

УДК 621.9.01

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

### **НОВЫЙ ПОДХОД К РАСПОЗНАВАНИЮ СОСТОЯНИЙ КОНТАКТНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ РАБОТОСПОСОБНЫХ И ОТКАЗВШИХ ИНСТРУМЕНТОВ**

*Приведены результаты разработок нового подхода к распознаванию состояний изношенных и отказавших режущих инструментов. Он основан на использовании нового метода определения классов важной составляющей состояния поверхности инструмента – ее текстуры – по комплексу признаков. Среди признаков текстур поверхностей инструментов впервые использованы марковские поля. Компьютерное моделирование соответствующей интеллектуальной системы подтвердило перспективность применения данного подхода для распознавания различных классов текстур поверхностей изношенных и отказавших инструментов.*

*Приведені результати розробок нового підходу до розпізнавання станів зношених і відмовивших різальних інструментів. Він заснований на використанні нового методу визначення класів важливої складової стану поверхні інструменту – її текстури – по комплексу ознак. Серед ознак текстур поверхонь інструментів вперше використані марківські поля. Комп'ютерне моделювання роботи відповідної інтелектуальної системи підтвердило перспективність застосування даного підходу для розпізнавання різних класів текстур поверхонь зношених та відмовивших інструментів.*

*The results of developments of a new approach to recognition of worn-out and failed cutting tools are resulted. He is based on the use of a new method of recognition of classes of important part of tools surface state – its texture – on the complex of signs. Among the signs of testur tools surfaces s the markovskie fields are first used. Computer design of the intellectual system work confirmed perspective of application of this approach for recognition of different classes of worn-out and failed cutting tools surfaces textures.*

При разработке систем автоматизированного и автоматического распознавания состояний режущих инструментов (РИ) прецизионной обработки широкое применение находят системы технического зрения (СТЗ) [1]. Регистрируемые СТЗ цифровые изображения контактных поверхностей РИ в работоспособных состоянии (режущая часть (РЧ) частично изношена) и состояниях отказов (предельный износ, множественные выкрашивания, сколы РЧ) обеспечивают формирование контуров зон дефектов, вычисление соответствующих признаков. При этом оценка типов (классов) текстур поверхностей является неотъемлемым элементом процесса многоуровневого распознавания состояний инструментов. Поэтому тематика данной статьи представляется актуальной.

**Анализ предыдущих исследований.** Составной частью комплекса для автоматического контроля, диагностирования и прогнозирования остаточного ресурса РИ является система интеллектуального анализа изображений РЧ [1, 2]. Здесь распознавания классов текстур поверхностей РЧ выполнялось с ис-

пользованием оценок энергетических спектров Фурье и матриц смежности участков изображений. Однако многообразие механизмов изнашивания и отказов РИ обуславливает многообразие классов форм и текстур формирующихся при этом поверхностей РЧ, что требует расширения набора признаков и применения комплексного распознавания.

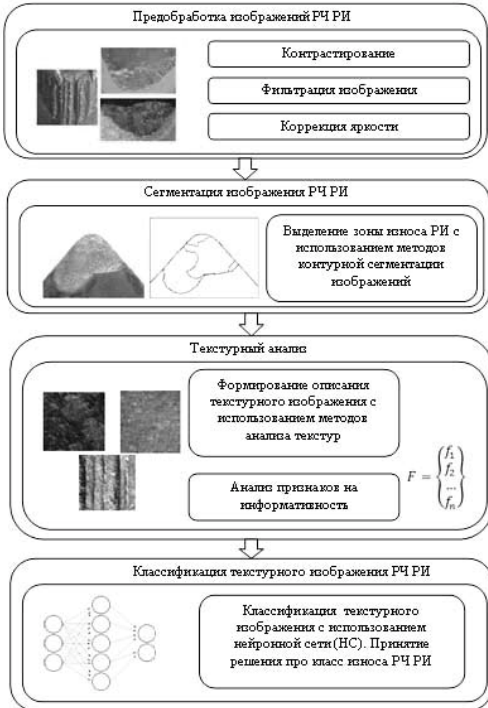


Рисунок 1 – Обобщенная схема обработки изображений активных зон РЧ РИ и классификации текстур зон износа

**Целью настоящей статьи является** изложение результатов нового подхода к распознаванию состояний изношенных и отказавших режущих инструментов. Он основан на использовании нового метода распознавания классов важной составляющей состояния поверхности инструмента – ее текстуры – по комплексу признаков, дополненному результатами анализа Марковских полей изображений.

**Рассмотрим основные результаты разработок.**

Общая структура процессов обработки изображений контактных поверхностей РЧ представлена на рис. 1.

Она включает модули предварительной обработки изображений, их сегментации (т.е. выделения на изображении информативных зон), текстурного анализа участков информативных зон, формирования вектора признаков, анализа информативности признаков, классификации класса текстуры анализируемого участка поверхности РЧ (т.е. причисления его к одному из классов текстур, предварительно сформированных). Для формирования расширенного набора признаков производились вычисления энергетических спектров Фурье [1], формирование матриц смежности [2] и вычисление Марковских полей (МП) изображений. Марковские поля обеспечивают возможность анализа локальные свойства текстурных изображений [3,4].

В качестве исходных данных использовались те же фрагменты текстурных изображений РЧ РИ, что и в работах [1, 2].

На рис. 2, 3 схематически представлены некоторые из блоков интеллектуальной системы распознавания классов текстур зон износа РЧ РИ.



Рисунок 2 – Фрагмент интеллектуальной системы распознавания классов текстур зон износа РЧ РИ

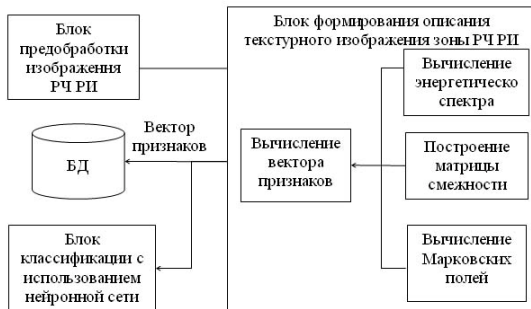


Рисунок 3 – Структурная схема блока формирования расширенного набора признаков классов текстур зон РЧ РИ.

Рассмотрим метод анализа Марковских полей изображений. Метод, основан на применении стохастической модели Марковского случайного поля [3, 4], расположенного на сетке размерностью  $N \times M$  и описываемого дискретной функцией  $p: p = (i, j)$ , где  $i \in [1, N]$ ,  $j \in [1, M]$  – размеры изображения. Каждый пиксель изображения описывается через базовую окрестность взаимодействия – систему соседних пикселей  $l$ -го порядка. Основной структурной единицей взаимодействия в данной модели является множество соседних пикселей (далее – соседей), один из которых является анализируемым, а остальные принадлежат к его системе соседей. Различают МП 1-го, 2-го и 3-го порядка (табл. 1)

Алгоритм реализации статистического подхода к формированию описания текстурных изображений зон износа на основе вычисления МП включает следующие этапы:

Этап 1. Квантование значений интенсивности оттенков серого на анализируемом изображении зоны РЧ РИ.

Этап 2. Вычисление признаков:

- 1) определение порядка области соседей -  $k = 3$  ;
- 2) вычисление вектора сумм соседей  $S$  в каждой области соседей 3-го порядка:

$$\begin{pmatrix} S_1 \\ S_2 \\ \dots \\ S_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} I(i-1, j) + I(i+1, j) \\ I(i, j-1) + I(i, j+1) \\ I(i-2, j) + I(i+2, j) \\ I(i, j-2) + I(i, j+2) \\ I(i+1, j-1) + I(i+1, j+1) \\ I(i-1, j+1) + I(i+1, j-1) \end{pmatrix}; \quad (1)$$

3) собственно вычисление вектора признаков  $\alpha$  :

$$\begin{pmatrix} \alpha_1 \\ \alpha_2 \\ \dots \\ \alpha_n \end{pmatrix} = \frac{\sum_{i=0}^M \sum_{j=0}^N I(i, j)}{\sum_{l=0}^M \sum_{m=0}^N S(l, m) \cdot S(l, m)^T}; \quad (2)$$

4) вычисление параметра  $\sigma$  :

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=0}^M \sum_{j=0}^N (I(i, j) - \sum_{l=1}^n \alpha_l \cdot S_l)}{M \cdot N} \quad (3)$$

Этап 3. Формирование вектора признаков:  $f = (\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, \alpha_5, \alpha_6, \sigma)$ .

Параметр  $\alpha$  характеризует влияние соседних пикселей по всем направлениям на центральный пиксель, который анализируется, в частности - показывает насколько отличаются соседние пиксели от центрального пикселя. Произведение  $\alpha_i \cdot S_i$  характеризует математическое ожидание интенсивности в конкретном пикселе на изображении. Параметр  $\sigma$  характеризует дисперсию центрального пикселя относительно его соседей.

На основе вычисленных Марковских полей 3-го порядка для участков текстур изображений различных зон РЧ получали вектор признаков текстуры. Он подлежал анализу на информативность, который осуществлялся с учетом распределения значений признаков по классам текстурных изображений износа РИ. В результате анализа выбраны наиболее информативные признаки -  $\sigma, \alpha_1, \alpha_5$  (рис. 4).

Таблица 1 – Представление структур Марковских полей изображений разных порядков

Марковское поле	Структурная форма поля	Формула вычисления вектора сумм соседних элементов
1-го порядка	$\begin{matrix} & I_{i-1,j} & \\ I_{i,j-1} & I_{i,j} & I_{i,j+1} \\ & I_{i+1,j} & \end{matrix}$	$\begin{pmatrix} S_1 \\ S_2 \\ S_3 \\ S_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} I(i-1,j) + I(i+1,j) \\ I(i,j-1) + I(i,j+1) \\ I(i-1,j) + I(i,j+1) \\ I(i+1,j) + I(i,j-1) \end{pmatrix}$
2-го порядка	$\begin{matrix} I_{i-1,j-1} & I_{i-1,j} & I_{i-1,j+1} \\ I_{i,j-1} & I_{i,j} & I_{i,j+1} \\ I_{i+1,j-1} & I_{i+1,j} & I_{i+1,j+1} \end{matrix}$	$\begin{pmatrix} S_1 \\ S_2 \\ S_3 \\ \dots \\ S_8 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} I(i,j-1) + I(i,j+1) \\ I(i-1,j) + I(i+1,j) \\ I(i-1,j-1) + I(i+1,j+1) \\ I(i-1,j+1) + I(i+1,j-1) \\ I(i,j-1) + I(i,j+1) + I(i+1,j) \\ I(i,j-1) + I(i+1,j-1) + I(i+1,j) \\ I(i-1,j-1) + I(i-1,j) + I(i,j-1) \\ I(i-1,j) + I(i-1,j+1) + I(i,j-1) \end{pmatrix}$
3-го порядка	$\begin{matrix} & & I_{i+2,j} & & \\ & I_{i-1,j-1} & I_{i-1,j} & I_{i-1,j+1} & \\ I_{i,j-2} & I_{i,j-1} & I_{i,j} & I_{i,j+1} & I_{i,j+2} \\ & I_{i+1,j-1} & I_{i+1,j} & I_{i+1,j+1} & \\ & & I_{i+2,j} & & \end{matrix}$	$\begin{pmatrix} S_1 \\ S_2 \\ S_3 \\ \dots \\ S_6 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} I(i,j-2) + I(i,j+2) \\ I(i+2,j) + I(i-2,j) \\ I(i,j-1) + I(i,j+1) \\ I(i-1,j) + I(i+1,j) \\ I(i-1,j+1) + I(i+1,j-1) \\ I(i-1,j-1) + I(i+1,j+1) \end{pmatrix}$

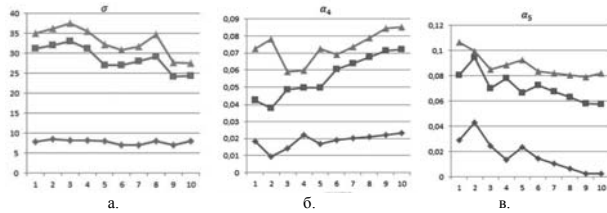


Рисунок 4 – Представление распределения значений информативных признаков текстур зон РЧ РИ, вычисленных по Марковским полям 3-го порядка (а -  $\sigma$  ; б -  $\alpha_4$  ; в -  $\alpha_5$  . На оси абсцисс каждого графика указаны номера анализировавшихся фрагментов текстурных изображений РЧ).

Компьютерное моделирование статистического подхода к формированию описания текстурных изображений зон износа РИ проведено на 4-х классах текстурных изображений зон износа РЧ РИ. Достоверность распознавания оценивалась по “проценту правильного распознавания”(ППР).

Установлено, что для ряда текстурных изображений РЧ РИ распознавание классов текстур, вычисленных по Марковским полям 3-го порядка, дает лучшие результаты – в сравнении с предыдущими разработками [1, 2]. В частности, следы нарушения целостности покрытия вследствие износа РЧ распознаны со следующими результатами: для метода использования матрицы смежности ППР=80%, для метода использования Марковских полей - 95%. Реализация системы распознавания зон износа РИ выполнена в среде программирования Microsoft Visual Studio 2010, на языке программирования C#. Программа имеет удобный интерфейс (рис. 5), который позволяет загрузить текстурное изображение анализируемой зоны РЧ РИ, улучшить его качество с помощью контрастирования, фильтрации. Выбор оптимальной обучающей выборки зависит от её размера и от сложности алгоритмов распознавания [5]. Исследования позволили определить оптимальный размер обучающей выборки – 30 текстурных изображений износа РИ. С позиций быстрейшего алгоритмов - время формирования признаков Марковскими полями на 50 мс больше, чем при построении матрицы смежности (25мс).

**Выводы.**

Приведены некоторые из результатов разработок нового подхода к распознаванию состояний изношенных и отказавших РИ, основанного на использовании нового метода определения классов текстур контактных поверхностей РИ. Среди признаков текстур поверхностей РИ впервые использованы признаки, вычисленные по Марковским полям изображений РЧ. Проведенные исследования по выбору порядка Марковского поля изображения показали, что наилучшие результаты распознавания текстур получены при  $n = 3$ .



Рисунок 5 – Изображение одной из рабочих панелей программного комплекса для комплексного распознавания классов текстур инструментов

Распознавание текстур РЧ только по признакам, вычисленным по Марковским полям, повышает ППР для ряда классов текстур. Распознавание текстур РЧ по комплексу признаков, дополненному результатами анализа Марковских полей изображений, повышает ППР для всех исследованных классов текстур. Компьютерное моделирование соответствующей интеллектуальной системы подтвердило перспективность применения разработок для распознавания различных классов текстур РИ.

Список использованных источников: 1. Деревянченко А.Г. Система интеллектуального анализа изображений зон износа режущих инструментов/А.Г. Деревянченко, О.Ю. Бабилунга, Д.А. Крилицын // Резание и инструмент в технологических системах. — Харьков: НТУ “ХПИ”. 2010. — Вып. 78. — С. 34 – 41. 2. Деревянченко А.Г. Подход к распознаванию состояний поверхностей режущей части инструментов с учетом результатов анализа их текстур./А.Г. Деревянченко, О.Ю. Бабилунга, А.О.Соценко//Резание и инструмент в технологических системах.- Харьков: НТУ “ХПИ”. 2011 — Вып. 80. — С. 68 – 75. 3. Chellappa R. Model based texture segmentation and classification/ Chellappa R., Kashyap R.L./Worl Scientific – Singapore, 1992 – p.277-310. 4. Kashyap R.L. Estimation and choice of neighborhoods in spatial interaction models of images, IEEE Trans. Inf. Theory,1983,p.60-72. 5. КалланР. Основные концепции нейронных сетей / Р. Каллан. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2001.–291 с.