

*А. Г. ДЕРЕВЯНЧЕНКО*, д-р техн. наук,  
*О. Ю. БАБИЛУНГА*, канд. техн. наук,  
*А. О. СОЦЕНКО, ДОЛИЩИНСКИЙ Р.Г.*, Одесса, Украина

## **РАСПОЗНАВАНИЕ ТЕКСТУР ЗОН ИЗНОСА РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СПЕКТРОВ ФУРЬЕ ИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ**

Викладено підхід до розпізнавання текстур зон зносу різальних інструментів на основі аналізу енергетичних спектрів Фур'є їх зображень. Програмно реалізована система розпізнавання текстур зображень зон зносу різальної частини на основі їх спектрального аналізу. Комп'ютерне моделювання роботи системи підтвердило можливість застосування підходу для розпізнавання класів різних текстур ріжучої частини. Отримані результати створюють перспективи для формування "карт класів текстур" різальної частини, що відображають прояв тих або інших механізмів зношування на різних ділянках контактних поверхонь інструментів.

Изложен подход к распознаванию текстур зон износа режущих инструментов на основе анализа энергетических спектров Фурье их изображений. Программно реализована система распознавания текстур изображений зон износа режущей части на основе их спектрального анализа. Компьютерное моделирование работы системы подтвердило возможность применения подхода для распознавания классов различных текстур режущей части. Полученные результаты создают перспективы для формирования "карт классов текстур" режущей части, отображающих проявление тех или иных механизмов изнашивания на различных участках контактных поверхностей инструментов.

An approach of texture recognition of cutting tools wear areas on the basis of power spectrums Fur'e analysis of their images is discussed. The system of wear areas texture recognition is programmatic realized on the basis of their spectrology. The computer design of the systems working confirmed possibility of application an approach for different cutting part textures classes recognition. The got results are created by prospects for the "maps of texture classes", forming for cutting part, representing the display of one or another mechanisms of wear on the different areas of contact surfaces of cutting tools.

В современном автоматизированном производстве одним из актуальных направлений является разработка систем контроля и диагностирования состояний режущих инструментов (РИ). Надежность их режущей части (РЧ), "наблюдаемость" состояний в процессе эксплуатации в значительной степени определяет работоспособность станка в целом [1].

Режущая часть РИ постепенно изнашивается, происходит изменение ее структуры и формирование зон износа. При обработке цифровых изображений этих зон, регистрируемых системами технического зрения, заметны проточкины, следы концентрированного износа и др., которые можно рассматривать как элементы текстуры. Своевременное выявление этих элементов в структуре РЧ обеспечивает возможность идентификации модели отказа РИ уже в начальный период работы и прогнозирования его индивидуального рабочего ресурса. При этом важными оказываются как оценка формы зоны износа, так и распознавание внутренних текстур. Выделение границ зон износа РЧ по цифровым изображениям выполняется с применением контурной сегментации. В работе [2] авторами показано, что использование методов контурной обработки на базе вейвлет-преобразования позволяет качественно подчеркнуть перепады интенсивности яркости изображений зон износа РЧ на разных уровнях детализации. Получаемые контуры зон износа (макродефектов) РЧ используются для формирования признаков состояния РИ.

Целью статьи является изложение подхода к распознаванию классов текстур зон износа РИ на базе спектрального подхода к описанию цифровых изображений их режущей части.

В структуре режущей части эксплуатируемого РИ могут быть выделены элементы, образовавшиеся вследствие действия тех или иных механизмов изнашивания (в условиях сложной геометрии изношенного РИ, неравномерности нагружения различных участков контактных поверхностей и др.). Представляется целесообразным многоуровневый подход к оценке этих элементов (дефектов). Выделяются элементы нескольких уровней: 1. макродефекты (собственно контактные поверхности РЧ); 2. дефекты (следы концентрированного износа, зоны нарушения целостности покрытия, проточкины и др., выделяемые в зоне макродефектов); 3. микродефекты – следы адгезионного и абразивного изнашивания и др., выделяемые в зонах макродефектов и дефектов. Присутствие элементов 2-го и 3-го уровней на контактных поверхностях РЧ приводит к формированию текстур различных уровней и классов. В данной работе рассмотрен подход к распознаванию текстур РЧ на уровне дефектов.

Предлагается выполнять “сканирование” цифрового изображения РЧ окном (рис. 1), в пределах которого производится распознавание класса текстур (класса дефектов). Далее может формироваться “карта классов текстур” РЧ, отображающая зоны проявления тех или иных механизмов изнашивания.

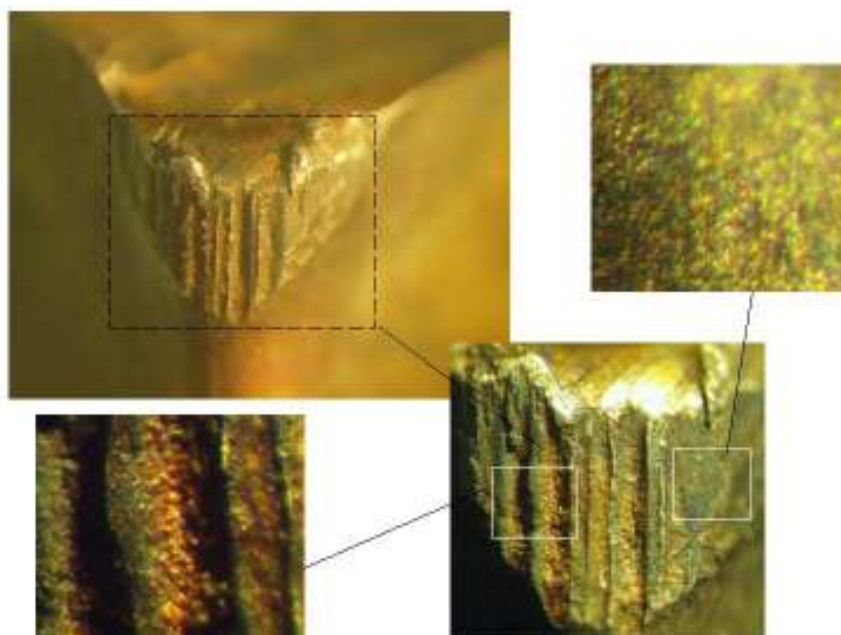


Рисунок 1 – Фрагменты цифрового изображения задней поверхности изношенного резца с различной текстурой (степенью дефектности)

Для реализации этого необходима система системы распознавания текстур РЧ, укрупненная схема которой представлена на рис. 2.

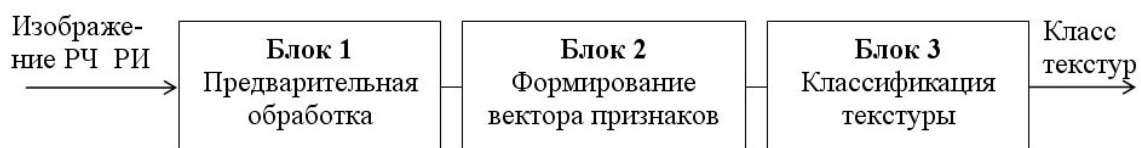


Рисунок 2– Структура системы распознавания текстур зон износа цифровых изображений РЧ.

Блок 1 реализует проведение операций по улучшению качества исходного изображения РЧ и включает в себя: программные модули фильтрации изображения с помощью заданных масок, медианной фильтрации, усредняющего фильтра, регулирования интенсивности, контрастности и других параметров изображения. Блок 2 выполняет обработку и анализ изображений РЧ с целью получения вектора признаков описания текстуры по энергетическому спектру Фурье. Блок 3 формирует решение о принадлежности текстуры зоны РЧ к одному из классов.

В базе данных программного комплекса содержатся эталонные описания классов текстур (например – в виде координат центров классов и радиусов условных “гиперсфер”, описанных вокруг множества векторов обучающей выборки для каждого класса – точек в пространстве состояний РЧ). При таком варианте описания после вычисления признаков текстур анализируемой зоны РЧ определяются Эвклидовы расстояния до центра

каждого класса, минимальное из которых указывает на класс текстуры. Кроме такого простейшего подхода к распознаванию могут строиться статистические, нейросетевые и другие классификаторы классов текстур РЧ.

В рамках спектрального подхода к описанию текстур изображений РЧ вычислялся спектр Фурье [3 - 6]. Выделяют следующие его свойства, полезные для описания текстуры: выступающие пики спектра указывают главное направление текстурной составляющей; местонахождение этих пиков на частотной плоскости дает основной пространственный период текстуры. После устранения всех периодических составляющих путем фильтрации в изображении РЧ остаются только непериодические компоненты. Анализ показал, что спектр Фурье подходит для описания присутствующих в изображениях РЧ периодических или квазипериодических двумерных структур.

Прямое двумерное дискретное Фурье преобразование изображения (функции  $f(x, y)$ ) размерами  $M \times N$  задается равенством [4]:

$$F(u, v) = \frac{1}{MN} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y) e^{-2j\pi\left(\frac{ux}{M} + \frac{vy}{N}\right)}, \quad (1)$$

где  $u = 0, 1, 2, \dots, M-1$ ,  $v = 0, 1, 2, \dots, N-1$ . Переменные  $u$  и  $v$  называются переменными преобразования или частотными переменными,  $x$  и  $y$  – переменными изображения (текущими координатами его элементов).

Энергетический спектр изображения определяется формулой:

$$p(u, v) = |F(u, v)|^2 = R^2(u, v) + I^2(u, v), \quad (2)$$

где  $R(u, v)$  – действительная часть величины  $F(u, v)$ ;  $I(u, v)$  – ее мнимая часть.

Для реализации спектрального подхода к распознаванию текстурных изображений зон износа РИ представилось целесообразным использовать следующий алгоритм [5]: 1. Вычисление энергетического спектра изображения; 2. Медианная фильтрация изображения; 3. Построение гистограммы энергетического спектра изображения и определение по ней порога бинаризации; 4. Бинаризация изображения спектра; 5. Контурная обработка бинаризованного спектра и прослеживание контура с формированием массива координат точек контура – контурного описания; 6. Формирование вектора признаков формы изображения по координатам точек контура с вычислением геометрических моментов признаков (ГМП); 7. Классификация текстур на основе вычисления Эвклидова расстояния

между вектором эталонных признаков и рассчитанных по входному изображению.

На рис. 3 приведены результаты реализации алгоритма при распознавании одного из классов текстур зон износа РЧ – концентрированного износа (а – фрагмент изображения зоны износа, б - 3D- представление энергетического спектра, в - 2D - представление энергетического спектра, г – сечение поверхности энергетического спектра горизонтальной плоскостью на определенном уровне (бинаризованный спектр), д – контур этого сечения).

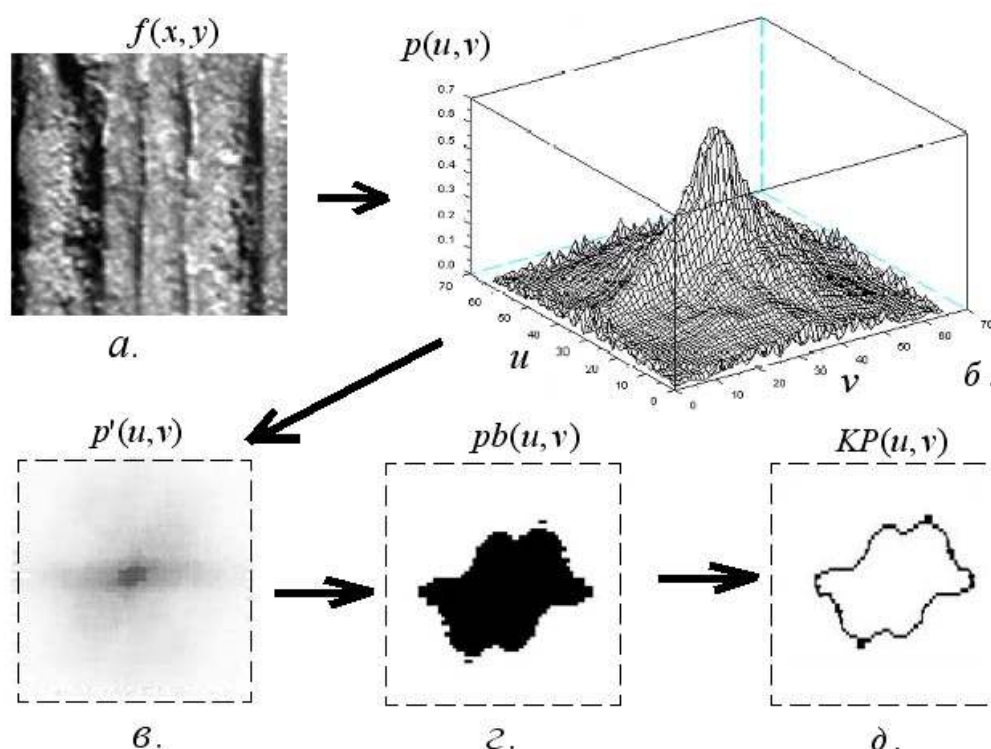
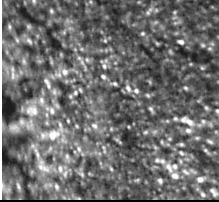

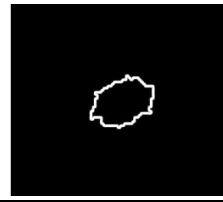
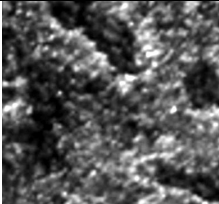

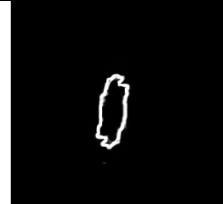
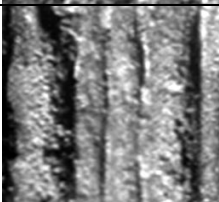

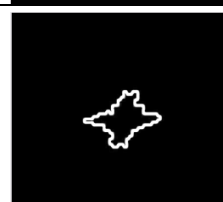


Рисунок 3 – Некоторые результаты реализации алгоритма распознавания текстур зон износа РЧ (на примере следов концентрированного износа).

В процессе тестирования системы распознавания текстурных изображений зон износа РИ были сформированы обучающие выборки изображений трех классов текстур. Примеры исходных изображений классов текстур РЧ, форм полученных в процессе бинаризации изображений энергетического спектров и их контуров приведены в табл. 1.

Для формирования векторов признаков, описывающих текстурные изображения, вычислялись ГМП, характеризующие форму объекта на контурном изображении ( $KP(u, v)$ ) бинаризованного энергетического спектра [6]. Основные этапы формирования ГМП приведены в табл. 2.

Таблица 1 – Бинаризованные энергетические спектры текстурных зон РЧ и их контуры

| Класс текстуры зоны износа контактной поверхности        | Изображения зон изношенной поверхности РЧ  | Бинаризованный энергетический спектр изображения                                    | Контур изображения бинаризованного энергетического спектра                           |
|--|--|---|--|
| Равномерный износ (отсутствие элементов уровня дефектов) |   |   |   |
| Следы нарушения целостности покрытия на режущей части    |   |   |   |
| Следы концентрированного износа                          |  |  |  |

Программная реализация системы распознавания текстурных изображений зон износа режущих инструментов выполнена в среде разработки Microsoft Visual Studio C#. Для обмена информацией между модулями программы предусмотрена запись векторов признаков в XML-файлах текстового формата, предназначенный для хранения структурированных данных. Разработан удобный интерфейс системы распознавания текстур изображений РЧ, позволяющий пользоваться всеми функциями системы и отображать текущие результаты работы (рис. 4).

Предварительные исследования, проведенные на небольших обучающих выборках классов текстур РЧ, позволили получить следующие значения вероятности правильного распознавания (ВПР): зоны равномерного износа – 0,86; зоны нарушения целостности покрытия на РЧ – 0,84; зоны концентрированного износа – 0,90. Увеличение ВПР может быть достигнуто на основе применения статистических и нейросетевых классификаторов.

Таблица 2 – Этапы формирования геометрических моментов признаков контуров бинаризованных энергетических спектров зон текстур РЧ

| №  | Содержание этапа  | Формула  | Пояснения   |
|----|---|--|---|
| 1  | Вычисление площади контура через координаты его точек   | $S = \sum_{i=1}^n [(y_i + y_{i+1})(x_i - x_{i+1})] / 2$  | $n$ – число точек контура   |
| 2  | Нахождение статистических моментов инерции контура в заданной системе координат по приближенным | $I_x = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^n (x_i - x_{i+1})(y_i^2 + y_i y_{i+1} + y_{i+1}^2);$<br>$I_y = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^n (y_i - y_{i+1})(x_i^2 + x_i x_{i+1} + x_{i+1}^2).$ |   |
| 3  | Вычисление $R_i$ по всем точкам контура, вычисление $R_{\min}$ и $R_{\max}$ .                   | $R_i = \sqrt{(x'_i)^2 + (y'_i)^2}$   | Координаты $i$ -ой точки в новой системе:<br>$x'_i = x_i - x'_0,$<br>$y'_i = y_i - y'_0.$ |
| 4  | Определение шага дискретизации  | $\Delta\rho = (R_{\max} - R_{\min}) / J$   | $J$ – количество уровней  |
| 5  | Вычисление по прослеженному контуру значений $\beta_j$  | $\beta_j = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n (\rho_j^2 - \rho_{j-1}^2) \Delta\varphi_i + (R_i R_{i+1} \sin \Delta\varphi_i - \rho_{j-1}^2 \Delta\varphi_i)$                       | $\Delta\varphi_i$ – угол между векторами $R_i$ и $R_{i+1}$                                |
| 6. | Определение значений ГМП  | $c_{jp} = \beta_j \left( \frac{\rho_j}{R_{\min}} \right)^p$  |   |

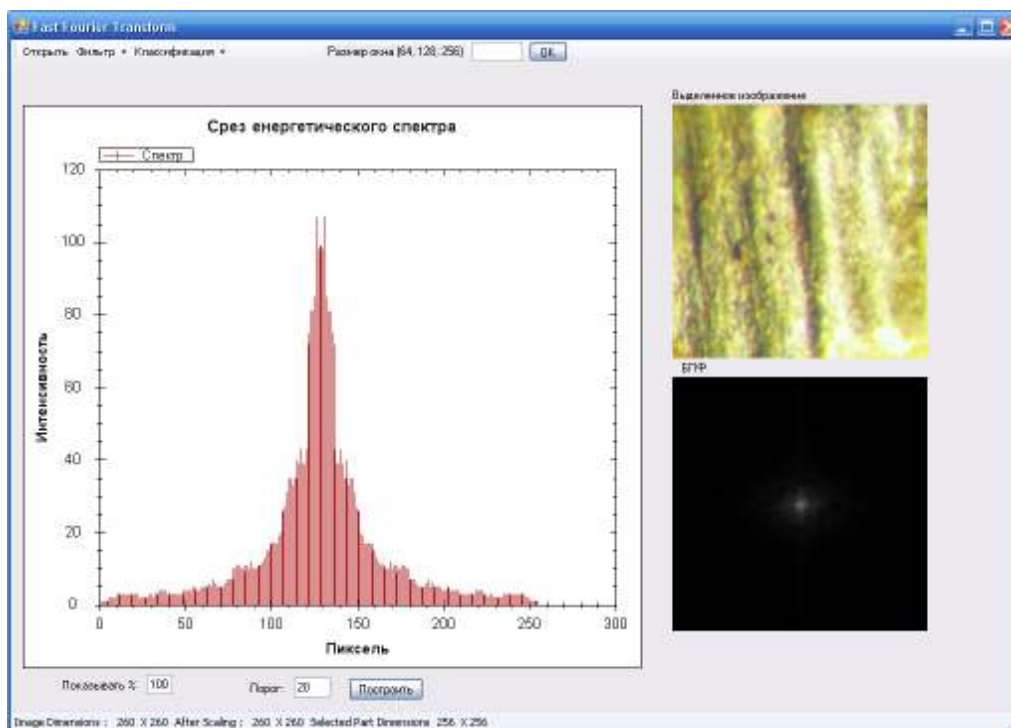


Рисунок 4 – Одно из окон системы обработки текстур изображений РЧ

В заключение отметим следующее. Предложен подход и программно реализована система распознавания текстур изображений зон износа РЧ на основе их спектрального анализа. Компьютерное моделирование работы системы подтвердило возможность применения подхода для распознавания классов различных текстур режущей части. Полученные результаты создают перспективы для формирования ”карт классов текстур” РЧ, отображающих проявление тех или иных механизмов изнашивания на различных участках контактных поверхностей инструментов.

**Список литературы:** 1. Дерев'янченко А.Г., Павленко В.Д., Андреев А.В. Диагностирование состояний режущих инструментов при прецизионной обработке. – Одесса, Астропринт, 1999. – 184 с. 2. Антощук С.Г., Бабилунга О.Ю., Дерев'янченко О.Г. Контурна сегментація зображень при контролі різальних інструментів // Вісник ЖДТУ. – Житомир, 2006. – № 4(39). – С. 3-8. 3. Haralick R.M. Statistical and Structural Approaches to Texture / R.M. Haralick // Proceeding of the IEEE. – 1979. – Vol. 67. – P. 786-804. 4. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. – М.: Техносфера, 2005. – 1072 с. 5. Антощук С.Г., Сербина Н.А. Система распознавания текстурных изображений при экологическом мониторинге // Искусственный интеллект. – 2002. – № 1. – С. 406-413. 6. Анисимов Б.В., Курганов В.Д., Злобин В.К. Распознавание и цифровая обработка изображений: Учебное пособие для вузов. – М.: Высшая школа, 1983. – 295 с.