. Однако, в случае существенного пересечения классов в  $n$ -мерном пространстве, которое имеет место при обработке реальных изображений, необходимо использовать более мощные классификаторы. В данной работе для построения классификатора использована вероятностная нейронная сеть PNN (Probabilistic Neural Networks) [7].

Таблица 1 – Примеры матриц смежности для каждого класса текстур фрагментов изображений РЧ РИ.

Класс текстуры и ее изображение	Значения параметров матрицы смежности			
	$(d=1, \theta=0)$	$(d=1, \theta=45)$	$(d=1, \theta=90)$	$(d=1, \theta=135)$
	Матрицы смежности фрагмента изображения текстурной зоны поверхностей РЧ			
1 				
2 				
3 				
4 				

Программная реализация системы распознавания текстурных изображений зон износа РЧ РИ выполнена в среде программирования Microsoft Visual Studio C#. Разработан удобный интерфейс системы распознавания, который позволяет производить обработку и распознавание изображений с различным набором функциональных возможностей и поэтапным отражением результатов работы системы на экране монитора (рис. 4).

Разработанный программный комплекс позволяет загрузить изображение режущей части инструмента, которое представлено в формате \*.jpg. Изображение РЧ отображается в главном окне программы. Если оно имеет большой размер, то в программе есть возможность уменьшения размеров для ото-

бражения на экране монитора. Для дальнейшей обработки изображение РЧ преобразуется в полутоновое.

Разработанная система может работать:

- в ручном режиме, что позволяет выбрать фрагмент изображения РЧ скользящим окном заданного размера (64, 128, 256, 512 пикселей) и просмотреть все этапы обработки изображения и получения результатов;

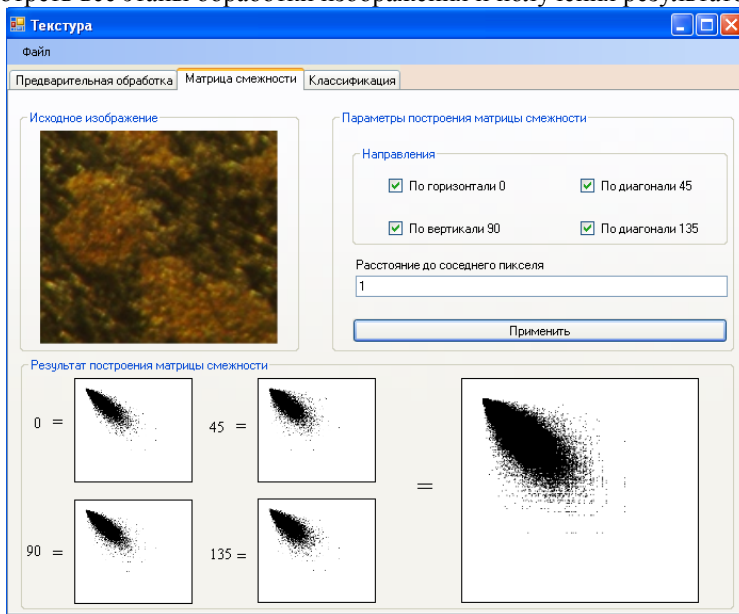


Рисунок 4 – Интерфейс системы распознавания изображений зон износа РЧ РИ

- в автоматическом режиме, что выдает результат распознавания в форме сообщения.

Для улучшения качества изображений РЧ реализованы процедуры их предварительной обработки: корректировка интенсивности, контрастности, проведение медианной фильтрации, обработка с помощью масок и проч.

Для определения процента правильного распознавания (ППР) текстурных изображений фрагментов зон износа и поломок РЧ РИ было проведено компьютерное моделирование процесса распознавания. Условия эксперимента:

- сформировано четыре класса изображений: равномерный износ, износ с нарушением целостности покрытия, следы концентрированного износа, следы скола РЧ;

- изображения разделены на две выборки: обучающую и тестовую (по 20 изображений каждого класса);

- для вычисления вектора информативных признаков формировалась матрица смежности изображения, построенная со следующими параметрами

оператора позиционирования  $D: \{\theta, d\}$ :  $d = (1, 2, 3, 4, 5, 6)$  и  $\theta = (00, 450, 900, 1350)$ ;

Результаты тестирования на контрольной выборке текстурных изображений зон износа и сколов РЧ приведены в табл. 2.

Таблица 2 – Процент правильного распознавания классов текстур фрагментов изображений РЧ РИ по матрице смежности

№	Класс состояния РЧ	Значения параметра матрицы смежности					
		$d=1$	$d=2$	$d=3$	$d=4$	$d=5$	$d=6$
		Процент правильного распознавания класса текстуры участка поверхности РЧ					
1	Равномерный износ	100	100	100	95	60	60
2	Множественные следы разрушения покрытия	65	80	100	95	75	60
3	Концентрированный износ	100	100	100	100	100	95
4	Скол РЧ	70	65	95	95	95	80
		Среднее значение ППР					
		83	87	98	96	82	73

Зависимость ППР от выбранной расстояния между пикселями изображения (при вычислении матрицы смежности) приведена на рис. 5.

Как видно, наибольший процент правильного распознавания достигается при расстоянии между пикселями, равном трем.

*Выводы.* В результате проведенного анализа изображений зон износа и сколов РИ установлено, что они характеризуются многообразием форм и сложностью внутренней структуры, которая проявляется в случайном распределении значений интенсивности цифрового изображения. Рассмотрены основные этапы процесса распознавания текстурных изображений указанных зон: предварительная обработка, формирование вектора информативных признаков, классификация. Для формирования описания текстурных изображений РЧ в работе предложено использовать статистический подход, основанный на построении матрицы смежности интенсивности изображения. Разработана система распознавания текстурных изображений РЧ в среде программирования Microsoft Visual Studio C#.

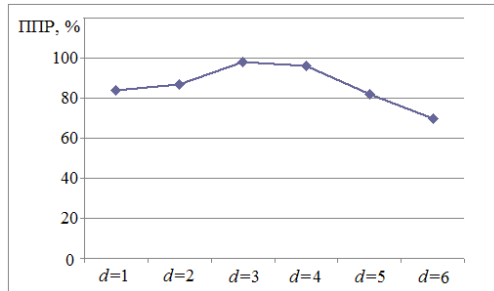


Рисунок 5 – Зависимость процента правильного распознавания класса состояния РИ от выбора параметра  $d$  при построении матрицы смежности

Проведено компьютерное моделирование процесса распознавания изображений зон износа РЧ с целью определения параметров построения матрицы смежности и формирования вектора информативных признаков (второго углового момента; контраста; обратного момента разницы), обеспечивающих процент правильного распознавания на контрольной выборке изображений РЧ на уровне 95 - 98%. Полученные результаты свидетельствуют о перспективности использования изложенного подхода для повышения качества распознавания состояний поверхностей РЧ в различных состояниях инструментов.

**Список использованных источников:** 1. Дерев'янченко О.Г. Діагностування станів різальних інструментів при прецизійній обробці/ О.Г. Дерев'янченко, В.Д. Павленко, А.В. Андрєєв. – Одеса: Астропрінт, 1999. – 184 с. 2. Дерев'янченко А.Г. Распознавание текстур зон износа режущих инструментов на основе анализа энергетических спектров Фурье их изображений /А.Г. Дерев'янченко, О.Ю. Бабилунга, А.О. Соценко, Р.Г. Долишинский// Сучасні технології в машинобудуванні: Збірник наук. праць. Вип. 5 – Харків: НТУ «ХПБ», 2010, С. 250 – 257. 3. Pratt W.K. Digital image processing / W.K. Pratt. – USA: John Wiley & Sons, 2001. – 750 p. 4. Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс. – М.: Техносфера, 2005. – 1072 с. 5. Haralick R.M. Statistical and Structural Approaches to Texture / R.M. Haralick // Proceeding of the IEEE. – 1979. – Vol. 67. – P. 786-804. 6. Gotlieb C. Texture descriptors based on Co-occurrence Matrices / C.Gotlieb, H.Kreyszig //Comput. Vision Graphics Image Processing – 1990. –V. 51. – №1.– P. 70. 7. Каллан Р. Основные концепции нейронных сетей / Р. Каллан // – М.: Изд. дом “Вильямс”, 2001.– 291 с.

*Поступила в редколлегию 25.06.2011*

**Bibliography (transliterated):** 1. Derevjanchenko O.G. Diagnostuvannya staniv rızal'nih instrumentiv pri precizijnij obrobci/ O.G. Derevjanchenko, V.D. Pavlenko, A.V. Andreev. – Odesa: Astroprint, 1999. – 184 s. 2. Derevjanchenko A.G. Raspoznavanie tekstur zon iznosa rezhuwih instrumentov na osnove analiza jenergeticheskikh spektrov Fur'e ih izobrazhenij /A.G. Derevjanchenko, O.Ju. Babilunga, A.O. Socenko, R.G. Doliwinskiy// Suchasni tehnologii v mashinobuduvanni: Zbirnik nauk. prac'. Vip. 5 – Harkiv: NTU «HPB», 2010, S. 250 – 257. 3. Pratt W.K. Digital image processing / W.K. Pratt. – USA: John Wiley & Sons, 2001. – 750 p. 4. Gonsales R. Cifrovaja obrabotka izobrazhenij / R. Gonsales, R. Vuds. – M.: Tehnosfera, 2005. – 1072 s. 5. Haralick R.M. Statistical and Structural Approaches to Texture / R.M. Haralick // Proceeding of the IEEE. – 1979. – Vol. 67. – P. 786-804. 6. Gotlieb C. Texture descriptors based on Co-occurrence Matrices / C.Gotlieb, H.Kreyszig //Comput. Vision Graphics Image Processing – 1990. –V. 51. – №1.– P. 70. 7. Kallan R. Osnovnye koncepcii nejronnih setej / R. Kallan // M.: Izd. dom “Vil'jams”, 2001. 291 s.