

УДК 621.9.01

**А.Г. ДЕРЕВЯНЧЕНКО**, д-р техн. наук,  
**Д.А. КРИНИЦЬИН**, Одесса, Україна

## **ПОДХОД К ФОРМИРОВАНИЮ МОДЕЛЕЙ СОСТОЯНИЙ РЕЖУЩЕЙ ЧАСТИ В СТРУКТУРЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ИНСТРУМЕНТОВ**

Приведені результати розробки моделей, що відображають як окремі стани різальної частини, так і їх динаміку із зносом інструменту. Моделі формуються за наслідками контролю інструментів з використанням систем технічного зору. Для цього в структурі інтелектуальної системи діагностування станів інструментів створений спеціальний програмний комплекс

Приведены результаты разработки моделей, отображающих как отдельные состояния режущей части, так и их динамику с износом инструмента. Модели формируются по результатам контроля инструментов с использованием систем технического зрения. Для этого в структуре интеллектуальной системы диагностирования состояний инструментов создан специальный программный комплекс.

The results of models development, representing both the separate cutting part states, and their dynamics with the tools wear are discussed. Models are formed as results of tolls control with the systems of technical sight using. For this purpose the special programm complex in structure of the intellectual system of tools diagnosing is created.

**Анализ предыдущих исследований.** Средства искусственного интеллекта (технического интеллекта [1]) все чаще используются в современном производстве. В комплексах, создаваемых для диагностирования состояний режущих инструментов (РИ), начинают применять системы технического зрения (СТЗ), методы и алгоритмы распознавания состояний РИ с предварительным обучением [2, 3] и др. Для обеспечения надежного многопараметрического прогнозирования отказов инструментов уже недостаточным оказывается распознавание отдельных состояний режущей части (РЧ). Требуется формирование

многоуровневых моделей динамики состояний РЧ. Поэтому тематика статьи представляется авторам актуальной.

**Целью настоящей статьи является** изложение некоторых результатов разработки моделей, отображающих как отдельные состояния РЧ, так и их динамику\* с износом инструмента, и соответствующего программного комплекса.

**Рассмотрим основные результаты исследований.** В ОНПУ разработаны основные модули интеллектуальной системы диагностирования состояний РЧ (ИСДСРЧ) и стендовые системы для мониторинга инструментов с использованием систем технического зрения. Основой для выполнения в ИСДСРЧ операций многопараметрического прогнозирования остаточного ресурса РЧ, определения момента смены инструмента и др. являются соответствующие модели динамики состояний (далее – “динамические модели”).

Для упрощения изложения материала примем, что “контрольной точкой” РЧ являются только задние поверхности РИ и обобщенная зона их износа ( $A_2^T$ ).

Рассмотрим развернутую структуру динамической модели  $A_2^T$  для последовательности состояний инструмента, зарегистрированных на отрезке периода стойкости – ресурса РИ:  $\hat{t} = 0 \dots T^K$  (здесь  $K$  – количество актов контроля РЧ). Она условно может быть представлена в виде отображения (1):

$$\nu: \{M_{A_2}^0, M_{A_2}^{T_1}, M_{A_2}^{T_2}, \dots, M_{A_2}^{T_i}, \dots, M_{A_2}^{T_K}\} \rightarrow M_{A_2}^{(0, T_K)}, \quad (1)$$

где:

$M_{A_2}^0, M_{A_2}^{T_1}, M_{A_2}^{T_2}, \dots, M_{A_2}^{T_i}, \dots, M_{A_2}^{T_K}$  – последовательность текущих (“единичных”) моделей отдельных состояний РЧ, зарегистрированных интеллектуальной системой за весь период эксплуатации инструмента (или за принадлежащий ему отрезок времени: от состояния “0” до состояния “K”);

---

\*Термин “динамика” используется здесь в контексте обозначения последовательных или внезапных изменений состояний РИ.

$\nu$  – отображение, здесь – обобщенный алгоритм формирования динамической модели РЧ по наборам текущих моделей, представляющих каждое из зарегистрированных состояний РЧ.

Примерами моделей класса  $M_{A_2}^{(0,T_K)}$  могут служить совмещенные наборы контуров зон износа задних поверхностей, построенные в рабочей плоскости; совмещенные 3D – модели  $A_2^T$ , построенные в инструментальной системе координат, и др. Могут строиться как графические, так и аналитические модели.

Модель (комплексный образ) РЧ для некоторого текущего состояния задней поверхности (модель состояния на момент T:  $M_{A_2}^{T_i} \subset M_{A_2}^{(0,T_K)}$ ) может быть представлена выражением (приводится в сокращенном варианте):

$$M_{A_2}^{T_i} = \left\{ I^{RGB}, I^{OS}, I^{BIN}, K^\Sigma, Tr^\Sigma, Pr^1, Pr^2, \Omega_i^{F[A_2^T]}, \dots, \Omega_j^{Tx[A_2^T]}, \dots, S^{F[A_2^T]}, Kr^{Tx[A_2^T]}, \dots, S^{Tx[A_2^T]}, \dots, C^{[A_2^T]} \right\}. \quad (2)$$

Раскроем содержание основных элементов (2):

$I^{RGB}$  – изображение  $A_2^T$  в формате RGB;

$I^{OS}$  – изображение  $A_2^T$  ”в оттенках серого”;

$I^{BIN}$  – изображение  $A_2^T$  бинарное;

$K^\Sigma$  – набор выделенных зон  $A_2^T$ ;

$Tr^\Sigma$  – набор выделенных внутренних контуров  $A_2^T$  и соответствующих участков изображений;

$Pr^1$  – набор первичных признаков формы зоны  $A_2^T$ ;

$Pr^2$  – набор вторичных признаков формы зоны  $A_2^T$ ;

$\Omega_i^{F[A_2^T]}$  – класс формы  $A_2^T$  (или форм внутренних контуров), распознанный с использованием одного из разработанных методов [3]. Можно записать:  $\Omega_i^{F[A_2^T]} \subset R^{F[A_2^T]}$ , где  $R^{F[A_2^T]}$  – множество классов форм  $A_2^T$ , каждый из которых отображает ту или иную структуру дефектов РЧ;

$\Omega_j^{Tx[A_2^T]}$  – класс текстуры (текстур)  $A_2^T$ , распознанный с использованием одного из разработанных методов [5]. Можно записать:  $\Omega_i^{Tx[A_2^T]} \subset W^{Tx[A_2^T]}$ , где  $W^{Tx[A_2^T]}$  – множество классов текстур, соответствующих поверхностям износа или разрушений РИ из различных инструментальных материалов. Каждый из них отображает тот или иной механизм изнашивания или разрушения РИ. В совокупности с оценками интенсивности изнашивания различных участков задних поверхностей РЧ (например – на основе анализа совмещенные 3D – модели  $A_2^T$  для ряда состояний РЧ в структуре  $M_{A_2}^{(0, T_k)}$ ) может выполняться уточнение результатов многопараметрического прогнозирования;

$S^F[A_2^T]$  – структура  $A_2^T$ , определенная по данным  $\Omega_i^F[A_2^T]$  и др.;

$Kr^{Tx[A_2^T]}$  – карта текстур  $A_2^T$ , формируемая с использованием  $Tr^\Sigma, \Omega_j^{Tx[A_2^T]}$ ;

$S^{Tx[A_2^T]}$  – структура  $A_2^T$ , дополненная результатами анализа  $Kr^{Tx[A_2^T]}$ ;

$C^{[A_2^T]}$  – класс состояния  $A_2^T$  (класс состояния РЧ) на момент контроля. Можно записать:  $C_i^{[A_2^T]} \subset C^{[A_2^T]}$ , где  $C^{[A_2^T]}$  – множество классов значимых состояний  $A_2^T$ .

Модель типа  $M_{A_2}^{T_i}$  (многоуровневый образ  $A_2^T$ ) является комплексной. Она формируется в результате многоуровневой обработки одного или нескольких (в зависимости от принятой схемы контроля и требуемой глубины диагноза) цифровых изображений РЧ. В структуре  $M_{A_2}^{T_i}$  может быть сформирована 3D – модель  $A_2^T$ , аналогичные модели отдельных информативных участков контактных поверхностей.

Определим основные типы данных элементов моделей типа  $M_{A_2}^{T_i}$  :

1.  $I^{RGB}, I^{OS}, I^{BIN}$  – цифровые матрицы (цифровые изображения РЧ);
2.  $K^\Sigma$  - наборы двумерных массивов координат точек контуров;

3.  $Tr^{\Sigma}$  – цифровые матрицы (изображения) зон определенной текстуры;
4.  $Pr^1, Pr^2$  – двумерные цифровые массивы данных - признаки формы и текстур;
5.  $\Omega_i^{F[A_2^T]}$  – номер или код распознанного класса формы  $A_2^T$  ;
6.  $\Omega_j^{Tx[A_2^T]}$  – номер или код распознанного класса текстур  $A_2^T$  ;
7.  $S^{F[A_2^T]}$  – матрица структуры  $A_2^T$  ;
8.  $Kr^{Tx[A_2^T]}$  – множество двумерных массивов контуров – границ зон  $A_2^T$  с однородной текстурой (соответствующей тому или иному механизму изнашивания контактной поверхности), определенных на матрицах  $I^{OS}$  ;
9.  $S^{Tx[A_2^T]}$  – матрица структуры  $A_2^T$  , дополненная и уточненная по результатам текстурного анализа (анализа  $\Omega_j^{Tx[A_2^T]}$ ,  $Kr^{Tx[A_2^T]}$  );
10.  $C^{[A_2^T]}$  – класс состояния  $A_2^T$  , обозначаемый номером или кодом.

В структуре моделей типа  $M_{A_2}^{(0, T_k)}$  могут определяться параметры текущей геометрии РЧ, значения интенсивности изнашивания  $A_2^T$  и отдельных ее участков, и др.

Часть данных моделей класса  $M_{A_2}^{T_i}$  используется для текущего прогнозирования остаточного ресурса, часть – для накопления информации в БД и последующей обработки.

Поскольку контроль РИ может выполняться вне зоны и вне процесса обработки (например – в инструментальном магазине станка), временные затраты на построение моделей не являются критичными для процесса обработки. Несмотря на кажущуюся информационную избыточность моделей типа  $M_{A_2}^{T_i}$ ,  $M_{A_2}^{(0, T_k)}$ , они (по мнению авторов) явятся платформой для создания распределенных “многопользовательских” интеллектуальных систем диагностирования состояний РИ с использованием интернет – технологий.

Покажем, как формируются некоторые из элементов  $M_{A_2}^{T_i}$  в структуре ИСДСРЧ.

После предобработки изображений  $A_2^T$  выделяется комплекс признаков формы и других параметров зоны износа или скола РЧ ( $Pr^1, Pr^2$ ), которые затем поступают на вход комплексного классификатора формы - КЛФ (рис. 1). На выходе КЛФ формируется  $\Omega_i^{F[A_2^T]}$ .

В состав КЛФ входит ряд модулей, в том числе:

– программные комплексы, реализующие методы сокращения размерности пространства диагностических признаков – метод полного перебора (МПП), метод сокращенного перебора (МСП) [4], метод комплексного перебора (МКП) [3];

– программные комплексы, реализующие известные и модифицированные методы распознавания – метод максимального правдоподобия (КММП), комплексный модифицированный (ККМ), нейросетевой классификатор (КНС), нейросетевой нечеткий классификатор (КННС) [3 – 7 и др.].

Выбор метода и классификатора обусловлен особенностями решаемой задачи.

В базе знаний (БЗ), обменивающейся информацией с БД расширенного динамического образа (динамической модели) БД РДО РЧ, содержатся решающие правила для распознавания форм (РПФ) зон износа.

В состав ИСДСРЧ входят также такие модули, как комплексный классификатор текстур, модуль многопараметрического прогнозирования остаточного ресурса и мн. др.

Для формирования, обработки, анализа и хранения моделей отдельных состояний и динамики состояний РЧ создан специальный программный комплекс.

Некоторые из его рабочих панелей представлены на рис. 2 – 7.

В ряде случаев в качестве “контрольной точки” РЧ принимают режущие кромки – РК ( $L_3^T$ ) инструмента.

Фрагменты рабочих этапов формирования соответствующей динамической модели представлены на рис. 7.

В левой части каждого рисунка показаны фрагменты таблиц – массивов координат точек проекций РК на основную плоскость.

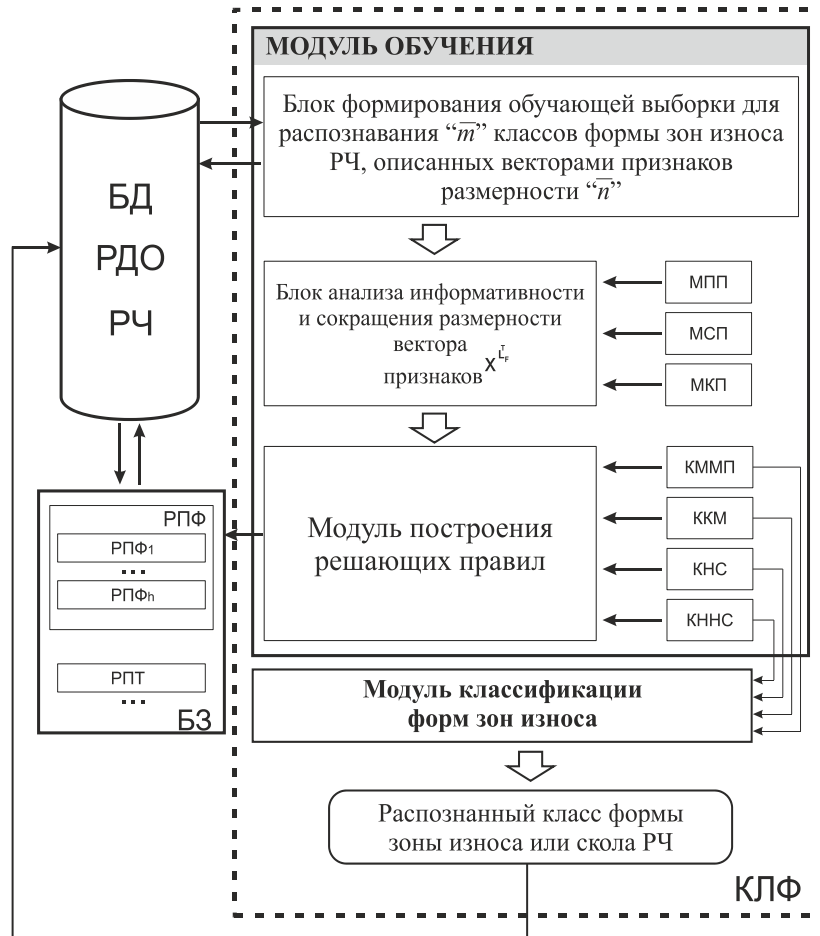


Рисунок 1 – Структурная схема одного из модулей ИСДСРЧ – комплексного классификатора форм зон износа и зон разрушений режущей части РИ

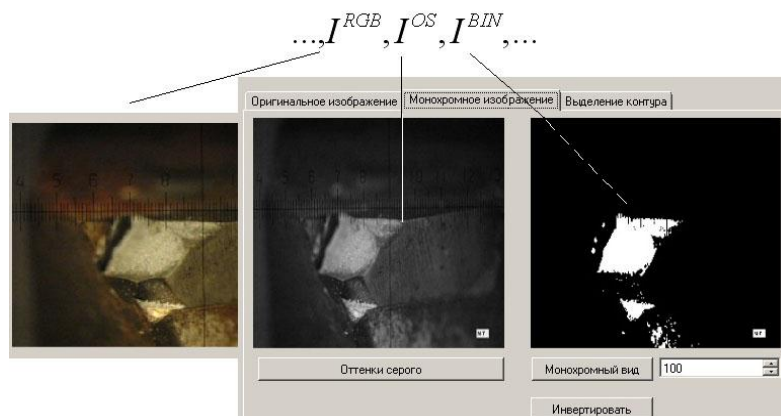


Рисунок 2 – Панель программного комплекса, в которой отображены некоторые из компонентов модели  $A_2^T$  для резца в состоянии отказа (здесь – изображения зоны скола РЧ)

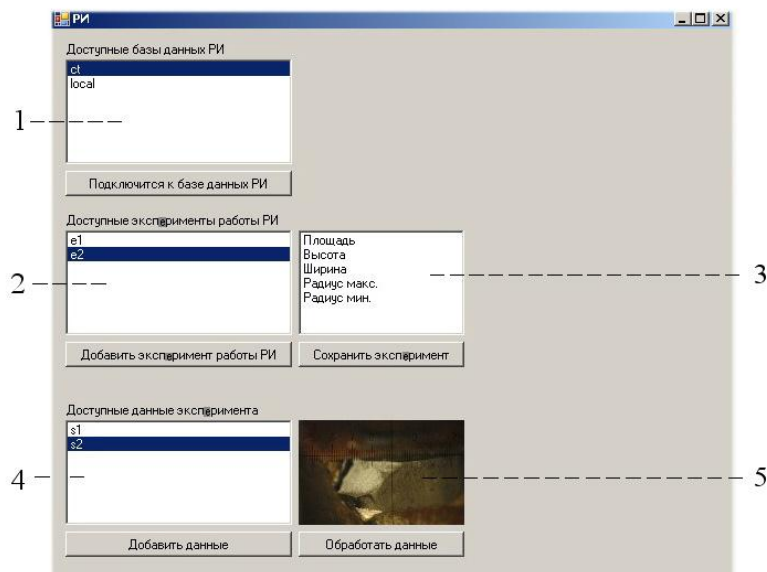


Рисунок 3 – Панель, в которой отображаются признаки наиболее информативные для данного класса состояния РЧ:  
 1 – окно БД; 2 – окно индикации номеров партий экспериментов;  
 3 – окно параметров; 4 – окно индикации обозначений экспериментальных наборов данных; 5 – изображение РЧ (здесь – изображение зоны скола)

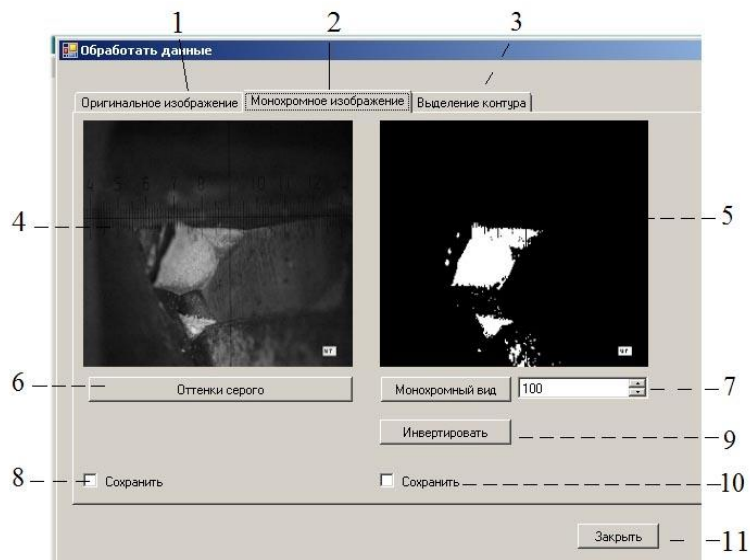


Рисунок 4 – Панель, в которой отображаются все этапы выделения множества контуров на изображении РЧ:  
 1-3 – названия рабочих окон; 4 – изображение зоны скола РЧ (“в оттенках серого”); 5 – окно контуров РЧ; 6-10 – элементы управления операциями над изображением РЧ



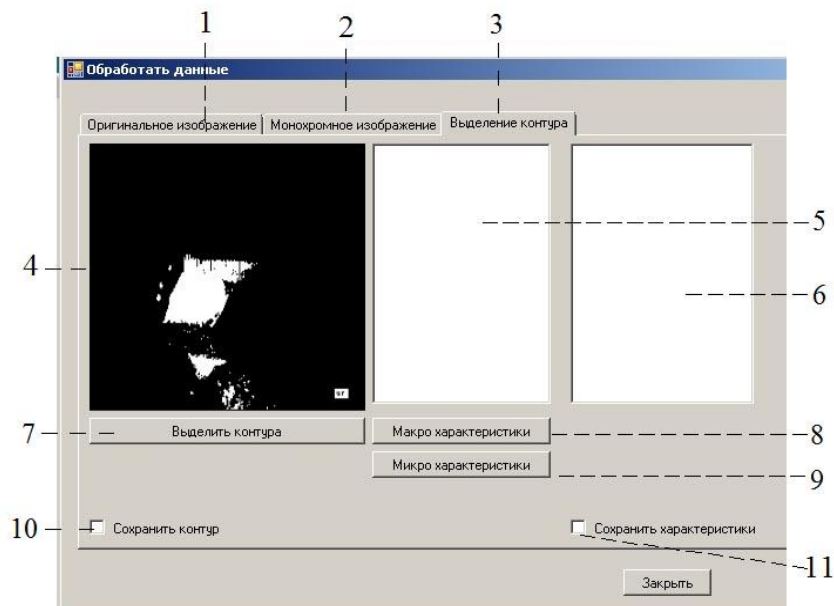


Рисунок 5 – Панель, в которой последовательно задаются варианты расчета признаков контуров зон РЧ – здесь зона скола (с определением макро- и микрохарактеристик контура): 1-3 – названия рабочих окон; 4-6 – рабочие окна; 7-11 – операции над изображением РЧ

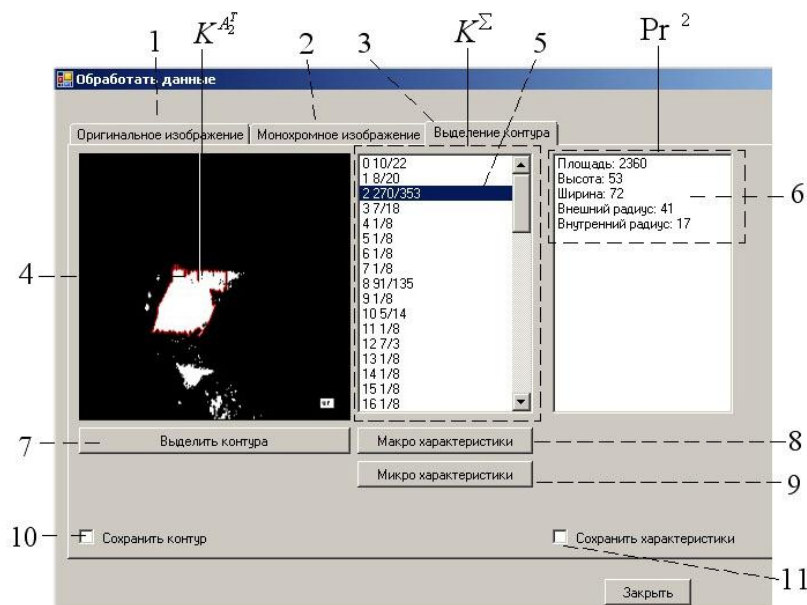


Рисунок 6 – Панель индикации наборов выделенных контуров

в зоне  $A_2^T$  и соответствующих признаков:

1-3 – названия рабочих окон; 4 – окно с изображением текущего выделенного контура; 5 – номер контура; 6 – параметры выделенного контура; 7-11 – элементы управления операциями над контурами

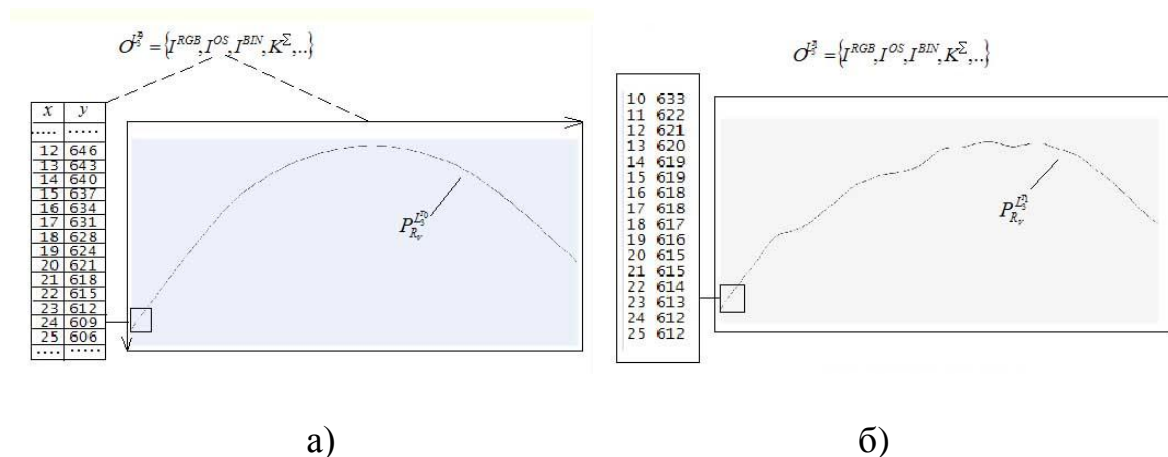


Рисунок 7 – Представление двух этапов формирования динамической модели режущих кромок РЧ для двух последовательных состояний РИ – контуры режущих кромок в исходном (а) и рабочем (б) состояниях резца

**Выводы.** 1. Разработан подход к формированию новых комплексных моделей, отображающих как отдельные состояния режущей части, так и их динамику с износом инструмента. Модели строятся по результатам контроля инструментов с использованием систем технического зрения. 2. В структуре интеллектуальной системы диагностирования состояний инструментов создан соответствующий специальный программный комплекс. Проведены его испытания для построения моделей динамики состояний и отказа резцов, показавшие его работоспособность и перспективность использования для решения комплекса задач ИСДСРЧ.

**Список использованных источников:** 1. 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, Р.Г. Долищинский//Резание и инструмент в технологических системах. – Харьков: НТУ “ХПИ”. 2011 – Вып. 80. – С. 68 – 75. 2. Горелик А.Л. Методы распознавания. Учебн. пособие / Горелик А.Л., Скрипкин В.А. – М.: Высшая школа, 1984. – 208 с. 3. Деревянченко А.Г. Повышение качества системы поддержания работоспособности инструментов с использованием нечеткого нейросетевого классификатора их состояний/ Деревянченко А.Г., Фомин А.А, Фомина О.В. //Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія "Машинобудування і машинознавство". Випуск 7 (166). Донецьк: Дон НТУ, 2010. – С. 177-184.

**Bibliography (transliterated):** **1.** *Derevjanchenko A.G.* Podhod k raspoznavaniju sostojanij poverhnostej rezhushhej chasti instrumentov s uchetom rezul'tatov analiza ih tekstur./ A.G. Derevjanchenko, O.Ju. Babilunga, A.O.Socenko, R.G. Dolishhinskij//Rezanie i instrument v tehnologicheskikh sistemah.- Har'kov: NTU "HPI". 2011 — Vyp. 80. – S. 68-75. **2.** *Gorelik A.L.* Metody raspoznavanija. Uchebn. posobie / Gorelik A.L., Skripkin V.A. - M.: Vysshaja shkola, 1984. – 208 s. **3.** *Derevjanchenko A.G.* Povyshenie kachestva sistemy podderzhaniya rabotosposobnosti instrumentov s ispol'zovaniem nechetkogo nejrosetevogo klassifikatora ih sostojanij/ Derevjanchenko A.G., Fomin A.A, Fomina O.V. //Naukovi praci Donec'kogo nacional'nogo tehničnogo universitetu. Serija "Mashinobuduvannja i mashinoznavstvo". Vipusk 7 (166). Donec'k: Don NTU, 2010. – S. 177-184.