

УДК 621.9

А.Г. ДЕРЕВЯНЧЕНКО, д-р техн. наук,
Т.В. КОЖУХАРЬ,
С.К. ВОЛКОВ, Одесса, Україна

КОМПЛЕКСНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ КЛАССОВ ДЕФЕКТОВ ПОВЕРХНОСТЕЙ И СТРУКТУР МАТЕРИАЛОВ

Комплексна система для розпізнавання класів дефектів поверхонь і структур матеріалів. Розглянуто лабораторну комплексну систему, яка забезпечує розпізнавання класів зовнішніх дефектів робочих поверхонь інструментів і деталей машин, дефектів зварних швів, структур конструкційних матеріалів і ін. До її складу входить система технічного зору з набором WEB - камер і різні мікроскопи. Розроблено алгоритмічне і програмне забезпечення, яке дозволило сформулювати класифікатори для розпізнавання названих дефектів.

Ключові слова: дефекти поверхонь, класифікатори дефектів

Комплексная система для распознавания классов дефектов поверхностей и структур материалов. Рассмотрена лабораторная комплексная система, которая обеспечивает распознавание классов наружных дефектов рабочих поверхностей инструментов и деталей машин, дефектов сварных швов, структур конструкционных материалов и др. В ее состав входит система технического зрения с набором WEB - камер и различные микроскопы. Разработано алгоритмическое и программное обеспечение, которое позволило сформировать классификаторы для распознавания названных дефектов.

Ключевые слова: дефекты поверхностей, классификаторы дефектов

Complex system for classes of surfaces defects and materials structures recognition. It is considered laboratory complex system, which provides recognition of classes of outward defects of working surfaces of tools and details of machines, defects of the welded stitches, structures of construction materials. The system of technical sight with the WEB set is its member, and different metallography microscopes. Algorithmic software, which allowed to form classifiers for recognition of the adopted defects, is developed.

Keywords: surfaces defects, classifiers for recognition defects

В учебном процессе кафедры технологии конструкционных материалов и материаловедения (ТКММ) ОНПУ магистрами изучается ряд дисциплин, посвященных современным методам контроля качества деталей и соединений, инженерии их поверхностей и распознавания их дефектов, исследованию различных параметров материалов деталей и покрытий, распознаванию структур материалов, разработке соответствующих современных интеллектуальных систем. Поэтому возникла необходимость разработки комплексной лабораторно системы, ориентированной на обеспечение названных методов. В связи со спецификой объектов контроля и диагностирования – наружных дефектов, компонентов структур и др. – в качестве основной подсистемы для получения соответствующей информации выбрана система технического зрения (СТЗ).

В состав разрабатываемой комплексной системы (КС) входят следующие компоненты: 1. Подсистема автоматизированного определения параметров наружных дефектов сварных швов и распознавания их классов; 2. Подсистема автоматизированного определения параметров наружных дефектов рабочих поверхностей деталей и распознавания их классов; 3. Подсистема автоматизированного определения параметров компонентов структуры материалов и распознавания их классов; 4. Подсистема автоматизированного определения микротвердости участков поверхностей шлифов (в частности – шлифов покрытий); 5. Подсистема автоматизированного определения параметров состояния рабочих поверхностей режущих инструментов, распознавания их рабочих состояний и прогнозирования остаточного ресурса (подробно исследована в работах [1, 2] и здесь не рассматривается).

Целью статьи является рассмотрение некоторых из предварительных результатов разработки названных компонентов КС в исследовательской лаборатории кафедры ТКММ ОНПУ. Базовый программный комплекс обработки изображений разработан совместно с к.т.н. Криницыным Д.А [1, 2]. Набор образцов сварных соединений с различными типами наружных дефектов швов любезно предоставлен кафедре ТКММ ОНПУ руководством Одесского общества сварщиков. Кафедра сотрудничает с Одесским центром «Плазмотехнологии» (СПД – Федюк В.И.) и Одесским центром «Сварка и восстановление деталей». В ходе этого сотрудничества планируется исследование дефектов деталей и соединений, подлежащих восстановлению.

Предварительно рассмотрим общий подход к распознаванию классов дефектов и компонентов структур. В разрабатываемой КС многоуровневое распознавание классов наружных дефектов поверхностей и соединений, компонентов структур по их цифровым изображениям основано на использовании признаков формы контуров дефектов, признаков внутренних текстур дефектов, цветовых составляющих и др. В данной работе кратко освещено использование только признаков формы контуров дефектов. Рассмотрим основные положения используемого подхода к обработке цифровых изображений, базирующегося на материалах работ [3-5]. Исходная (A) и преобразованная (B') матрицы цифрового изображения зоны и контура дефекта с известными параметрами пикселей ($\Delta x, \Delta y$) являются основой для расчета комплекса первичных, основных и вторичных параметров контуров, используемых при распознавании классов формы. Соответствующие зависимости (рис.1) составлены на основе данных работ [3, 4].



Рисунок 1 – Некоторые из зависимостей для определения первичных, основных (а) и вторичных (б) признаков формы контуров поверхностных дефектов и компонентов структур материалов

При разработке математического обеспечения и алгоритмов распознавания использовались базовые работы по теории распознавания образов, в частности [4-8]. Для распознавания классов форм дефектов выбраны статистические методы распознавания [2, 7] и метод эталонов [7, 8]. После выбора метода распознавания выполняется анализ множества признаков формы (S_i^F ($i = 1..u$)), где: u – первичное количество признаков) контуров на информативность с использованием методов полного и сокращенного перебора [2] – с целью сокращения его размерности. Вследствие этого множество признаков сокращается до размера u_i ($u_i \ll u$). Каждый класс формы характеризуется соответствующим вектором:

$$S^F = (S_1^F, S_2^F, S_3^F, \dots, S_i^F, \dots, S_{u_i}^F).$$

Этот вектор и множество других принадлежат пространству классов компонентов структур размерности u_i , включающему множество классов форм контуров тех или иных дефектов - $\Omega_1^{FD}, \Omega_2^{FD}, \Omega_3^{FD} \dots \Omega_p^{FD}$. На стадии обучения системы распознавания формируются решающие правила, совокупность которых образует классификатор соответствующих дефектов. Перейдем к описанию основных подсистем КС.

Рассмотрим подсистему для автоматизированного определения параметров наружных дефектов сварных швов и распознавания их классов. Ее общие виды приведены на рис. 2. На стойке 2, установленной на основе 1, крепится монтажная траверса 3 подсистемы освещения 9 участка шва. Объект

контроля (сварной шов 6) соединяет две пластины 5. На traversе 4 собрано устройство линейных перемещений цифровой камеры 7 относительно контролируемого участка шва. На него направляется световой поток от системы подсветки 9. Отраженный поток поступает в объектив цифровой камеры 7. После предобработки на экране ПК (10) формируется цифровое изображение 8 участка шва. Дистанционное управление подсистемой может выполняться с использованием пульта 11. Рассмотрим пример выявления дефектов швов (рис. 3-5).

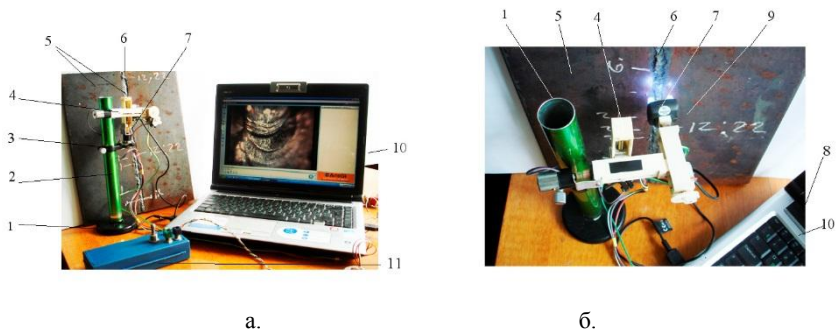


Рисунок 2 – Общие виды подсистемы распознавания наружных дефектов сварных швов

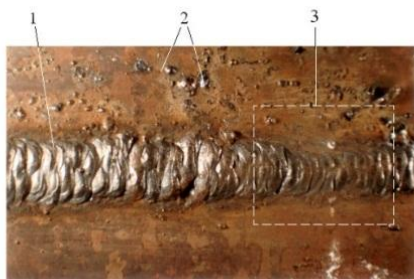


Рисунок 3 – Фрагмент изображения участка шва 1 с дефектами двух классов (2 – «брызги» [9], 3 – резкое изменение ширины шва)

На рис. 4-5 приведено изображение рабочих панелей специального программного комплекса, который обеспечивает получение набора признаков для распознавания классов дефектов.

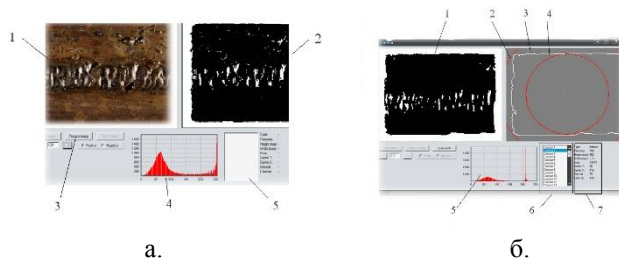


Рисунок 4 – Изображения рабочей панели комплекса обработки изображения сварного шва (этап формирования бинарного изображения 2 по исходному (1), гистограммы яркости 4 и окна параметров 5 (3 – одна из кнопок управления)) – а.; изображения рабочей панели комплекса обработки изображения сварного шва (этап определения комплекса геометрических параметров шва: 1 – бинарное изображение; 2 и 4 – контуры вписанной и описанной окружностей вокруг элемента шва 3; 5 – гистограмма яркости; 6 – панель выделяемых контуров; 7 – набор параметров одного из контуров элемента шва) - б.

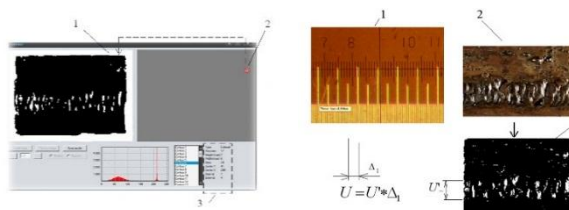


Рисунок 5 – Изображения рабочей панели комплекса обработки изображения сварного шва (этап выявления дефекта класса «брызги»: 1 – дефект на бинарном изображении; 2 – его контур, выделенный вне зоны шва) – а.; использование мерных шкал (1) для определения размеров дефектов шва на изображениях (2, 3) и параметров их расположения - б.

Перейдем к рассмотрению подсистемы для автоматизированного определения параметров наружных дефектов рабочих поверхностей деталей и распознавания их классов. Укрупненная структура подсистемы включает следующие аппаратные и программные элементы: 1. Объект контроля - деталь, дефекты рабочих поверхностей которой подлежат распознаванию; 2. Цифровая камера; 3. Система освещения дефектной поверхности; 4. Устройство перемещения цифровой камеры в трех направлениях; 5. Пульт дистанционного управления; 6. Специализированная система технического зрения; 7. ПК; 8. Программный модуль обработки цифровых изображений дефектных поверхностей; 9. Программный модуль выделения контуров дефектов; 10. Программный модуль определения комплекса информативных параметров контуров; 11 - программный модуль определения комплекса

параметров текстур зон дефектов; 12 - программный модуль - комплексный классификатор для распознавания классов дефектов; 13 – база данных, где накапливаются результаты распознавания (классы дефектов и материалы их статистического анализа).

На рис. 6 приведены общие виды подсистемы контроля наружных дефектов рабочих поверхностей деталей (на примере контроля дефектов детали «распредвал»).

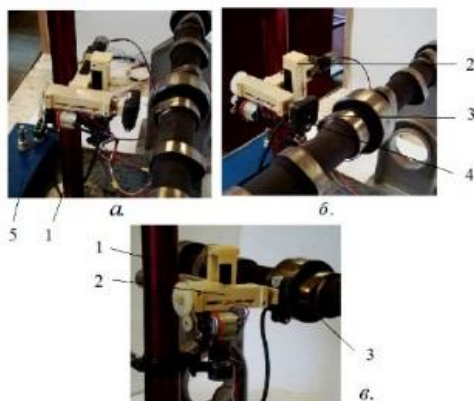


Рисунок 6 – Общие виды подсистемы контроля и распознавания наружных дефектов рабочих поверхностей деталей

Приняты следующие обозначения: 1 – монтажная стойка; 2 – устройство перемещения цифровой камеры в 3-х направлениях; 3 – цифровая камера; 4 – система подсветки; 5 – пульт дистанционного управления подсистемой. На рис. 7 приведены фрагменты изображений рабочих панелей, обеспечивающих выделение контуров дефектов и определение признаков их формы.

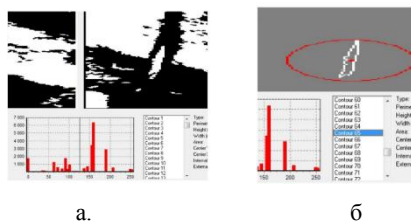


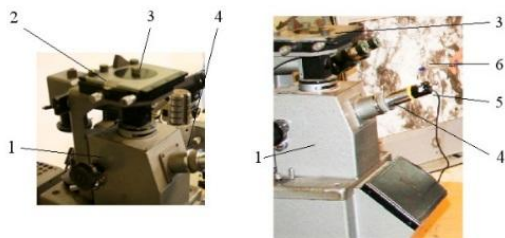
Рисунок 7 – Виды окон программного комплекса с цифровым бинарным изображением зоны дефекта (трещины) на поверхности детали (а) с фрагментом панели для определения размеров, ориентации дефекта и его формы (б).

Рассмотрим подсистему для автоматизированного определения параметров компонентов структуры материалов и распознавания их классов. В структуре исследований свойств материалов и состояний поверхностей деталей в современном материаловедении важное место занимает распознавание компонентов структур материалов. Соответствующие методы, системы и приборы отображены во многих научных трудах отечественных и зарубежных авторов. Вопросам соответствующих исследований с использованием компьютерных технологий и систем посвящены работы Русина Б.П. и Досина Д.Г., Гонтового С.В. и Емельянова В.А., Калининой Н.Ю., Михалева О.И. и Помулева В.И., Скобло Т.В. и многих других. Существует ряд современных специализированных автоматизированных и автоматических систем для распознавания компонентов структур материалов. Но во многих лабораториях и предприятиях еще и до сих пор используют металлографические микроскопы мод. МИМ-7. Поэтому он и использован в разрабатываемой подсистеме КС.

Структура подсистемы содержит следующие основные элементы:

1. Шлиф материала детали;
2. WEB-камера СТЗ, размещенная в тубусе окуляру микроскопа;
3. Собственно микроскоп мод. МИМ-7;
4. ПК;
5. Программный модуль предобработки цифрового изображения шлифа;
6. Программный модуль выделения контуров компонентов структур материалов;
7. Программный модуль определения параметров формы компонентов структур материалов;
8. Программный модуль определения комплекса параметров текстуры компонентов структур материалов;
9. Комплексный классификатор для распознавания классов компонентов структур материалов;
10. База данных с результатами распознавания (выявленные классы компонентов структур материалов и параметры качества распознавания). Общие виды рабочих зон металлографического микроскопа приведены на рис. 8.

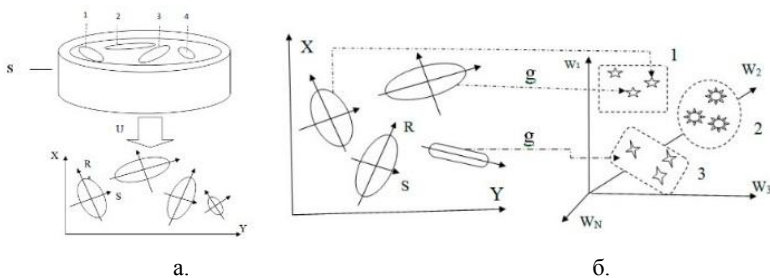
Процесс формирования информативной зоны шлифа с набором компонентов структуры материала представлен схематически на рис. 9.а. Здесь S – модель шлифа образца материала, в условной информативной зоне которого выделены модели компонентов структуры 1–4. Предобработка изображения (U) обеспечивает выделение контуров компонентов в общей системе координат изображения (X, Y) и формирование локальных систем координат каждого контура (R_i, S_i). Процесс распознавание классов компонентов структур материала в соответствующем пространстве признаков W размерности N укрупненно и условно показан на рис. 9, б.



а. б.

Рисунок 8 – Общие виды рабочих зон металлографического микроскопа мод. МИМ-7, использованного в подсистеме автоматизированного определения параметров компонентов структуры материалов и распознавания их классов. (1 – корпус микроскопа; 2 – предметный столик; 3 – анализируемый микрошлиф; 4 – тубус окуляра микроскопа; 5 – цифровая камера; 6 – экран монитора с цифровым изображением поверхности микрошлифа)

Процесс обучения системы распознавания (условно обозначен как g) обеспечивает формирование набора классов форм компонентов, которым в пространстве W соответствуют области 1, 2, 3.



а. б.

Рисунок 9 – Схематическое представление процесса формирования информативной зоны шлифа с набором компонентов структуры материала (а) и процесса распознавание классов компонентов структуры материала в соответствующем пространстве признаков (б)

Фрагменты укрупненной блок – схемы алгоритма распознавания классов компонентов структуры материала по цифровому изображению его шлифа приведены на рис. 10.

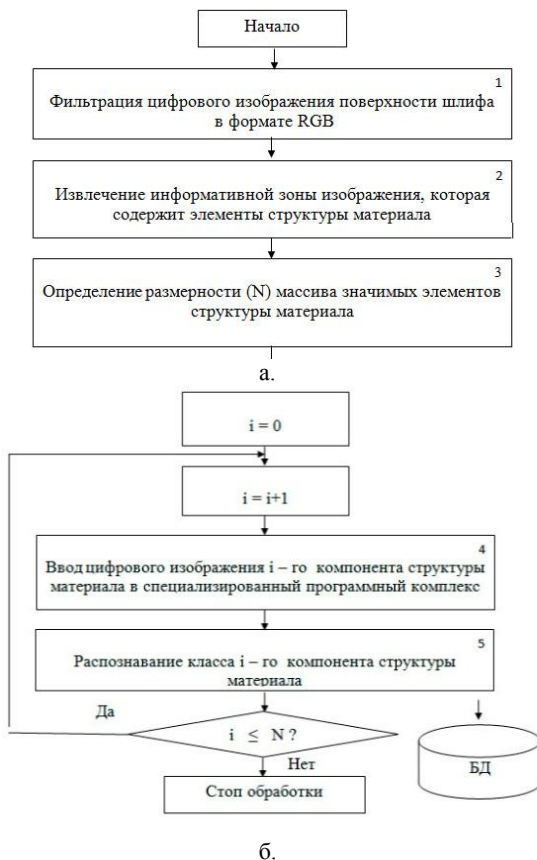


Рисунок 10 – Фрагменты блок – схемы алгоритма распознавания классов компонентов структуры материала по цифровому изображению его шлифа (а – предварительная обработка и определение комплекса признаков форма контура компонента структуры: б - собственно распознавание класса)

Рассмотрим некоторые из результатов предварительной обработки изображения шлифа материала для определения информативных признаков формы компонентов структур. Цифровое изображения информативной зоны микрошлифа детали из серого чугуна СЧ 15 приведено на рис. 11, а; фрагменты результатов его предварительной обработки показаны на рис. 11, б, в.

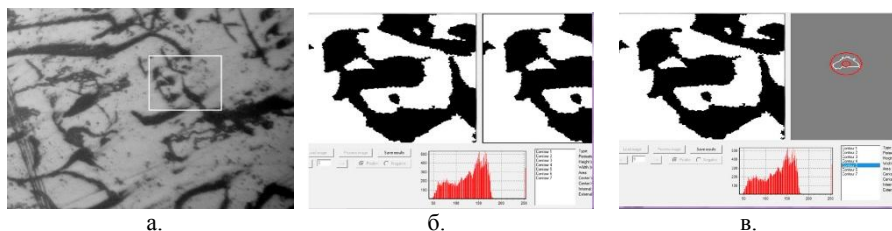


Рисунок 11 – Пример предварительной обработки цифрового изображения информативной зоны микрошлифа детали из серого чугуна СЧ 15
 (а) – зона анализа выделена белым квадратом; б – бинарное изображение компонентов структуры; в – предварительный результат выделения контура одного из компонентов и определения набора его параметров формы

Рассмотрим пример работы подсистемы автоматизированного определения микротвердости образца (рис. 12).

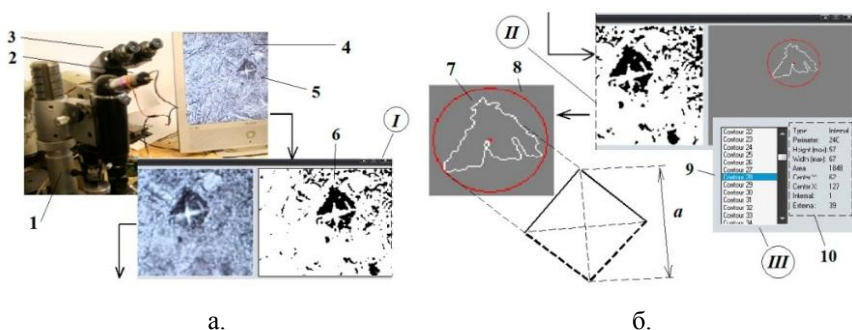


Рисунок 12 – Схема автоматизированного определения микротвердости образцов

Приняты следующие обозначения: 1 – микротвердомер мод. ПМТ-3; 2 - WEB-камера СТЗ, заменившая окуляр; 3 – бинокулярный микроскоп для предварительного исследования контролируемых образцов; 4 – экран монитора с изображением отпечатка 5, оставленного алмазной пирамидкой; 6 – бинарное изображение отпечатка пирамидки в структуре рабочей панели I; 7 – полуконтур отпечатка с описанной окружностью 8 в структуре рабочей панели II; 9, 10 – окна параметров полуконтура отпечатка в структуре рабочей панели III; а – размер диагонали отпечатка, по которому с использованием известной формулы определяется микротвердость.

В заключение отметим, что предварительные исследования подсистем разрабатываемой КС и соответствующего программного

обеспечения на ряде экспериментальных образцов подтвердили их работоспособность. Дальнейшие исследования будут направлены на повышение качества распознавания. В настоящее время некоторые из компонентов КС уже используются в учебном процессе и исследовательских работах (совместно с магистрами кафедры ТКММ ОНПУ).

Список литературы: 1. *Деревянченко А.Г.* Интеллектуальная система диагностирования отказов и прогнозирования ресурса режущих инструментов/ *Деревянченко А.Г., Криницын Д.А.*. – Одесса: Астропринт. 2012. – 202 с. 2. Интеллектуальные системы распознавания состояний режущих инструментов/ *Деревянченко А. Г., Павленко В. Д., Фомин А.А., Павленко С.В., Бовнегра Л.В.*. – Одесса: Астропринт. 2013. – 300 с. 3. *Шмидт Д., Шварц В.* Оптоэлектронные сенсорные системы. — Пер. с нем. — М.: Мир, 1991. 4. *Шапиро Л., Стокман Дж.* Компьютерное зрение. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний. –2006. 5. *Гонсалес Р., Вудс Р.* Цифровая обработка изображений.- М.: Техносфера. 2006. – 615 с. 6. *Форсайт П.* Компьютерное зрение. Современный подход. –М.: Издательский дом Вильямс. – 2004 – 928 с. 7. *Горелик А.Л.* Методы распознавания / *Горелик А.Л., Скрипкин В.А.*. – М.: Высшая школа. 1984 – 208 с. 8. *Васильев В.И.* Распознающие системы. Справочник. – Киев: Наукова думка. 1983.– 216 с. 9. *Настанова з візуального і вимірювального контролю зварних з'єднань та наплавки металевих конструкцій.* - ДСТУ-Н Б А.3.1-11:2008. – 63 с.

Bibliography (transliterated): 1. *Derevjanchenko A.G.* Intel'ktual'naja sistema diagnostirovanija otkazov i prognozirovanija resursa rezhushchih instrumentov/ *Derevjanchenko A.G., Krinicyн D.A.*. – Odessa: Astroprint. 2012. – 202 s. 2. Intel'ktual'nye sistemy raspoznavanija sostojanij rezhushchih instrumentov/ *Derevjanchenko A. G., Pavlenko V. D., Fomin A.A., Pavlenko S.V., Bovnegra L.V.*. – Odessa: Astroprint. 2013. – 300 s. 3. *Shmidt D., Shvarc V.* Optoelektronnye sensornye sistemy. — Per. s nem. — M.: Mir, 1991. 4. *Shapiro L., Stokman Dzh.* Komp'juternoe zrenie. – M.: BINOM. Laboratorija znaniy. –2006. 5. *Gonsales R., Vuds R.* Cifrovaja obrabotka izobrazhenij.- M.: Tehnosfera. 2006. – 615 s. 6. *Forsajt P.* Komp'juternoe zrenie. Sovremennyj podhod. –M.: Izdatel'skij dom Vil'jams. – 2004 – 928 s. 7. *Gorelik A.L.* Metody raspoznavanija / *Gorelik A.L., Skripkin V.A.*. – M.: Vysshaja shkola. 1984 – 208 s. 8. *Vasil'ev V.I.* Raspoznajushhie sistemy. Spravochnik. – Kiev: Naukova dumka. 1983.– 216 s. 9. *Nastanova z vizual'nogo i vimirjuval'nogo kontrolju zvarnih z'ednan' ta naplavok metaljevih konstrukcij.* - DSTU-N B A.3.1-11:2008. – 63 s.