

УДК 004.932:667.61

DOI: 10.30987/1999-8775-2021-11-11-19

Н.М. Антонова, Е.Ю. Хаустова

## ОЦЕНКА ДЕФЕКТОВ ПОВЕРХНОСТИ ИЗДЕЛИЙ С ПОМОЩЬЮ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Разработана программа для ЭВМ, которая позволяет производить экспресс-анализ локальных неоднородностей исследуемых поверхностей независимо от способа регистрации изображения и характера происхождения дефектов за время 1-2 секунды. Представлены выводы о возможности при-

менения программы для количественной оценки площади дефектов, включений, пор, зон распределения химических элементов на поверхности изделий и покрытий.

**Ключевые слова:** цифровая обработка, изображения, дефект, поверхность, экспресс-анализ.

N.M. Antonova, E.Y. Khaustova

## EVALUATION OF SURFACE DEFECTS OF PRODUCTS USING DIGITAL TECHNOLOGIES

The suggested approach provides an opportunity under the conditions of enterprises to give a comprehensive view of products defects and functional coatings imperfections. The application of the computer program developed in the Microsoft Visual Studio environment, which allows digital image processing of the studied surfaces to estimate the area of external defects of materials, regardless of the nature of the origin of defects and the method of image acquisition, is proved.

Research methods. Digital images of metal surfaces and coatings obtained by energy dispersive microanalysis, electron and optical microscopy have been tested.

Research results and novelty. The possibility of using the program for evaluation of surface bands with local chemical and morphological inhomogeneities, determination of the porosity of materials is shown.

The possibility of express evaluation of digital images of objects at macro-, meso- and microstructural levels for automated diagnostic control of surface defects within 1-2 seconds is implemented. Disaggregation of brightness, texture and color components of the image significantly increases the speed and efficiency of image processing structures.

Conclusions: The proposed program is versatile, does not require special user skills and serves as a convenient tool for analyzing and controlling the quality of objects of various physico-chemical nature. The results of the study indicate that the application of the developed computer program makes effective quantitative calculation of the area of local defects, areas of distribution of chemical elements, various inclusions, surface porosity of products and coatings possible.

**Key words:** digital processing, images, defect, surface, express analysis.

### Введение

Развитие промышленности предъявляет высокие требования к производству материалов. Независимо от жизненного цикла материалов – от проектирования новых перспективных материалов и выпуска уже существующих, до их утилизации, контроль качества изделий остается приоритетной задачей. Дефекты структуры материалов являются причиной брака и ухудшения функциональных свойств и эксплуатационных характеристик изделий. В основе многих диагностических методов контроля лежит визуальный контроль качества продукции, что увеличивает субъек-

ektivnost' получаемой оценки. На непрерывных линиях производства на результат контроля влияют монотонность действий, уменьшение внимания, острота зрения специалиста. В качестве примера можно привести метод решетчатых надрезов, применяемый для оценки адгезии лакокрасочных покрытий, согласно которому площадь отслоения покрытия определяется визуально, «на глазок», и затем переводится в баллы [1]. Помимо субъективности получаемого результата, имеет место трудоемкость и длительность времени проведения испытания. Поэтому актуальной за-

дачей является более полное выявление дефектов за счет повышения информативности и чувствительности старых методов контроля продукции, а также разработка новых методов регистрации и идентификации с применением цифровых технологий.

Цифровые методы обработки изображений позволяют эффективно решать проблемы, нередко возникающие при использовании классических методов регистрации (фотоупругости, рентгеновской топографии), связанных с качеством фотоэмульсии, контрастности, неоднородности и зернистости изображений фотопленки. В настоящее время велико число исследований как в России, так и за рубежом, связанных с совершенствованием методов обработки изображений. Метод дискретного вейвлет – анализа для экспресс-диагностики дефектов веществ различной физико-химической природы предложен в работах [2-4]. Значительная часть работ посвящена совершенствованию и оптимизации метода глубинной сегментации изображений, с использованием модифицированного алгоритма преобразования Фурье [5], предпринимаются попытки унифицировать режимы сегментации по источникам получения изображений - видимых, рентгеновских, тепловых (тепловых карт) и изображений инфракрасного излучения [6-7]. Для решения отдельных задач регистрации изображений широко используется пиксельный подход, его часто сочетают с использованием нейронных сетей, что в свою очередь, приводит к необходимости оптимизации сетей [8-12].

### Материалы и методы

Программа для оценки площади дефектов поверхности реализована на языке C++, в среде разработки *Visual Studio* [19]. Для цифрового анализа используются изображения объектов в формате ".jpg", ".jpeg" и ".png". Использован пиксельный подход: в ходе обработки программа анализирует и проводит сравнение каждого пикселя по его интенсивности относительно выбранного порога, с использованием библиотеки компьютерного зрения в реальном времени *OpenCV*. В процессе рас-

Однако универсальных решений, связанных с оптимизацией роста и расширения сетей, в настоящее время не существует [13]. Следует отметить, что вышеуказанные работы связаны с решениями достаточно общих задач анализа и обработки видеоинформации. Исследований, посвященных практическим задачам, связанным с контролем дефектов по цифровым изображениям, в условиях промышленных предприятий, мало [13-18]. В свою очередь, для решения практических задач предлагаются решения, позволяющие получать результаты для конкретных объектов – дефектов структуры монокристаллов [16], шероховатости деталей [15], дефектов изделий порошковой металлургии [14] и т.д. Практически все изложенные исследователями решения требуют наличия специальных навыков от пользователя, наличия дорогостоящего оборудования, программного обеспечения, практически недоступны средним и малым предприятиям. В данной работе предлагается пиксельный подход, который позволит в условиях предприятий комплексно оценивать внешние дефекты, на макро-, мезо- и микро-структурном уровнях, независимо от природы происхождения дефектов и способа получения изображения.

Цель работы – демонстрация возможности применения разработанной для ЭВМ программы «ADID» [19], позволяющей путем анализа цифровых изображений исследуемой поверхности оценить площадь внешних дефектов изделий и покрытий, независимо от природы происхождения дефектов.

чета программой вычисляется площадь дефекта (неоднородности) в процентах от общей площади исследуемой поверхности. Перебор пикселей осуществляется до конца изображения (последнего пикселя) и определяется как отношение площади дефекта к общей площади анализируемого изображения. Для этого используется черно-белое изображение, преобразованное программой из цветного изображения. Меню программы позволяет выбрать вид обработки изображения и загрузить его.

После загрузки изображения программа в автоматическом режиме обрабатывает изображение. Вкладка «Редактор» загружаемого изображения позволяет калибровать насыщенность изображения, чистоту цвета, при этом результат работы программы и изображение-оригинал отображаются в этом же окне автоматически. Время расчета для одного изображения порядка одной секунды. Для тестирования работы программы использовались цифровые изобра-

жения поверхностей различной морфологии.

Цифровые изображения поверхностей, использованные для тестирования программы, были получены с помощью микроанализатора *Oxford Instruments X-Max 80* на базе растрового электронного микроскопа *ZEISS CrossBeam 340* (РКЦП НОЦ «Материалы» ДГТУ) и электронно-сканирующего микроскопа *Quanta 200* ЦКП «Нанотехнологии» ЮРГПУ(НПИ) имени М.И. Платова.

### Результаты и обсуждение

Применение программы к расчету площади дефекта на выбранной поверхности показано на рис. 1.

На рис. 1, показаны результаты цифровой обработки изображения карты ЭДС (энергодисперсионного микроанализа) покрытия из порошка дисульфида молибдена, нанесенного вибрационным механохимическим методом [20]. Методы электронной микроскопии не позволяют корректно количественно оценить зоны, в которых покрытие отсутствует. Ситуация усугубляется, если речь идет об относительно «тонких» покрытиях. В этом случае применение программы позволяет получить более

полную информацию о наличии покрытия на поверхности. Анализ результатов картирования стальной поверхности с покрытием позволил сделать вывод, что после нанесения покрытия на стальной подложке имеются области, не защищенные покрытием. С помощью программы оценена доля площади поверхности, на которой покрытие  $MoS_2$  отсутствует: ~25 %. Использование разработанной программы в совокупности с другими методами структурного анализа позволяет оценить области распределения химических элементов, различных включений.

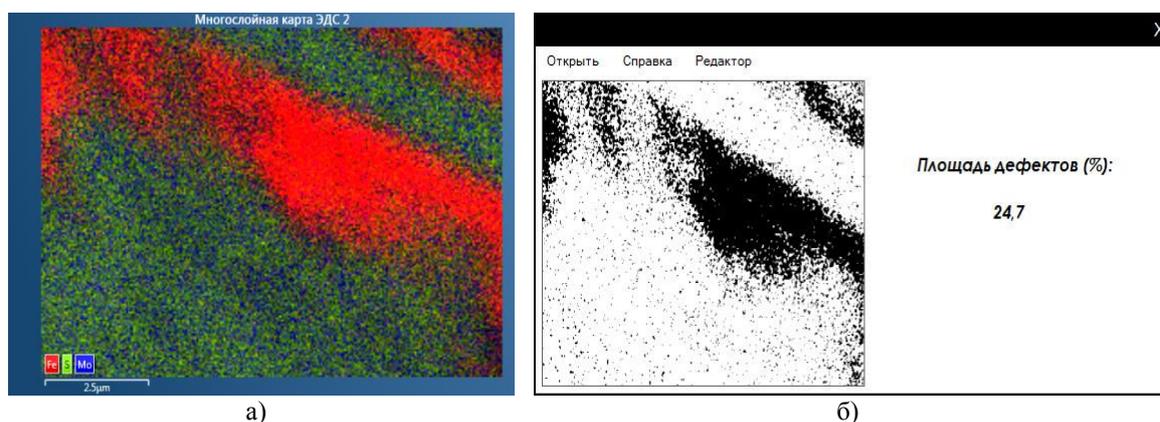


Рис. 1. Пример расчета площади дефектов для поверхности покрытия  $MoS_2$ , нанесенного на сталь:  
а - исходное изображение - многослойная карта ЭДС покрытия;  
б - результат обработки изображения программой

На рис. 2 показан торец композиционного защитного покрытия на основе полимерной матрицы карбоксиметилцеллюлозы (КМЦ), наполненной дисперсными частицами алюминия марки АСД-1 и пластифицированной глицерином. При недо-

статке пластификатора нередко наблюдается охрупчивание покрытия и возникают трещины, пустоты. Пустоты программа оценивает как дефекты.

Возможность автоматической отрисовки исходного объекта предусмотрена в

«редакторе» изображений. Что, собственно, позволяет исследователю анализировать выборочно дефекты – от отдельных,

больших по площади, до незначительных – зафиксированных на цифровом изображении.

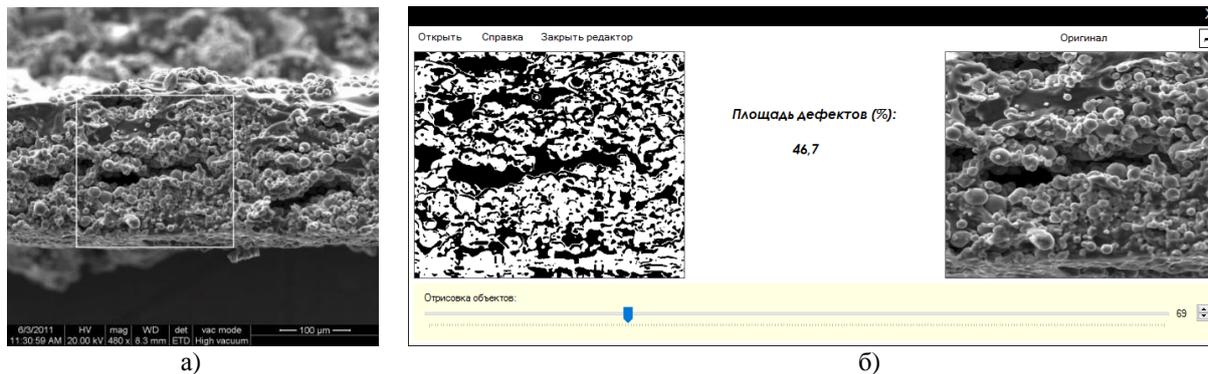


Рис. 2. Торцы покрытия КМЦ+Al+глицерин:  
а - исходное СЭМ- изображение; б - результат обработки изображения программой

Поиск, классификация дефектов, причины их возникновения вызывают постоянный интерес исследователей. В работах [21-23] представлен анализ изменения формы поперечного сечения заусенцев и их геометрических размеров в процессе вибрационной отделочной обработки деталей гранулометрическими органическими рабочими средами (гранулят скорлупы грецкого ореха). Согласно выводам авторов, основная форма сечения, независимо от материала заусенца – треугольник, соотношение между высотой и толщиной основания заусенцев примерно одинаковы для всех заусенцев. Численный анализ площади заусенцев на изображениях, представленных для тестирования программы Е. Н. Колгановой, показал, что площади сечений заусенцев также близки (31,7 % и 29,7 %). На рис. 3 представлены результаты обработки изображений указанных образцов, изготовленных из материала ЛС-59-1. Изображения сделаны при стократном увеличении с помощью металлографического инвертированного микроскопа, оборудованного системой *Thixomet Pro*.

Обработка большого количества изображений заусенцев поверхностей в исходном состоянии до виброобработки и после нее позволила бы сделать более информативные выводы по динамике изменения поверхности. Однако в данной ста-

тье показаны лишь возможные применения разработанной программы.

Разработанная программа позволяет оценивать поверхностную пористость изделий или покрытий. При нанесении защитных и технологических покрытий перед исследователями стоит задача создания защитного слоя, максимально долго сохраняющего свои эксплуатационные свойства [24]. Важной характеристикой является пористость покрытия, но характеризуют ее преимущественно качественно [25], поскольку электронная микроскопия позволяет анализировать линейные размеры выбранных отдельных пор, но оценка поверхностной пористости затруднена. Поэтому возможность оценить за 1-2 секунды поверхностную пористость покрытия по цифровому изображению полезна.

На рис. 4 показана полимерная пористая пленка, изготовленная из карбоксиметилцеллюлозы, по методике, изложенной в работе [26]. Особенностью пленки является наличие тупиковых пор. Электронный микроскоп «видит» такие поры плохо. Микроанализ поверхности пленки покажет наличие полимера по всей сканируемой поверхности, но пор не зафиксирует. Разработанная программа оценит контрастность и яркость морфологии поверхности, и даст количественную оценку.



а)



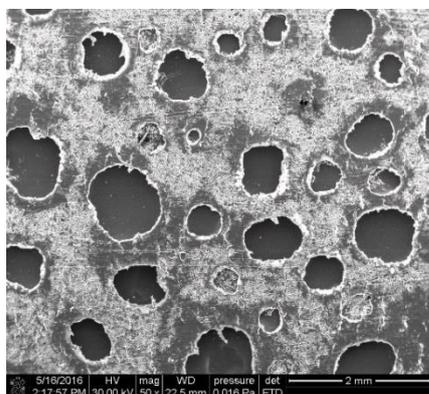
б)

Рис. 3. Пример расчета площади сечения заусенцев (материал образцов ЛС-59-1):

а – 1-ый заусенец; б – 2-ой заусенец

Следует отметить, что использование предлагаемой программы в совокупности с другими методами структурного анализа позволяет оценить области распределения химических элементов, различных включений на исследуемых поверхностях. Преобразование цветных контрастных изображений поверхностей, полученных, например, в результате картирования, в черно-белые, позволит с помощью редак-

тора изображения калибровать насыщенность цвета загружаемого изображения и оценить количественно долю площади, занимаемую на поверхности исследуемого объекта тем или иным химическим элементом. Поэтому представленная программа достаточно универсальна – как в серийном промышленном производстве, так и при разработках, связанных с созданием новых современных материалов.



а)



б)

Рис. 4. Пример расчета пористости полимерной пленки КМЦ:

а – исходное СЭМ-изображение поверхности пленки; б – результат обработки изображения программой

Как преимущество программы следует отметить возможность ее использования для оценки локальных неоднородностей поверхности как на макроструктурном уровне, так и на микроструктурном уровне.

Для работы разработанной программы необходимы минимальные системные требования:

- процессор: *AMD E350*;
- объем видекарты: 250 МБ;

## Выводы

Разработана программа, позволяющая оценить площадь дефектов и локальных неоднородностей на поверхности изделий и покрытий. Время обработки и количественного расчета одного изображения составляет 1-2 секунды.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **ГОСТ 31149-2014.** Материалы лакокрасочные. Определение адгезии методом решетчатого надреза: = Paint materials. Determination of adhesive by cross-cut method: национальный стандарт Российской Федерации: издание официальное: утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 08 сентября 2014 г № 1017-ст: дата введения 2015- 09-01. г. / - Москва: Стандартинформ, 2014. – 12 с.
2. **Ткаль, В. А.** Цифровые методы обработки рентгенотопографических и поляризационно-оптических изображений дефектов структуры монокристаллических полупроводников: специальность 01.04.01 «Приборы и методы экспериментальной физики»: автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора физико-математических наук / Ткаль Валерий Алексеевич; ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН. - Ижевск, 2007. - 48 с. Библиогр.: с. 3 – 4. - Место защиты: Удмуртский государственный университет. – Текст: непосредственный.
3. **Жуковская, А. А.** Количественные критерии оценки качества цифровой обработки изображений веществ различной физико-химической природы: специальность 01.04.01 «Приборы и методы экспериментальной физики»: дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук / Жуковская Инга Анатольевна; ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН. - Ижевск, 2014. - 207 с. Библиогр.: с. 54 – 64.
4. **Цифровые методы экспресс-диагностики качества веществ различной физико-**

– установленный пакет *.Net Framework 4.7.2* и выше;

– установленный пакет *Visual C++*

Тип и версия ОС: Тип операционной системы, где будет запускаться программа – *Windows*, Минимальная версия – *Windows 7*. Язык программирования: *C++*. Объем программы: Общий объем занимаемой памяти приложением на диске – 300 МБ, объем занимаемой оперативной памяти во время работы 2 Гб.

Показана возможность применения предложенной программы для количественной оценки:

- площади локальных дефектов, областей распределения химических элементов, различных включений;
- поверхностной пористости изделий и покрытий.

**химической природы (обобщающая статья) / В. А. Ткаль, И. А. Жуковская, А. В. Шараева, Н. Н. Водолазова. // Радиоэлектроника. Наносистемы. Информационные технологии. - 2016. - № 8(1). - С. 55-72. - DOI: 10.17725/rensit.2016.08.055.**

5. **Fast computational depth segmentation using orthogonal fringe patterns without pattern sequence changing / Y. Xiao, W. Han, X. Zhang [ и др.] // Journal of the Optical Society of America A: Optics and Image Science, and Vision. - 2021. - № 38(4). - P. 564–572- DOI: org/10.1364/JOSAA.414326.**
6. **Multi-modal semantic image segmentation / A. Pemasiri, K. Nguyen, S. Sridharan, C. Fookes // Computer Vision and Image Understanding. - 2021. - № 202. - 103085. - DOI: org/10.1016/j.cviu.2020.103085.**
7. **Ma, J.** Infrared and visible image fusion via gradientlet filter / J. Ma, Y. Zhou // Computer Vision and Image Understanding. - 2020. - № 103016. - P. 197-198. - DOI 10.1016/j.cviu.2020.103016.
8. **Galvao, F. L.** Image segmentation using dense and sparse hierarchies of superpixels / F. L. Galvao, S. J. F. Guimaraes, A. X. Falcao // Pattern Recognition. - 2020. - № 108. - 107532. - DOI: org/10.1016/j.patcog.2020.107532.
9. **Neural Image Compression for Gigapixel Histopathology Image Analysis / D. Tellez, G. Litjens, Van Der Laak J. F. Ciompi. // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. - 2021. - № 43(2). - 8809829. - P. 567 – 5781. - DOI: 10.1109/TPAMI.2019.2936841.**

10. **Gupta, S.** Recognition of varying size scene images using semantic analysis of deep activation maps / S. Gupta, A. D. Dileep, V. Thenkanidiyoor // *Machine Vision and Applications*. - 2021. - № 32(2). P. 52. - DOI:10.1007/s00138-021-01168-8.
11. **Wu, Z.** Edge missing image inpainting with compression–decompression network in low similarity images / Z. Wu, Y. Cui // *Machine Vision and Applications*. - 2021. - № 32(1). - P. 37. - DOI 10.1007/s00138-020-01151-9.
12. **Image deblurring via enhanced local maximum intensity prior** / D. Hu, J. Tan, Zhang L., X. Ge [и др.] // *Signal Processing: Image Communication*. - 2021. - № 96. - 116311. - DOI: 10.1016/j.image.2021.116311.
13. **Wu, H.** A pruning method based on the measurement of feature extraction ability / H. Wu, Y. Tang, X. Zhang // *Machine Vision and Applications*. - 2021. - № 32(1). - P. 20. - DOI: 10.1007/s00138-020-01148-4.
14. **Xiao M.** Research on defect detection method of powder metallurgy gear based on machine vision / M. Xiao, W. Wang, X. Shen [и др.] // *Machine Vision and Applications*. - 2021. - № 32(2). P. 51. - DOI 10.1007/s00138-021-01177-7.
15. **Saeedi J.** Measurement and inspection of electrical discharge machined steel surfaces using deep neural networks / J. Saeedi, M. Dotta, A. Galli [и др.] // *Machine Vision and Applications*. - 2021. - № 32(1). P. 21. DOI: 10.1007/s00138-020-01142-w.
16. **Zhukovskaya, I. A.** Discrete Fourier analysis of images of structural defects in single crystals / I. A. Zhukovskaya, V. A Tkai., V. A. Bushuev // *Journal of Surface Investigation: X-Ray, Synchrotron and Neutron Techniques*. - 2016. - № 10(1). - P. 231-240.
17. **Feature-Driven Viewpoint Placement for Model-Based Surface Inspection** / D. Mosbach, P. Gospodnetić, M. Rauhut [и др.] // *Machine Vision and Applications*. - 2021. - № 32(11). - P. 8. - DOI: 10.1007/s00138-020-01116-y.
18. **Финогенов Л. В.** Высокопроизводительный оптико-электронный контроль боковой поверхности топливных таблеток с определением глубины дефектов / Л. В. Финогенов, П. С. Завьялов, В. Э. Карлин, Д. Р. Хакимов // *Датчики и системы*. - 2016. - № 7(205). - С. 53-59.
19. **Анализ цифрового изображения поврежденного лакокрасочного покрытия (ADID)** / Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 2021660153 Российская Федерация / Антонова Н. М, Хаустова Е. Ю, Небрат А. А, Пузанова А. С.; заявитель и правообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова». – № 2021619195; заявл. 11.06.2021; опубл 22.06.2021. – 1 с.
20. **Антонова Н. М.** Адгезия вибрационного механохимического покрытия MoS<sub>2</sub> в процессе трения / Н. М. Антонова, В. С. Шоркин, С. Н. Ромашин, А. П. Бабичев // *Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования*. - 2019. - № 9. - С. 67–74.
21. **Тамаркин, М. А.** Обоснование гранулометрических характеристик рабочей среды при вибрационной обработке деталей с малыми пазами и отверстиями / М. А. Тамаркин, Е. Н. Колганова, М. А. Ягмуров // *Advanced Engineering Research*. - 2020. - Т. 20, № 4. - С. 382-389. - DOI 10.23947/2687-1653-2020-20-4-382-389.
22. **Колганова, Е. Н.** Теоретические и экспериментальные исследования процесса удаления заусенца свободными абразивами / Е. Н. Колганова // *Упрочняющие технологии и покрытия*. - 2020. - Т. 16, № 7(187). - С. 300-305.
23. **Тамаркин, М. А.** Анализ современного состояния финишных методов обработки в среде свободных абразивов деталей, имеющих малые пазы и отверстия / М. А. Тамаркин, Е. В. Смоленцев, Е. Н. Колганова // *Вестник Воронежского государственного технического университета*. - 2019. - Т.15, № 1. - С. 122-129.
24. **Ильиных С. А.** Упрочнение деталей машин и механизмов, изготовленных из алюминиевых сплавов, методом сверхзвукового плазменного напыления / С. А. Ильиных, А. С. Криворогова, Н. И. Ильиных [и др.] // *Новые материалы и технологии: порошковая металлургия, композиционные материалы, защитные покрытия, сварка: материалы 14-й Международной научно-технической конференции, посвященной 60-летию порошковой металлургии Беларуси, Минск, 09-11 сентября 2020; под ред. А.Ф. Ильющенко*. - Минск: Республиканское унитарное предприятие «Издательский дом «Белорусская наука», 2020. - С. 473-479. - ISBN 978-985-08-2628-2.
25. **Криворогова А. С.** Теоретическое и экспериментальное исследование самофлюсующихся материалов на основе никеля / А. С. Криворогова, Н. И. Ильиных, С. А. Ильиных, Б. Р. Гельчинский // *Расплавы*. - 2020. - № 1. - С. 87-97.
26. **Antonova, N.** Formation the structure of porous carboxymethylcellulose films for developing materials with antifriction properties / N. Antonova, A. Kameneva // *Materials Today: Proceedings*. - 2019. - V.19. - P. 1856-1860. - DOI: 10.1016/j.matpr.2019.07.027.
1. GOST 31149-2014. Paint and varnish materials. Determination of adhesion by the lattice incision method: = Paint materials. Determination of adhesive by cross-cut method: national standard of the Russian Federation: official publication: approved and put into effect by Order of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology dated September 08, 2014 No. 1017-st: date of introduction 2015- 09-01. g. / - Moscow: Standartinform, 2014. - 12 p.
2. Tkai, V. A. Digital methods of processing X-ray and polarization-optical images of defects in the

- structure of monocrystalline semiconductors: specialty 01.04.01 "Devices and methods of experimental physics": abstract of the dissertation for the degree of Doctor of Physico-mathematical Sciences / Tkál Valery Alekseevich; FTI named after A.F. Ioffe RAS, Izhevsk, 2007, 48 p. Bibliogr.: pp. 3 – 4, place of defense: Udmurt State University. - Text: direct.
3. Zhukovskaya, A. A. Quantitative criteria for assessing the quality of digital image processing of substances of various physico-chemical nature: specialty 01.04.01 "Devices and methods of experimental physics": dis. for the degree of Candidate of Technical Sciences / Zhukovskaya Inga Anatolyevna; FTI named after A.F. Ioffe RAS. - Izhevsk, 2014. - 207 p., Bibliogr.: pp. 54-64.
  4. **Digital methods of express diagnostics of the quality of substances of various physico-chemical nature (unifying article)** / V. A. Tkál, I. A. Zhukovskaya, A.V. Sharaeva, N. N. Vodolazova. // Radio electronics. Nanosystems. Information technology, 2016, no. 8(1), pp. 55-72, DOI: 10.17725/rensit.2016.08.055.
  5. **Fast computational depth segmentation using orthogonal fringe patterns without pattern sequence changing** / Y. Xiao, W. Han, X. Zhang [ и др.] // Journal of the Optical Society of America A: Optics and Image Science, and Vision. - 2021. - № 38(4). - P. 564–572- DOI: org/10.1364/JOSAA.414326.
  6. **Multi-modal semantic image segmentation** / A. Pemasiri, K. Nguyen, S. Sridharan, C. Fookes // Computer Vision and Image Understanding. - 2021. - № 202. - 103085. - DOI: org/10.1016/j.cviu.2020.103085.
  7. **Ma, J.** Infrared and visible image fusion via gradient filter / J. Ma, Y. Zhou // Computer Vision and Image Understanding. - 2020. - № 103016. - P. 197-198. - DOI 10.1016/j.cviu.2020.103016.
  8. **Galvao, F. L.** Image segmentation using dense and sparse hierarchies of superpixels / F. L. Galvao, S. J. F. Guimaraes, A. X. Falcao // Pattern Recognition. - 2020. - № 108. - 107532. - DOI: org/10.1016/j.patcog.2020.107532.
  9. **Neural Image Compression for Gigapixel Histopathology Image Analysis** / D. Tellez, G. Litjens, Van Der Laak J. F. Ciompi. // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. - 2021. - № 43(2). - 8809829. - P. 567 – 5781. - DOI: 10.1109/TPAMI.2019.2936841.
  10. **Gupta, S.** Recognition of varying size scene images using semantic analysis of deep activation maps / S. Gupta, A. D. Dileep, V. Thenkanidiyoor // Machine Vision and Applications. - 2021. - № 32(2). P. 52. - DOI:10.1007/s00138-021-01168-8.
  11. **Wu, Z.** Edge missing image inpainting with compression–decompression network in low similarity images / Z. Wu, Y. Cui // Machine Vision and Applications. - 2021. - № 32(1). – P. 37. – DOI 10.1007/s00138-020-01151-9.
  12. **Image deblurring via enhanced local maximum intensity prior** / D. Hu, J. Tan, Zhang L., X. Ge [и др.] // Signal Processing: Image Communication. - 2021. - № 96. - 116311. - DOI: 10.1016/j.image.2021.116311.
  13. **Wu, H.** A pruning method based on the measurement of feature extraction ability / H. Wu, Y. Tang, X. Zhang // Machine Vision and Applications. - 2021. - № 32(1). - P. 20. - DOI: 10.1007/s00138-020-01148-4.
  14. **Xiao M.** Research on defect detection method of powder metallurgy gear based on machine vision / M. Xiao, W. Wang, X. Shen [и др.] // Machine Vision and Applications. - 2021. - № 32(2). P. 51. - DOI 10.1007/s00138-021-01177-7.
  15. **Saeedi J.** Measurement and inspection of electrical discharge machined steel surfaces using deep neural networks / J. Saeedi, M. Dotta, A. Galli [ и др.] // Machine Vision and Applications. - 2021. - № 32(1). P. 21. DOI: 10.1007/s00138-020-01142-w.
  16. **Zhukovskaya, I. A.** Discrete Fourier analysis of images of structural defects in single crystals / I. A. Zhukovskaya, V. A Tkál., V. A. Bushuev // Journal of Surface Investigation: X-Ray, Synchrotron and Neutron Techniques. - 2016. - № 10(1). - P. 231-240.
  17. **Feature-Driven Viewpoint Placement for Model-Based Surface Inspection** / D. Mosbach, P. Gospodnetić, M. Rauhut [ и др.] // Machine Vision and Applications. - 2021. - № 32(11). - P. 8. - DOI: 10.1007/s00138-020-01116-y.
  18. **Finogenov L.V.** High-performance optoelectronic control of the side surface of fuel pellets with the determination of the depth of defects / L.V. Finogenov, P.S. Zavyalov, V.E. Karlin, D.R. Khamimov. Sensors and systems, 2016, no. 7(205), pp. 53-59.
  19. **Certificate of state registration of the computer program 2021660153 Russian Federation.** Analysis of a digital image of a damaged paintwork (ADID) / Antonova N. M., Khaustova E. Yu, Nebrat A.A., Puzanova A.S.; applicant and copyright holder Federal State Funded Educational Institution of Higher Education "South Russian State Polytechnic University (NPI) named after M.I. Platov", No. 2021619195; application 11.06.2021; publ. 22.06.2021, 1 p.
  20. **Adhesion of the vibrating mechanochemical coating MoS<sub>2</sub> in the friction process** / N. M. Antonova, V. S. Shorkin, S. N. Romashin, A. P. Babichev // Surface. X-ray, synchrotron and neutron studies, 2019, no. 9, pp. 67-74.
  21. **Tamarkin, M. A.** Rationale for granulometric medium characteristics under vibration processing of parts with small grooves and holes / M. A. Tamarkin, E. N. Kolganova, M. A. Yagmurov // Modern Engineering Research, 2020, Vol. 20, no. 4, pp. 382-389, DOI 10.23947/2687-1653-2020-204-382-389.
  22. **Kolganova, E. N.** Theoretical and experimental researches of deburring process by loose abrasives / E. N. Kolganova // Hardening technologies and coatings, 2020, Vol. 16, no. 7(187), pp. 300-305.

23. **Tamarkin, M. A.** Analysis of the modern condition of final machining methods used in the loose abrasive medium of parts with small grooves and holes / M. A. Tamarkin, E. V. Smolentsev, E. N. Kologanova // Vestnik of the Voronezh State Technical University, 2019, Vol.15, no. 1, pp. 122-129.
24. **Hardening of machine parts and mechanisms made of aluminum alloys by supersonic plasma spraying** / S. A. Ilyinykh, A. S. Krivorogova, N. I. Ilyinykh [et al.] // New materials and technologies: powder metallurgy, composite materials, protective coatings, welding: materials of the 14th International Scientific and Technical Conference dedicated to the 60th Anniversary of Powder Metallurgy of

Belarus, Minsk, September 09-11, 2020; edited by A.F. Ilyushenko, Minsk, Republic Unitary Enterprise "Publishing House "Belarusian Science", 2020, pp. 473-479, ISBN 978-985-08-2628-2.

25. **Theoretical and experimental study of nickel-based self-fluxing materials** / A. S. Krivonogova, N. I. Ilyinykh, S. A. Ilyinykh, B. R. Gelchinsky. Melts, 2020, no. 1, pp. 87-97.
26. **Antonova, N.** Formation the structure of porous carboxymethylcellulose films for developing materials with antifriction properties, N. Antonova, A. Kameneva, Materials Today: Proceedings, 2019, V.19, pp.1856-1860, DOI: 10.1016/j.matpr.2019.07.027.

Ссылка для цитирования:

Антонова, Н.М. Оценка дефектов поверхности изделий с помощью цифровых технологий / Н.М. Антонова, Е.Ю. Хаустова // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2021. – № 11. – С. 24 – 32. DOI: 10.30987/1999-8775-2021-11-11-19.

Статья поступила в редакцию 13.06.21.

Рецензент: д.т.н., профессор

Юго-Западного государственного

университета,

Ивахненко А.Г.,

член редсовета журнала «Вестник БГТУ».

Статья принята к публикации 27.10.21.

#### Сведения об авторах:

**Антонова Наталья Михайловна**, д.т.н., профессор кафедры «Естественнонаучные дисциплины, информационные технологии и управление» Южно-Российского государственного политехнического университета (НПИ) им. М. И. Платова; e-mail: melnik1@rambler.ru.

**Antonova Natalia Mikhailovna**, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of "Natural Sciences, Information Technology and Management" of the South Russian State Polytechnic University (NPI) named after M. I. Platov, e-mail: melnik1@rambler.ru.

**Хаустова Елена Юрьевна**, ст. преподаватель кафедры «Естественнонаучные дисциплины, информационные технологии и управление» Южно-Российского государственного политехнического университета (НПИ) им. М. И. Платова; e-mail: ehaustova@mail.ru.

**Khaustova Elena Yuryevna**, Senior Lecturer of the Department of "Natural Sciences, Information Technology and Management" of the South Russian State Polytechnic University (NPI) named after M. I. Platov; e-mail: ehaustova@mail.ru.