

УДК 621.9.01

А.Г. Деревянченко, д-р техн. наук, С.К. Волков,  
Е.Н. Марченко, Д.А. Криницын, Одесса, Украина

## **ФОРМИРОВАНИЕ ПЕРВИЧНЫХ ОБРАЗОВ РЕЖУЩЕЙ ЧАСТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СТЗ ДЛЯ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ СОСТОЯНИЙ ИНСТРУМЕНТОВ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА 3D-МОДЕЛЕЙ**

*Приведені результати розробки стендової системи контролю станів різальних інструментів і підходу до реєстрації наборів первинних образів різальної частини з використанням системи технічного зору. Вони забезпечують формування послідовностей 3D - моделей активної зони інструменту, що зношується, і визначення комплексу нових параметрів його станів.*

*Приведены результаты разработки стендовой системы контроля состояний режущих инструментов, подхода к регистрации наборов первичных образов режущей части с использованием системы технического зрения. Они обеспечивают формирование последовательностей 3D – моделей активной зоны изнашивающегося инструмента и определение комплекса новых параметров его состояния.*

*The results of development of the cutting tools stand checking system and approach to registration cutting part prime appearances sets with the use of the system of technical sight are resulted. They provide forming of sequences 3D - models of active area of wearing tools and complex new parameters of states determination.*

В современном машиностроительном производстве работоспособность систем и подсистем ГПМ должны обеспечивать системы мониторинга – контроля и диагностирования их состояний. Поскольку непрогнозируемые отказы режущих инструментов (РИ) приводят к простоям дорогостоящего оборудования, очевидна необходимость создания соответствующих интеллектуальных систем диагностирования состояний и прогнозирования остаточного ресурса. Основой их функционирования являются информационные наборы – первичные образы состояний режущей части (РЧ) – непрерывно или периодически регистрируемые наборами датчиков, входящих в структуру систем контроля. Важную информацию о состоянии РЧ несут наборы ее цифровых изображений, регистрируемые системами технического зрения (СТЗ).

**Анализ предыдущих исследований** [1, 2 и др.] показал перспективность использования систем технического зрения в структуре стендовых и станочных систем контроля, диагностирования состояний режущих инструментов и прогнозирования отказов РЧ. Вместе с тем в

указанных работах в качестве образов РЧ, характеризующих конкретное состояние инструмента, использовали одно или два ортогональных изображения (две проекции) режущей части. Их обработка обеспечивает формирование ряда параметров зон износа инструмента [2], однако для построения последовательности 3D-моделей активной зоны изнашивающейся РЧ этой информации оказывается недостаточно. Вместе с тем именно цифровые 3D-модели РЧ позволяют получать комплексы новых информативных параметров состояния РИ, в том числе – данных об объемном износе передней и задних поверхностей РИ, а также их зон. Поэтому тематика статьи представляется авторам актуальной.

**Целью настоящей статьи является** изложение результатов разработки подхода к регистрации наборов первичных образов режущей части с использованием СТЗ, обеспечивающих формирование комплекса 3D-моделей активной зоны изнашивающейся РЧ, и создания соответствующей стендовой системы контроля состояний РИ.

**Рассмотрим основные результаты исследований.** Для получения 3D-модели РЧ необходимы как минимум два ее первичных образа (два цифровых изображения, две проекции). Операция проецирования (отображения) обобщенной зоны задних поверхностей РЧ ( $L_2^T$ ) с регистрацией ее проекции ( $P_{R_s}^{L_2^T}$ ) на рабочую плоскость ( $R_s$ ) обозначена как  $Q_1$ :

$$Q_1 : L_2^T \rightarrow P_{R_s}^{L_2^T} . \quad (1)$$

Операция отображения передней поверхности изношенной РЧ ( $L_1^T$ ) с регистрацией ее проекции ( $P_{R_v}^{L_1^T}$ ) на основную плоскость ( $R_v$ ) обозначена как  $Q_2$ :

$$Q_2 : L_1^T \rightarrow P_{R_v}^{L_1^T} . \quad (2)$$

Процессы выделения информативных зон (зон износа) задних поверхностей ( $P_{R_s}^{A_2^T}$ ) и передней поверхности ( $P_{R_v}^{A_1^T}$ ) условно представлены выражениями (3), (4).

$$SK : P_{R_s}^{L_2^T} \rightarrow P_{R_s}^{A_2^T} ; \quad (3)$$

$$SK : P_{R_V}^{L^T} \rightarrow P_{R_V}^{A_1^T}; \quad (4)$$

где:  $SK$  – условное обозначение операции контурной сегментации цифрового изображения, обеспечивающей выделение информативных контуров [3].

В контексте данной работы для упрощения и сокращения изложения условно примем справедливость соотношений:

$$P_{R_V}^{A_1^T} \equiv k_{R_V}^{A_1^T}; \quad (5)$$

$$P_{R_S}^{A_2^T} \equiv k_{R_S}^{A_2^T}; \quad (6)$$

где:  $k_{R_V}^{A_1^T}$ ,  $k_{R_S}^{A_2^T}$  – контура зон износа.

Операцию определения особых точек контуров  $k_{R_V}^{A_1^T}, k_{R_S}^{A_2^T}$  (в первую очередь - проекций вершины изношенной РЧ -  $P_{R_S}^{O^T}$ ,  $P_{R_V}^{O^T}$ , экстремальных точек контуров) обозначим как  $\mu_E$ :

$$\mu_E : k_{R_S}^{A_2^T} \rightarrow P_{R_S}^{O^T}; \quad (7)$$

$$\mu_E : k_{R_V}^{A_1^T} \rightarrow P_{R_V}^{O^T}; \quad (8)$$

Условно обозначив алгоритм построения 3D – модели РЧ первого уровня как  $AL_1^{3D}$ , можно записать:

$$AL_1^{3D} : \left\{ k_{R_V}^{A_1^T}, P_{R_V}^{O^T}; k_{R_S}^{A_2^T}, P_{R_S}^{O^T} \right\} \rightarrow ML_1^{3D}. \quad (9)$$

Такие модели строят по результатам контроля РЧ как новых инструментов ( $ML_1^{3D(L^0)}$ ), так и изношенных ( $ML_1^{3D(L^T)}$ ). Они дают представление о структуре элементов РЧ, образовавшихся в результате изнашивания РИ, и позволяют определять ряд информативных параметров состояния инструмента.

Для построения более информативных 3D-моделей (моделей второго уровня –  $ML_2^{3D}$ ) для РИ со сложной геометрией необходимо формировать упорядоченные наборы первичных образов (проекции) РЧ.

Поскольку стандартные СТЗ не обеспечивают решения заданий работы, на кафедре ТКМиМ ОНПУ разработана специальная СТЗ и изготовлены необходимые сопутствующие устройства (рис. 1, 2).

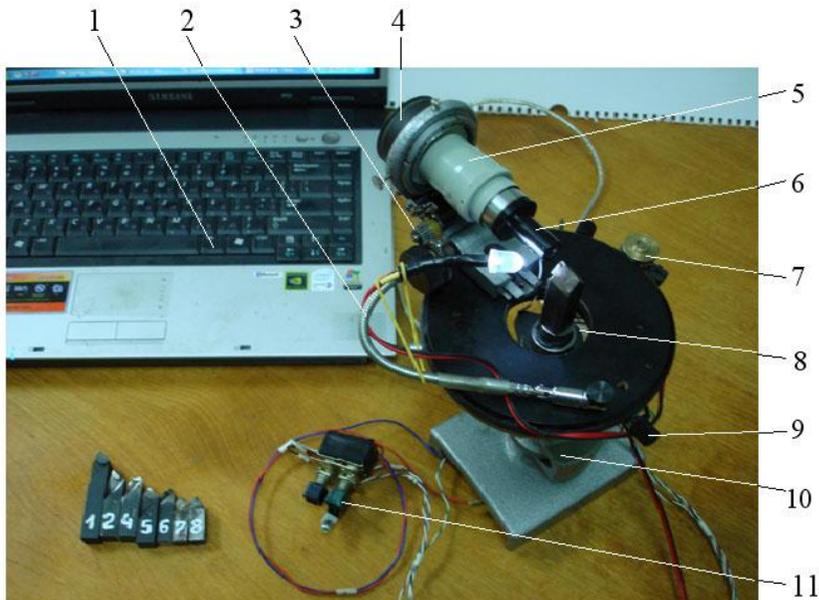


Рисунок 1 – Общий вид системы технического зрения с поворотным столом, устройством автоматического регулирования резкости и дистанционным управлением СТЗ

Она оснащена устройством с поворотным столом, обеспечивающим формирование наборов панорамных цифровых изображений РЧ РИ, устройством автоматического регулирования резкости и дистанционным управлением.

В состав системы входят следующие компоненты: 1 – ПЭВМ; 2 – гибкая штанга подсветки зоны РЧ; 3 – электропривод наводки цифровой камеры на резкость; 4 – цифровая камера (5 Мпикс); 5 – тубус изменения масштаба; 6 – объектив; 7 – электропривод поворотного стола; 8 – устройство базирования и крепления РИ (здесь – резца); 9 – устройство центровки поворотного стола; 10 – стойка с вертикальной регулировкой и углом наклона стола; 11 – кнопки управления электроприводами.

Использование системы обеспечило реализацию нового метода создания 3D-моделей РЧ, основанного на обработке наборов последовательностей цифровых изображений режущей части РИ.

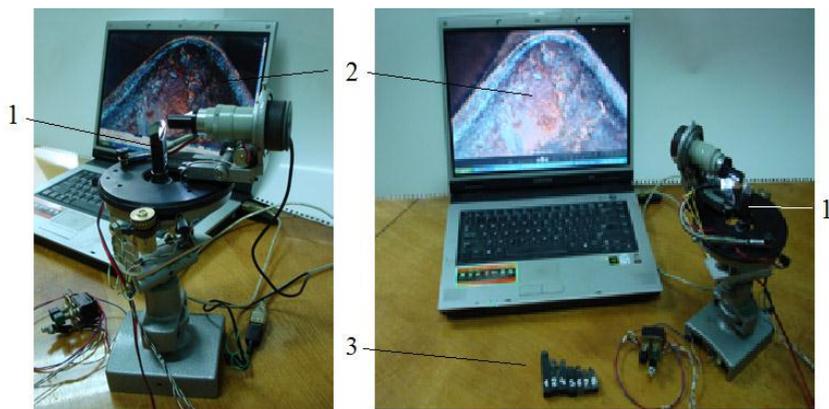


Рисунок 2 – Общие виды системы технического зрения с поворотным столом, устройством автоматического регулирования резкости и дистанционным управлением цифровой камерой.

- 1 – контролируемый резец (зона контроля – передняя поверхность РЧ);
- 2 – соответствующее первичное цифровое изображение в формате RGB на мониторе;
- 3 – очередной набор резцов, подлежащих контролю

Использование разработанной системы обеспечило комплекс новых возможностей позиционирования РЧ РИ относительно цифровой камеры. Соответствующие схемы приведены на рис. 3-5. Схема формирования набора проекций режущей части НТП, позволяющая реализовать новый метод построения 3D-моделей задних поверхностей РЧ, показана на рис. 6.

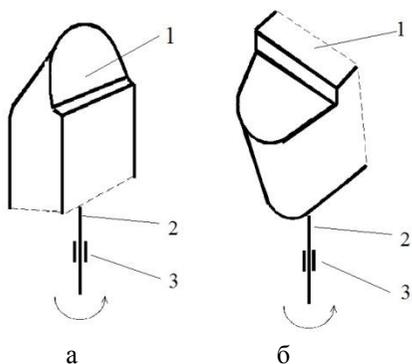


Рисунок 3 – Схематическое представление вариантов вращения РИ относительно цифровой камеры СТЗ:  
а – при создании панорамных изображений передней поверхности РЧ;  
б – при создании панорамных изображений задних поверхностей РЧ.  
1 – контролируемый РИ;  
2 – ось вращения цифровой камеры относительно неподвижного инструмента;  
3 – опора

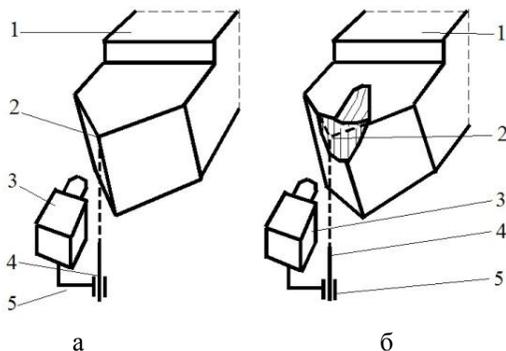


Рисунок 4 – Схемы организации поворота цифровой камеры относительно контролируемого РИ:

а – инструмент в исходном состоянии;

б – инструмент в изношенном состоянии или состоянии отказа.

1 – РИ (резец); 2 – вершина РЧ РИ (или ее след, образ); 3 – цифровая камера;

4 – ось вращения цифровой камеры, совмещенная с особой точкой структуры РЧ (здесь – вершина РЧ или ее след); 5 – опора

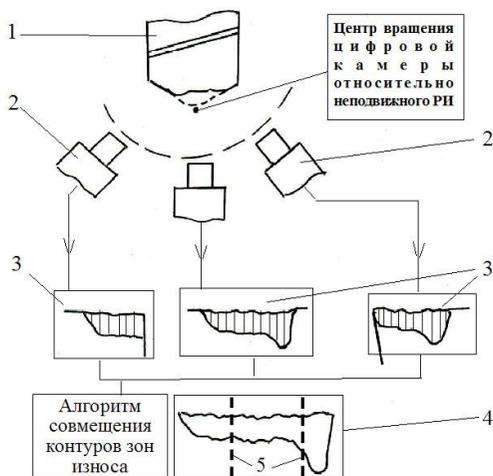


Рисунок 5 – Схема формирования панорамного изображения

зоны износа задней поверхности РИ: 1 – контролируемый инструмент;  
 2 – цифровая камера, поворачивающаяся относительно РЧ и регистрирующая изображения зон износа главной, переходной и вспомогательной задних поверхностей; 3 – схемы соответствующих изображений;

4 – сформированный панорамный контур зоны износа;

5 – зоны соединения фрагментов контуров

Использование системы, представленной на рис. 1, 2, т. е. регистрация ряда проекций режущей части на множество плоскостей  $W_1, W_2, \dots, W_n$  (где:  $n$  - число проекций, определенным образом ориентированных относительно инструментальной системы координат) с использованием ряда схем (рис. 3-6 и др.) позволяет формировать 3D-модели РЧ второго уровня с применением алгоритма  $AL_2^{3D}$  :

$$AL_2^{3D} : \left\{ P_{W_1}^{L^T}, P_{W_2}^{L^T}, \dots, P_{W_n}^{L^T} \right\} \rightarrow ML_2^{3D}. \quad (10)$$

В ОНПУ разработан алгоритмический и программный комплекс, обеспечивающий построение 3D – модели РЧ типа  $ML_2^{3D(L^0)}$ ,  $ML_2^{3D(L^T)}$  и их совместный анализ. Они отображают как исходную структуру элементов РЧ, так и элементы, образовавшиеся в результате износа, дают подробное визуальное представление РЧ и позволяют определять комплекс информативных параметров состояния инструмента. Изложению этих материалов будет посвящена отдельная статья.

Пример формирования набора проекций для построения  $ML_2^{3D(L^T)}$  НТП в одном из состояний приведен на рис. 6.

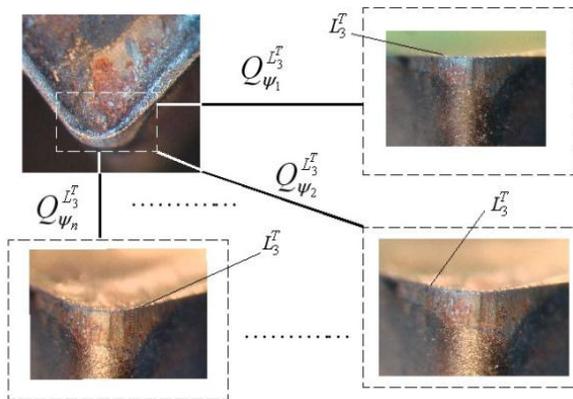


Рисунок 6 – Пример формирования набора первичных образов РЧ НТП (здесь  $\psi_1, \psi_2, \dots, \psi_n$  - углы проецирования,  $Q_{\psi_i}^{L_3^T}$  ( $i=1 \dots n$ ) – единичная операция отображения РЧ и элемента ее структуры – режущей кромки  $L_3^T$ )

**Выводы.**

1. Разработан подход к формированию наборов первичных образов режущей части с использованием СТЗ, обеспечивающих формирование комплекса 3D-моделей активной зоны изнашивающейся РЧ.

2. Эти модели позволят получать новые параметры для диагностирования состояний РЧ.

3. Разработана новая стендовая система контроля состояний РЧ РИ, которая успешно прошла испытания и обеспечила формирование 3D-моделей резцов.

**Список использованных источников:** 1. *N. Sawai, H. Park, and J. Song, Automated Measurement of Tool Wear Using An Image Processing System. Int. J. Japan Society Precision Engineering, Vol. 30, No. 2, pp. 112-117, 1996.* 2. *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.* 3. *Шapiro Л. Компьютерное зрение: Л. Шапиро, Дж. Стокман; Пер. с англ. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний 2006. – 752 с.*

**Bibliography (transliterated):** 1. *N. Sawai, H. Park, and J. Song, Automated Measurement of Tool Wear Using An Image Processing System. Int. J. Japan Society Precision Engineering, Vol. 30, No. 2, pp. 112-117, 1996.* 2. *Derev'janchenko O.G. Diagnostuvannya staniv rizal'nih instrumentiv pri precizijnij obrobci/ O.G. Derev'janchenko, V.D. Pavlenko, A.V. Andreev. – Odesa: Astroprint, 1999. – 184 s.* 3. *Shapiro L. Komp'yuternoe zrenie: L. Shapiro, Dzh. Stokman; Per. s angl. – M.: BINOM. Laboratorija znanij 2006. – 752 s.*

*Поступила в редколлегию 25.06.2014*