

# Система оброблення та розпізнавання текстурних зображень дефектних зон різальних інструментів на основі аналізу їх енергетичних спектрів

О.Г. Дерев'янченко, О.Ю. Бабілунга, А.О. Соценко, Р.Г. Доліцинський

Одеський національний політехнічний університет  
babilunga@mail.ru

## Анотація

Запропоновано використовувати спектральний підхід до опису текстурних зображень дефектних зон різальних інструментів, що формуються за допомогою системи технічного зору, розміщеної у контрольній позиції верстату. Програмно реалізована система оброблення та розпізнавання текстурних зображень зон зносу різальної частини інструменту на основі аналізу енергетичних спектрів Фур'є. Комп'ютерне моделювання роботи системи підтвердило можливість застосування цього підходу для розпізнавання класів різних текстурних зображень різальної частини інструменту. Отримані результати створюють перспективи для формування «карт класів текстур» дефектних зон різальних інструментів, що відображають прояв різних механізмів зношування на ділянках контактних поверхонь інструментів.

## 1. Вступ

У сучасному автоматизованому виробництві одним з актуальних напрямів є розробка систем контролю і діагностування станів різальних інструментів (РІ). Надійність їх різальної частини (РЧ), можливість контролю станів РІ в процесі експлуатації в значній мірі визначає працездатність верстата в цілому [1].

Різальна частина РІ поступово зношується, відбувається зміна її структури і формування зон зносу. При обробці цифрових зображень зон зносу, що реєструються системами технічного зору, помітні проточини, сліди концентрованого зносу і інші дефекти, які можна розглядати як елементи текстури [2]. Своєчасне виявлення цих елементів в структурі РЧ забезпечує можливість ідентифікації моделі відмови РІ вже в початковий період роботи і прогнозування індивідуального робочого ресурсу інструменту. При цьому важливими виявляються як оцінка форми зони зносу, так і розпізнавання внутрішніх текстур.

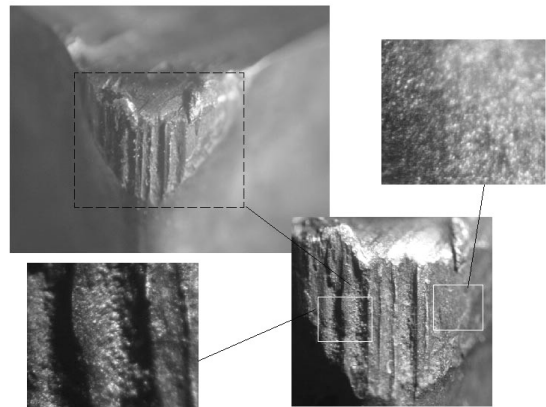
Виділення меж зон зносу РЧ по цифрових зображеннях виконується із застосуванням контурної сегментації. У роботі [3] авторами показано, що використання методів контурної обробки на базі вейвлет-перетворення дозволяє якісно підкреслити перепади інтенсивності

зображень зон зносу (зон дефектів) РЧ на різних рівнях деталізації. Опис контурів зон зносу (макродефектів) РЧ використовується для формування ознак стану РІ.

Метою цієї роботи є розробка системи оброблення та розпізнавання класів текстур зон зносу РІ на базі спектрального підходу до опису цифрових зображень їх різальної частини.

## 2. Загальний підхід до розпізнавання текстур дефектних зон різальної частини інструментів

У структурі різальної частини експлуатованих РІ можуть бути виділені елементи, що утворилися внаслідок дії тих або інших механізмів зношування (в умовах складної геометрії зношеного РІ, нерівномірності навантаження різних ділянок контактних поверхонь та інш.). Уявляється доцільним використовувати багаторівневий підхід до оцінки цих елементів (дефектів) (мал. 1).



Малюнок 1 : Фрагменти цифрового зображення задньої поверхні зношеного різця зі зразками різних видів текстур (різним ступенем дефектності).

В ході аналізу зображень зон зносу РІ виділяються елементи декількох рівнів:

- 1) макродефекти (власне контактні поверхні РЧ);
- 2) дефекти (сліди концентрованого зносу, зони порушення цілісності покриття, проточини та інше, що виділяються в зоні макродефектів);

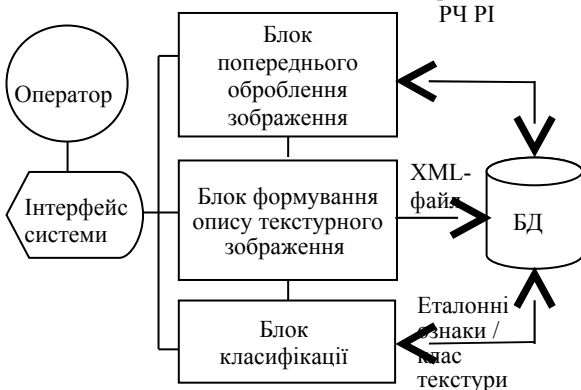
3) мікрodefекти – сліди адгезійного і абразивного зношування і інші, що виділяються в зонах макроdefектів і defектів.

Присутність елементів 2-го і 3-го рівнів на контактних поверхнях РЧ приводить до формування текстур різних рівнів і класів. У даній роботі розглянутий підхід до розпізнавання елементів РЧ на рівні defектів.

Пропонується виконувати «сканування» цифрового зображення РЧ вікном заданого розміру, в межах якого проводиться розпізнавання класу текстур (класу defектів) з подальшою можливістю формування «карти класів текстур» РЧ, що відображає зони прояву тих або інших механізмів зношування.

Для реалізації цього була розроблена структура (мал. 2) и програмно реалізована система оброблення та розпізнавання текстурних зображень РЧ РІ до складу якої включено:

- блок попереднього оброблення зображення, який реалізує проведення операцій поліпшення якості початкового зображення РЧ і включає: програмні модулі фільтрації зображення за допомогою заданих масок, медіанної фільтрації, регулювання інтенсивності, контрастності та інших параметрів зображення;
- блок формування опису текстурного зображення, який виконує обробку і аналіз зображень РЧ з метою отримання вектору ознак текстури за енергетичним спектром Фур'є.
- блок класифікації, в якому формується рішення про приналежність текстурного зображення зони зносу РЧ до одного із класів.



Малюнок 2 : Структурна схема системи

У базі даних системи містяться еталонні описи класів текстур у вигляді координат центрів класів і радіусів умовних «гіперсфер», описаних навколо множини векторів навчальної вибірки для кожного класу – точок у просторі станів РЧ. При такому варіанті опису, після обчислення ознак текстур defектної зони РЧ, визначаються Евклідові відстані до центру кожного класу, мінімальна з яких вказує на клас текстури. Окрім запропонованого підходу до розпізнавання, який використано в даній роботі, можлива подальша модифікація системи за рахунок побудови статистичних, нейромережових та інших класифікаторів класів текстур.

### 3. Реалізація спектрального підходу до опису текстурних зображень різальних інструментів

В рамках спектрального підходу до опису текстур зображень РЧ РІ обчислювався спектр Фур'є. В літературі [4] виділяють наступні його властивості, що корисні для опису текстури: виступаючі піки спектру указують головний напрям складовій текстури; місцезнаходження цих піків на частотній площині дає основний просторовий період текстури. Після усунення всіх періодичних складових шляхом фільтрації в зображенні РЧ залишаються тільки неперіодичні компоненти. Аналіз показав, що спектр Фур'є підходить для опису присутніх в зображеннях РЧ періодичних або квазіперіодичних двовимірних структур.

Пряме двовимірне дискретне Фур'є перетворення зображення (функції  $f(x, y)$ ) розмірами  $M \times N$  задається рівнянням [4]:

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

де  $u = 0, 1, 2, \dots, M-1$ ,  $v = 0, 1, 2, \dots, N-1$ . Змінні  $u$  і  $v$  називаються змінними перетворення або частотними змінними,  $x$  і  $y$  – змінними зображення (поточними координатами його елементів).

Енергетичний спектр зображення визначається формулою:

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

де  $R(u, v)$  – дійсна частина  $F(u, v)$ ;  $I(u, v)$  – уявна частина.

Для реалізації спектрального підходу до розпізнавання зображень текстур зон зносу РІ в роботі запропоновано використовувати наступний алгоритм [5]:

- обчислення енергетичного спектру зображення;

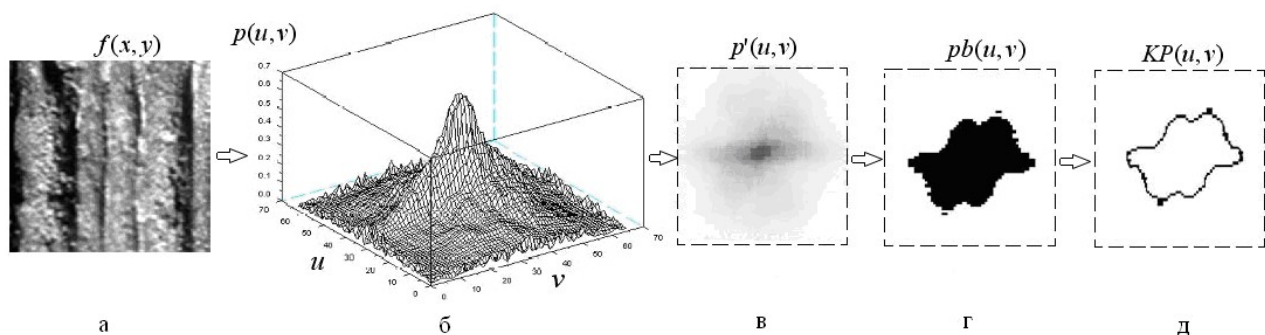
- медіанна фільтрація зображення;
- побудова гістограми енергетичного спектру зображення і визначення по ній порогу бінаризації;
- бінаризація зображення спектру;
- контурна обробка зображення бінаризованого енергетичного спектру, та простеження контуру з метою формуванням масиву координат точок контуру – контурного опису;
- формування вектора ознак форми зображення за координатами точок контуру з обчисленням геометричних моментів ознак;
- класифікація текстурних зображень на основі обчислення Евклідової відстані між вектором еталонних ознак і вектором ознак текстурного зображення, що розпізнається системою.

В процесі комп'ютерного моделювання роботи системи оброблення та розпізнавання текстурних

зображень дефектних зон РІ були сформовані навчальні вибірки зображень трьох класів: «рівномірний» знос, який характеризується відсутністю елементів рівня дефектів; знос зі слідами порушення цілісності покриття різальної частини РІ; концентрований знос, при якому є наявність проточин на поверхні РЧ РІ.

На мал. 3 наведено результати реалізації окремих кроків алгоритму розпізнавання класів текстур дефектних зон РЧ РІ (на прикладі класу слідів концентрованого зносу):  $f(x, y)$  – фрагмент зображення зони зносу (мал. 3, а);  $p(u, v)$  – 3D-зображення енергетичного спектру текстури (мал. 3, б),  $p'(u, v)$  – 2D-зображення енергетичного спектру (мал. 3, в);  $pb(u, v)$  – бінаризоване зображення поверхні енергетичного спектру (мал. 3, г),  $KP(u, v)$  – контурне зображення бінаризованого енергетичного спектру (мал. 3, д).

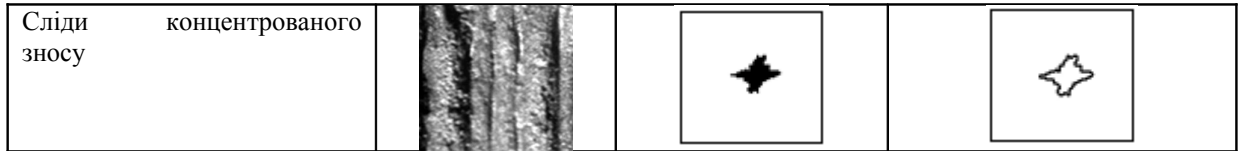
Приклади початкових зображень класів текстур РЧ, форм отриманих в процесі бінаризації зображень енергетичних спектрів та їх контурів приведені в табл. 1



Малюнок 3: Результати реалізації алгоритму розпізнавання текстур дефектних зон РЧ РІ (на прикладі зображення слідів концентрованого зносу)

Таблиця 1: Результати обчислення енергетичних спектрів текстурних зображень дефектних зон РЧ РІ

Найменування класу зносу текстурних зображень	Зображення дефектних зон поверхонь РЧ РІ	Бінаризований енергетичний спектр зображення	Контурне зображення бінаризованого енергетичного спектру
«Рівномірний» знос (відсутність елементів рівня дефектів)			
Сліди порушення цілісності покриття поверхні різальної частини			



Для формування векторів ознак, що описують текстурні зображення, обчислювалися геометричні моменти ознак (ГМО), що характеризують форму об'єкту на контурному зображенні бінаризованого енергетичного спектру. Розглянемо основні етапи алгоритму формування ГМО [6]:

1. Обчислення площі фігури через координати її точок

$$S = \sum_{i=1}^n [(y_i + y_{i+1})(x_i - x_{i+1})] / 2,$$

де  $n$  – кількість точок контуру;  $x_i$ ,  $y_i$  – координати точок контуру.

2. Знаходження статистичних моментів інерції контуру в початковій системі координат:

$$I_x = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^n (x_i - x_{i+1})(y_i^2 + y_i y_{i+1} + y_{i+1}^2);$$

$$I_y = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^n (y_i - y_{i+1})(x_i^2 + x_i x_{i+1} + x_{i+1}^2).$$

3. Визначення координат центру тяжіння фігури і перенесення початку координат в цю точку:

$$x'_0 = I_y / S, \quad y'_0 = I_x / S,$$

$$x'_i = x_i - x'_0, \quad y'_i = y_i - y'_0,$$

де  $x'_i$ ,  $y'_i$  – координати  $i$ -й точки контуру у новому просторі  $(x'oy')$ .

4. Обчислення  $R_i$  по всіх точках контуру

$$R_i = \sqrt{(x'_i)^2 + (y'_i)^2},$$

визначення  $R_{\min}$  і  $R_{\max}$ .

5. Визначення кроку дискретизації

$$\Delta\rho = (R_{\max} - R_{\min}) / J,$$

де  $J$  – кількість кроків дискретизації.

6. Обчислення значень

$$\beta_j = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n (\rho_j^2 - \rho_{j-1}^2) \Delta\varphi_i + (R_i R_{i+1} \sin \Delta\varphi_i - \rho_{j-1}^2)$$

де  $\Delta\varphi_i$  – кут між векторами  $R_i$  і  $R_{i+1}$ .

7. Обчислення площі  $S_{\min}$  та коефіцієнту нормування  $\xi$

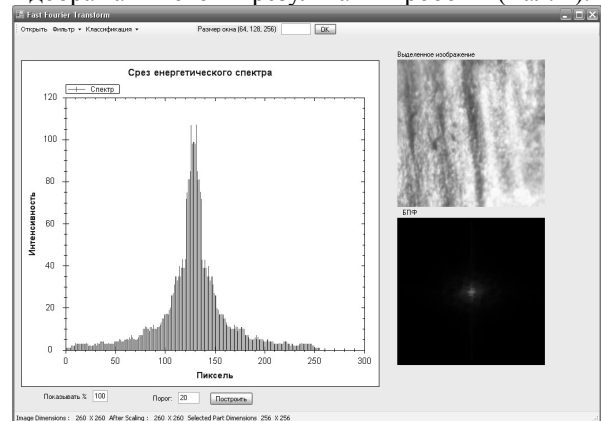
$$S_{\min} = \pi R_{\min}^2, \quad \xi = 1 / (S - S_{\min}).$$

8. Визначення значень ГМО

$$c_{jp} = \xi \beta_j \left( \frac{\rho_j}{R_{\min}} \right)^p.$$

Попередні дослідження, що були проведені на тестових вибірках класів реальних текстурних зображень дефектних зон РЧ РІ, дозволили отримати наступні значення вірогідності вірного розпізнавання (ВВР) зображень: клас «рівномірного» зносу – 0,86; клас зносу зі слідами порушення цілісності покриття різальної частини РІ – 0,84; клас концентрованого зносу – 0,90. Збільшення ВВР можливо отримати за рахунок проведення оцінки інформативності ознак, та включення в вектор опису текстурних зображень найбільш інформативних, а також застосування статистичних і нейромережових класифікаторів.

Програмна реалізація системи оброблення та розпізнавання зображень текстур зон зносу РІ виконана в середовищі розробки Microsoft Visual Studio C#. Для обміну інформацією між модулями програми передбачений запис векторів ознак в XML-файлах текстового формату, який призначено для зберігання структурованих даних. Розроблено зручний інтерфейс системи оброблення та розпізнавання текстурних зображень, що дозволяє користуватися всіма функціями системи і відображати поточні результати її роботи (мал. 4).



Малюнок 4: Вікно інтерфейсу системи оброблення та розпізнавання текстурних зображень РЧ РІ.

#### 4. Висновки

Розроблена структура і програмно реалізована система оброблення та розпізнавання текстурних зображень зон зносу РЧ РІ на основі аналізу їх енергетичних спектрів Фур'є. Комп'ютерне моделювання роботи системи підтвердило можливість застосування спектрального підходу для розпізнавання класів різних текстур різальної частини РІ. Отримані результати створюють перспективи для формування «карт класів текстур»

РЧ, що відображають прояви тих або інших механізмів зношування на різних ділянках контактних поверхонь інструментів. Це відкриває нові можливості для прогнозування остатнього індивідуального робочого ресурсу РІ, тобто для вибору раціонального моменту зміни інструменту та для визначення оптимальної схеми відновлення стану його різальної частини.

### Литература

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