

О.Г. Дерев'янченко, д.т.н.  
Р.Г. Доліщинський, студ.  
Д.О. Криницин, аспір.

Одеський національний політехнічний університет

### ВИКОРИСТАННЯ ЗАСОБІВ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ПРИ СТВОРЕННІ СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ РІЖУЧИХ ІНСТРУМЕНТІВ

*Викладено підхід до використання засобів штучного інтелекту при створенні систем підтримки працездатності ріжучих інструментів. Запропоновано метод підвищення якості автоматичної обробки зображень зон зношування, розглянуто діагностичні моделі станів інструментів.*

**Вступ.** В умовах автоматизованих виробництв випадкові відмови різальних інструментів (РІ) призводять до серйозних порушень циклів обробки, поломок, погіршення якості коштовних деталей. Тому виникає необхідність створення інтелектуальних систем підтримки працездатності (СПП) РІ, що забезпечують автоматичний контроль, діагностування станів та прогнозування відмов інструментів. Отримана таким чином інформація використовується для формування стратегії експлуатації РІ та керування верстатом "за станом інструмента", визначення моменту заміни інструмента, що відмовив, новим. Високі швидкості процесів обробки, контролю та керування на сучасних металооброблювальних верстатах обмежують можливості оператора та потребують використання відповідних апаратних та програмних засобів штучного інтелекту, що входять до складу СПП РІ. В умовах прецизійної обробки відмови РІ часто пов'язані з виникненням істотних формозмін ріжучої частини (тобто зі зміною її геометрії), що відбуваються внаслідок нагромадження та розвитку тих або інших дефектів. Для реєстрації таких змін вважається доцільним використання системи технічного зору (СТЗ) [1].

**Метою** статті є викладання підходу до використання елементів штучного інтелекту при створенні СПП РІ, зокрема – для діагностування станів РІ з використанням СТЗ, обробки зображень ріжучої частини, побудови діагностичних моделей працездатних та непрацездатних станів інструментів.

**Основна частина.** Моделювання СПП РІ виконували у лабораторних умовах з використанням стенду, загальний вигляд якого представлений на рис. 1. Як контрольовані інструменти були вибрані різці (далі – РІ) для чистової та прецизійної обробки. Ці РІ (чи їх ріжучі елементи) періодично знімали з верстата та виконували відображення зношеної ріжучої частини на стенді з формуванням первинних образів (цифрових зображень) зон зносу.

З використанням спеціальних пристроїв (4) виконувалась орієнтація РІ відносно об'єктиву оптичної системи (1), що була закріплена на телекамері (2). Для стенду використано камеру мод. КТ-2. У іншому варіанті виконання СТЗ телекамеру поєднували з оптичною системою бінокулярного мікроскопу мод. МБС-2.

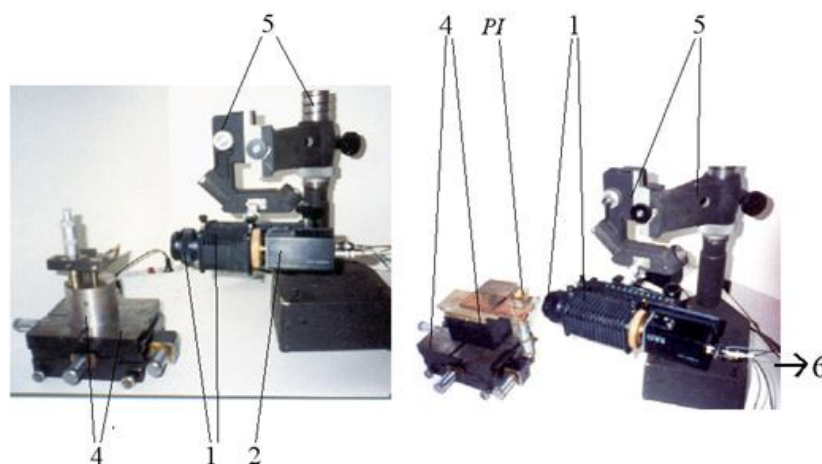


Рис. 1. Загальні вигляди стенда з СТЗ  
для формування зображень ріжучої частини інструмента

Телекамеру розміщували на каретці стійки 5 з траверсою, що оснащена механізмами макро- та мікропереміщень. Зону контролю було освітлено з використанням спеціальних джерел світла (на рис. 3 не показані). Потік світла, відображений зонами зносу РІ, через оптичну систему потрапляв у телекамеру. Далі відповідний сигнал поступав до ПЕОМ (6).

Стенд забезпечує реєстрацію первинних образів ріжучої частини ( $L^T$ ) та її контактних поверхонь ( $A_i^T$ ) за доли секунди. Первинне зображення  $\hat{O}_1^{A_j^T}$  містить ряд похибок, тому виникає необхідність його фільтрації та передобробки. Після цього зображення  $\hat{O}_1^{A_j^T}$  поступає на вхід програмного комплексу виділення контурів. Вторинний образ  $A_i^T(\hat{O}_2^{A_j^T})$  являє собою множину контурів.

Для формування простору станів РІ і одержання відповідних вирішальних (діагностичних) правил необхідні зберігання та обробка великих обсягів експериментальних матеріалів. Тому стає актуальною проблема економії дискового простору, займаного відповідною базою даних (БД). Тому в процесі розробки експертної системи для автоматизованого діагностування станів РІ, що включає БД, виникає необхідність рішення завдання попередньої обробки (передобробки), зокрема – стиску збережених зображень.

Розроблено програмний комплекс попередньої обробки зображень зон зносу РІ. Одна з робочих панелей комплексу, що відображає стадію відновлення зображення зони зношування задньої поверхні РІ після стиску, наведена на рис. 2. У вікнах (зліва направо) виведені первинне, стисле та відновлене зображення.

Основним критерієм якості відновленого зображення зони зношування РІ є оцінка ступеня збереження його інформативності, що суттєво впливає на якість діагностування станів інструмента. Для цього необхідно виконувати порівняння зображень та їх елементів, зокрема – робити порівняння форми й геометричних параметрів основних (зовнішніх, граничних) контурів зони зношування РІ, отриманих за допомогою обробки оригінального зображення й відновленого зображення.

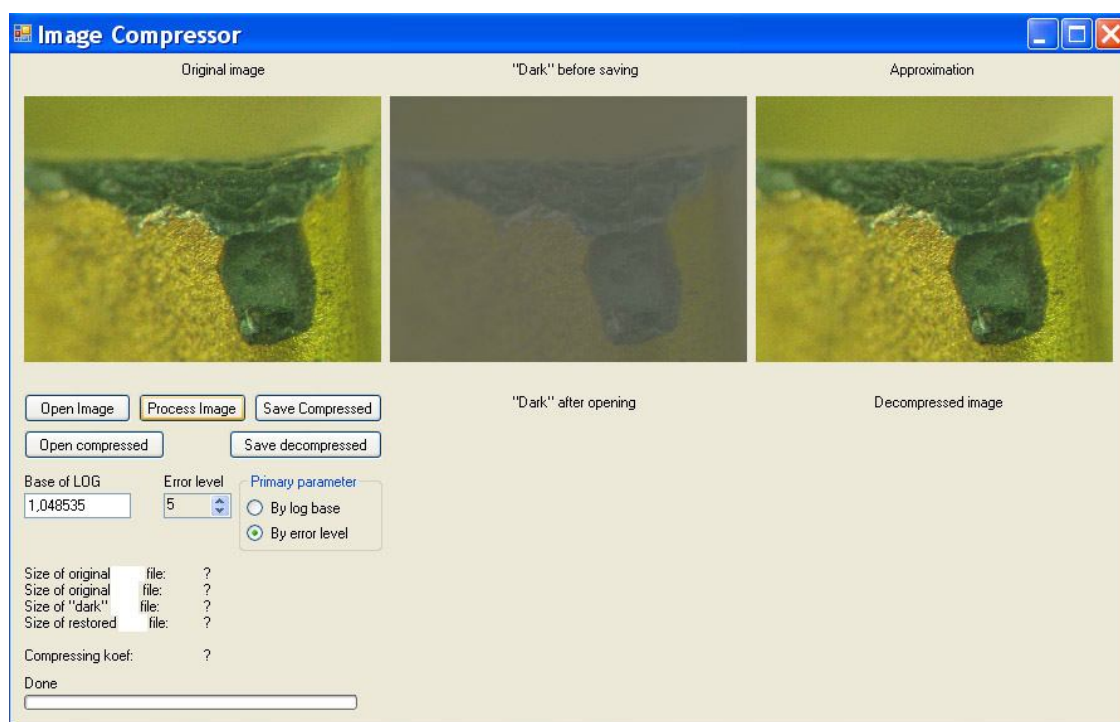


Рис. 2. Вигляд однієї з робочих панелей програмного комплексу попередньої обробки зображень (на стадії відновлення зображення зони зношування задньої поверхні РІ після стиску)

На рис. 3 наведені приклади таких контурів. Вони отримані з використанням програми, що реалізує спеціальний алгоритм виділення зовнішнього контуру й внутрішніх (текстурних) контурів зон зношування РІ.



Рис. 3. До зіставлення контурів зони зношування задньої поверхні різця, виділених по вихідному зображенню (а) і по відновленому зображенню (б)

Зіставлення контурів свідчить про те, що вони практично ідентичні за формою. До переваг запропонованого підходу можна віднести простоту реалізації, простоту адаптації під конкретні умови використання, простоту оцінки якості роботи алгоритму.

Внаслідок обробки зображень ріжучої частини стає можливим автоматичне розпізнавання елементів структури (дефектів) зношеного РІ. Це створює платформу для побудови діагностичних моделей працездатних та непрацездатних станів інструментів.

У таблицях 1, 2 наведені деякі з характерних формозмін ріжучої частини різців для тонкого точіння, що можуть бути виявлені з використанням СПП РІ, та відповідні моделі станів РІ. При побудові таблиць використані позначення:  $L_0, L_0^0, L_0^T$  – вершина ріжучої частини РІ (відповідно – взагалі, у початковому та поточному станах);  $L_1, L_1^0, L_1^T$  – передня поверхня леза РІ (відповідно взагалі, у початковому та поточному станах);  $L_2, L_2^0, L_2^T$  ( $L_{21}, L_{21}^0, L_{21}^T$ ;  $L_{22}, L_{22}^0, L_{22}^T$ ) – задня поверхня РІ, її головна та допоміжна частини (відповідно – взагалі, у початковому та поточному станах);  $L_3, L_3^0, L_3^T$  ( $L_{31}, L_{31}^0, L_{31}^T$ ;  $L_{32}, L_{32}^0, L_{32}^T$ ;  $L_{33}, L_{33}^0, L_{33}^T$ ) – ріжуча кромка (РК) відповідно в загальному, у вихідному й поточному станах (у дужках наведені позначення аналогів для головних, допоміжних і перехідних ріжучих кромки);  $A_1^T, A_2^T, A_{21}^T, A_{22}^T, A_{FURK}^T$  – зони зношування передніх, задньої, головної й допоміжної задніх поверхонь та ділянки, що відповідає формотворної ділянці ріжучої кромки (ФДРК);  $h_{\max}^{A_2^T}, [h_{\max}^{A_2^T}]$  – відповідно поточне й гранично допустиме значення максимальної ширини зони зношування задньої поверхні РІ;  $h_Y^{L_0^T}, [h_Y^{L_0^T}]$  – відповідно поточне й допустиме граничне значення радіального зсуву (радіального зносу) вершини РІ;  $h_{Z_{\max}}^{Pr_{21}^T}, [h_{Z_{\max}}^{Pr_{21}^T}]$  – відповідно поточне й гранично допустиме значення висоти проточини на задній поверхні РІ;  $h_{Z_{\max}}^{A_3^T}, [h_{Z_{\max}}^{A_3^T}]$  – відповідно поточне й гранично допустиме значення висоти опускання ріжучих кромки РІ;  $Pr^{L_{21}^T}, Pr^{L_{22}^T}$  – одиничні сліди локального зношування (проточини);  $Kn^{L_3^T}$  – періодичні борозни, канавки (сліди концентрованого зношування (КЗ));  $h_Z^{A_2^T}, S^{A_2^T}$  – висота й площа зони зношування РІ по задній поверхні;  $N^{L_1^T}$  – нарід на ріжучій частині РІ.

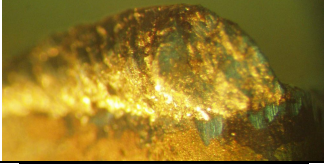
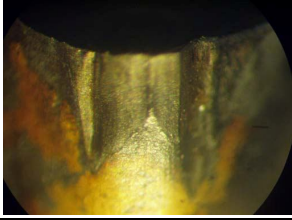

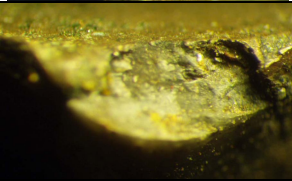
Таблиця 1

Формозміни зношеної ріжучої частини,  
при яких обробка можлива

№ з/п	Опис формозміни РІ	Математична модель стану
1	Зношування РІ відбувається без утворення проточин на ділянках задніх поверхонь, без ділянок опускання РК і утворення наросту.	$Pr^{L_{21}^T} \notin L^T \wedge Pr^{L_{22}^T} \notin L^T ;$ $A_3^T \notin L_3^T ; N^{L_1^T} \notin L^T .$
2	Утворилися проточини на головній і допоміжній РК ( $Pr^{L_{21}^T}, Pr^{L_{22}^T}$ ), але їх висота не перевищує граничного значення.	$Pr^{L_{21}^T} \in L^T ;$ $Pr^{L_{22}^T} \in L^T \wedge h_{Pr}^{L_{22}^T} < h_{Pr}^{L_{22}^T(\max)}$ $h_{Z \max}^{Pr_{21}^T} < [h_{Z \max}^{Pr_{21}^T}] .$
3	Утворилася проточина на допоміжній РК, але вона – поза формотворною ділянкою РК.	$Pr^{L_{22}^T} \in L_3^T \wedge Pr^{L_{22}^T} \notin L_{3F}^T .$
4	Відбулося опускання РК на ряді ділянок, але його величина не досягла критичного значення.	$A_3^T \in L_3^T \wedge h_z^{A_3^T} < h_{z(\max)}^{A_3^T},$ або $h_{Z \max}^{A_3^T} < [h_{Z \max}^{A_3^T}] .$
5	КЗ розвивається на задній поверхні РІ, але його сліди не досягли ФДРК.	$Kn^{L_3^T} \subset L_2^T \wedge Kn^{L_3^T} \notin L_{3F}^T .$
6	Відбувається зношування задньої поверхні РІ, але площа зони не перевищує граничну.	$S^{A_2^T} < [S^{A_2^T}] .$
7	Відбувся радіальний зсув (радіальне зношування на величину $h_{Y \max}^{L_0^T}$ ) вершини ріжучої частини РІ ( $L_0^T$ ), але його величина не перевищує поля допуску деталі – PD ( $\varepsilon$ – відображення $L_0^T$ у відповідну зону поля допуску – $\mathcal{E}_0$ ).	$h_Y^{L_0^T} < [h_{Y \max}^{L_0^T}] ;$ $\varepsilon : L_0^T \rightarrow \mathcal{E}_0 ;$ $\mathcal{E}_0 \in PD .$
8	Інтенсивність зношування задньої поверхні РІ постійна (тобто стан РІ належить до періоду сталого зносу).	$\frac{\delta^2 S^{A_2^T}(\tau)}{\delta \tau^2}(\Delta \tau) = 0 .$
9	Інтенсивність радіального зсуву вершини РІ постійний (тобто стан РІ належить до періоду сталого зношування).	$\frac{\delta^2 h_y^{L_0^T}(\tau)}{\delta \tau^2}(\Delta \tau) = 0 .$

Таблиця 2

Формозміни зношеної ріжучої частини,  
які призводять до відмови інструмента

№ з/п	Опис формозмін ріжучої частини РІ	Зображення зони зношування РІ	Математична модель стану РІ
1	На передній поверхні інструмента утворився наріст.		$N^{L_1^T} \in L^T.$
2	На головній і (або) на допоміжній задній поверхні присутня проточина та її довжина перевищує допустиму.		$Pr^{L_{21}^T} \in L^T;$ $Pr^{L_{21}^T} \in L^T \wedge h_{Pr}^{L_{21}^T} \geq h_{Pr(max)}^{L_{21}^T},$ $h_{Zmax}^{Pr_{21}^T} \geq [h_{Zmax}^{Pr_{21}^T}].$
3	Сліди концентрованого зносу (або проточина) досягли формотворної ділянки ріжучої кромки.		$Kn^{L_3^T} \in L_{3F}^T,$ $Pr^{L_{22}^T} \in L_3^T \wedge Pr^{L_{22}^T} \in L_{3F}^T$
4	Має місце опускання РК, причому його величина перевищує критичне значення.		$A_3^T \in L_3^T \wedge h_z^{A_3^T} \geq h_{z(max)}^{A_3^T};$ або $h_{Zmax}^{A_3^T} \geq [h_{Zmax}^{A_3^T}].$
5	Площа зони $A_2^T$ досягла граничного значення		$S^{A_2^T} \geq S_{max}^{A_2^T}.$
6	Радіальне зношування призвело до зсуву точки $\mathcal{E}_0$ (відображення вершини РІ – $L_0^T$ ) із зони поля допуску.		$h_Y^{L_0^T} \geq [h_{Ymax}^{L_0^T}];$ $\varepsilon : L_0^T \rightarrow \mathcal{E}_0^T; \mathcal{E}_0^T \notin PD$

Для отримання ознак зображень зон зносу РІ, що дозволяють виконувати автоматичне розпізнавання їх класів форми, елементів (дефектів) структури та текстурних особливостей ріжучої частини, будувати діагностичні моделі (відповідно до табл. 1, 2), розроблено комплекс алгоритмів і програм. При їх створенні використано апарат нечіткої логіки, генетичні алгоритми. Розпізнавання станів РІ виконується статистичними методами та з використанням багаторівневих нейронних мереж.

**Висновки.** Викладені матеріали, на думку авторів, свідчать про перспективність застосування елементів штучного інтелекту для створення СПП РІ, зокрема для діагностування станів РІ з використанням СТЗ, обробки зображень ріжучої частини, побудови діагностичних моделей працездатних та непрацездатних станів інструментів.

**ЛІТЕРАТУРА:**

1. Дерев'яниченко О.Г., Павленко В.Д., Андреев О.В. Діагностування станів різальних інструментів при прецизійній обробці. – Одеса: Астропринт, 1999. – 184 с.

ДЕРЕВ'ЯНЧЕНКО Олександр Георгійович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри технології конструкційних матеріалів та матеріалознавства Одеського національного політехнічного університету.

Наукові інтереси:

– конструкційні матеріали.

Тел.: (048) 73-48-456.

ДОЛЩИНСЬКИЙ Руслан Геннадійович – студент (магістр) кафедри технології конструкційних матеріалів та матеріалознавства Одеського національного політехнічного університету.

Наукові інтереси:

– засоби штучного інтелекту;

– автоматична обробка зображень.

КРИНИЦИН Дмитро Олександрович – аспірант кафедри технології конструкційних матеріалів та матеріалознавства Одеського національного політехнічного університету.

Наукові інтереси:

– матеріалознавство.

Подано 25.10.2009

**Дерев'янченко О.Г., Криницин Д.О., Долищинський Р.Г.** Використання засобів штучного інтелекту при створенні системи підтримки працездатності ріжучих інструментів

**Дерев'янченко А.Г., Криницин Д.А., Долищинский Р.Г.** Использование средств искусственного интеллекта при создании системы поддержания работоспособности режущих инструментов

**Дерев'янченко О.Г., Криницин Д.О., Долищинський Р.Г.** Artificial intelligence using in systems for cutting tools working efficiency maintenance design.

УДК 621.9.01

**Использование средств искусственного интеллекта при создании системы поддержания работоспособности режущих инструментов / А.Г. Дерев'янченко, Д.А. Криницин, Р.Г. Долищинский**

Излагается подход к использованию элементов искусственного интеллекта для создания системы поддержания работоспособности режущих инструментов. Предложен метод повышения качества автоматической обработки изображений зон износа, рассмотрены диагностические модели состояний инструментов.

УДК 621.9.01

**Artificial intelligence using in systems for cutting tools working efficiency maintenance design / А.Г. Дерев'янченко, Д.А. Криницин, Р.Г. Долищинский**

An approach to artificial intelligence elements using in system for cutting tools working efficiency maintenance design is discussed. Method of quality improvement of cutting tool wear zones images processing, cutting tools state diagnosing models are considered.