

## АЛГОРИТМ ДЛЯ ОПТИЧЕСКОГО МЕТОДА КОНТРОЛЯ ИЗНОСА РАБОЧЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО ВЫГЛАЖИВАТЕЛЯ

© 2017

*А.А. Лукьянов*, аспирант

*Н.М. Бобровский*, доктор технических наук, доцент,

профессор кафедры «Оборудование и технологии машиностроительного производства»

*П.А. Мельников*, кандидат технических наук, директор Института химии и инженерной экологии

*И.Н. Бобровский*, кандидат технических наук, начальник лаборатории «Автомобильные технологии»

*О.О. Левицких*, инженер

*А.С. Севостьянов*, инженер

*Тольяттинский государственный университет, Тольятти (Россия)*

**Ключевые слова:** машинное зрение; область износа; выделение границ; оператор Прюитта.

**Аннотация:** В связи с усложнением новой техники и повышением требований к ее надежности трудоемкость контрольных операций в промышленных системах управления качеством продукции существенно увеличивается. Значимость контроля в управлении качеством обусловлена тем, что именно он способствует правильному использованию условий выпуска продукции, соответствующей предъявляемым к ней требованиям. Цифровая обработка изображений находит широкое применение практически во всех областях промышленности. Часто ее использование позволяет выйти на качественно новый технологический уровень производства. При этом наиболее сложными здесь являются вопросы, связанные с автоматическим извлечением из изображения и интерпретацией информации, являющейся основой для принятия решений в процессе управления производственными процессами. Авторами предложен алгоритм для оптического метода контроля износа рабочей части поверхности цилиндрического выглаживателя, применяющегося для финишной обработки заготовок с помощью поверхностно-пластического деформирования (ППД). В статье выполнено сравнение разработанного программного обеспечения, реализованного на основе предложенного алгоритма, с его предыдущей версией. Главным отличием предложенного алгоритма является возможность автоматического распознавания изображения выглаживающего инструмента с последующим выделением его границ, нахождением рабочей поверхности и автоматического выделения дефектов и области износа. Различные дефекты и износ поверхности выглаживателя в процессе механической обработки детектируются автоматически с помощью методов выделения границ на изображениях, в частности с применением оператора Прюитта. Программное обеспечение, реализующее рассмотренный алгоритм, было разработано авторами в среде Matlab, однако может быть разработано и с применением других языков программирования.

Задача определения величины износа рабочей поверхности деталей машин и инструментов является крайне важной во всех сферах машиностроения. Возможно сокращение затрат различных производств при замене обрабатывающего инструмента, на основе не плановых процедур замены, а актуальной цифровой фотографии, обработанной с помощью программного комплекса, будет возможен оперативный и адекватный анализ износа деталей, что особенно актуально для массового производства, где несвоевременная замена изношенного инструмента может привести к большим финансовым потерям [1; 2].

Существующие методы анализа износа поверхностей можно разделить на органолептические и инструментальные. Основной отличительной чертой органолептического исследования является отсутствие объективной регистрации результатов с использованием измерительных приборов или средств фиксации результатов, что не исключает использование технических средств. Инструментальные методы контроля – количественные аналитические методы, для выполнения которых требуется специальная аппаратура. Достоверность полученной таким образом оценки зависит от точности оборудования.

В США фирмой *Taylor Hobson* был разработан программный комплекс *TalyMap*, применяющийся вместе с оборудованием для анализа микропрофиля поверхностей данной фирмы (фирма *Taylor Hobson* является

производителем метрологического оборудования) [3; 4]. Недостатком данного метода анализа износа поверхностей является необходимость применения определенного дорогостоящего оборудования, что делает затруднительным его широкое распространение.

В Китайской народной республике оптические методы анализа поверхности нашли свое применение в машиностроении [5]. Йонгхонг Зангом (*Yonghong Zhang*), ученым из Нанкинского университета информационных наук и технологий был разработан и запатентован метод анализа износа поверхности режущего инструмента [6]. Предложенный автором метод позволяет оценить степень и скорость износа режущего инструмента [7] и, несомненно, обладает весомыми преимуществами, однако очень узкая специализация не позволяет ему быть полностью реализованным.

В работе [8] изложен подход к созданию системы интеллектуального анализа изображений зон износа режущих инструментов. Предложены методы повышения качества автоматической обработки и распознавания изображений зон износа инструментов. Показана целесообразность применения спектрального анализа зон изображений инструментов, содержащих дефекты структуры. Данный метод заключается в периодическом получении цифровых изображений поверхности рабочей части режущего инструмента и их сравнительном анализе. Также применяется спектральная оценка зон изображений рабочей части. Преимущество приведенного

способа заключается в точности измерения износа за счет комбинации методов сравнения последовательно-сти изображений и их спектральной оценки. Недостатки заключаются в том, что для измерения износа режущей части инструмента необходима последовательность цифровых изображений. С помощью приведенного способа возможен контроль только определенной группы режущих инструментов.

Далее рассмотрим пример решения задачи по автоматизации процесса определения площади износа выглаживающего инструмента при поверхностном пластическом деформировании и определении критической площади износа, при которой процесс обработки не будет обеспечивать заданные геометрические параметры ( $Ra$ , мкм) обработанной поверхности [9–11].

Для решения поставленной задачи по автоматизации контроля поверхности обрабатывающего инструмента авторами было разработано ПО для оценки величины износа рабочей части инструмента, алгоритм работы которого рассмотрен в [12]. Основным достоинством разработки является возможность подсчета изношенной площади рабочей части любого инструмента с помощью применения двух примитивов: прямоугольного и эллиптического. Основным недостатком данного алгоритма является невозможность распознавания и выделения области износа инструмента в автоматическом режиме без участия оператора.

В текущей работе представлена версия модернизированного алгоритма, реализующего автоматический режим для определения границ инструмента и его рабочей части. Подсчет области износа производится с помощью методов выделения границ на изображении, таких как операторы Прюитта, Кэнни, Собеля и т. д. [13; 14].

На начальной стадии анализа для быстрой обработки изображения переводится в режим градации серого – цветовой режим, в котором изображения отображаются в оттенках серого цвета [15; 16]. Переход в режим градации серого заключается в определении яркости каждого пикселя цветного изображения по интенсивности цветовых составляющих по формуле [17]:

$$Lum = Red \cdot 0,299 + Green \cdot 0,587 + Blue \cdot 0,114,$$

где  $Lum$  – оператор интенсивности света;  $Red$ ,  $Green$ ,  $Blue$  – составляющие красного, зеленого и синего цвета соответственно; 0,299, 0,587, 0,114 – коэффициенты, используемые для преобразования составляющих цветов; или в целочисленном виде по формуле:

$$Lum = \frac{Red \cdot 77 + Green \cdot 150 + Blue \cdot 29}{256}.$$

Далее полученное значение яркости  $Lum$  присваивается всем цветовым составляющим по формуле:

$$Red = Green = Blue = Lum.$$

Основной математической модели для определения области износа инструмента является оператор Прюитта [13] – метод выделения границ в обработке изобра-

жений, который вычисляет максимальный отклик на множестве ядер свертки для нахождения локальной ориентации границы в каждом пикселе [18; 19].

Оператор использует два ядра  $3 \times 3$ , свертывая исходное изображение для вычисления приближенных значений производных: одно по горизонтали и одно по вертикали. Положим  $A$  – исходным изображением и  $G_x$ ,  $G_y$  – двумя изображениями, в которых каждая точка содержит горизонтальное и вертикальное приближение производной, которая рассчитывается следующим образом:

$$G_x = \begin{bmatrix} -1 & 0 & +1 \\ -1 & 0 & +1 \\ -1 & 0 & +1 \end{bmatrix} \cdot A$$

$$G_y = \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ +1 & +1 & +1 \end{bmatrix} \cdot A.$$

В каждой точке изображения приближенное значение величины градиента можно вычислить, используя полученные приближенные значения производных:

$$G = \sqrt{G_x^2 + G_y^2}.$$

Направление градиента:

$$Q = \arctg\left(\frac{G_y}{G_x}\right).$$

При переходе от векторного изображения к растровому имеет место погрешность, связанная с аппроксимацией гладких границ области, описываемых определенной функцией, дискретными границами растрового изображения [20]. Переход от векторного изображения к растровому осуществляется согласно алгоритму Брезенхэма.

Общий алгоритм программы отражен в блок-схеме на рис. 1. Для визуализации работы программы основные шаги алгоритма представлены на рис. 2–5.

Определение границ инструмента и его рабочей поверхности осуществляется с помощью преобразования Хафа (см. рис. 4). Метод применяется для извлечения элементов из изображения. Он предназначен для поиска объектов, принадлежащих определенному классу фигур, с использованием процедуры голосования. Процедура голосования применяется к пространству параметров, из которого и получаются объекты определенного класса фигур по локальному максимуму в так называемом накопительном пространстве (accumulator space), которое строится при вычислении трансформации Хафа.

Приведенные выше шаги скрыты от пользователя, программа отображает только конечный результат анализа изображения (см. рис. 6). В окне программы отображается информация о процентном отношении площади износа ко всей рабочей поверхности инструмента, программой принимается решение о возможности дальнейшей эксплуатации инструмента.

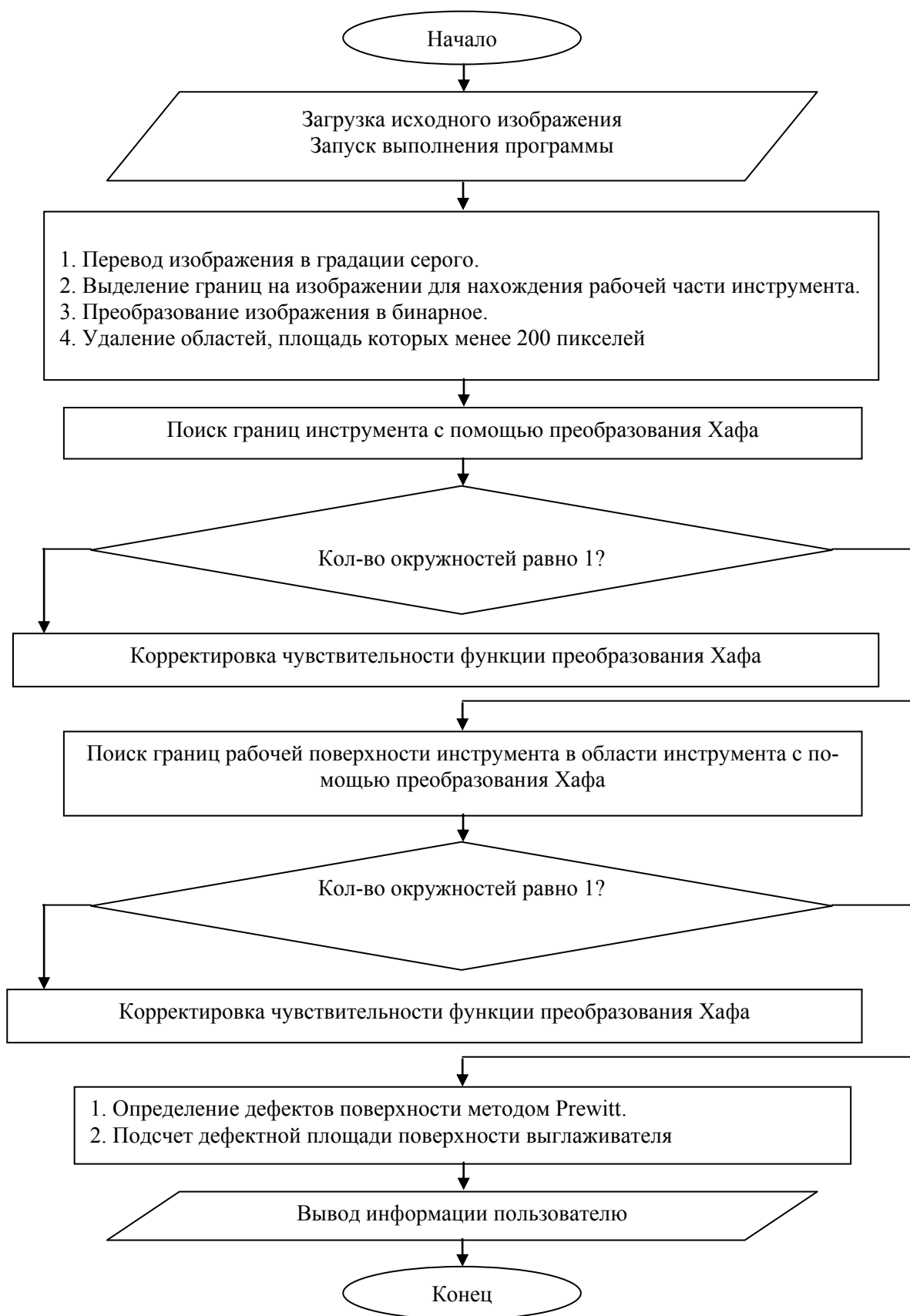
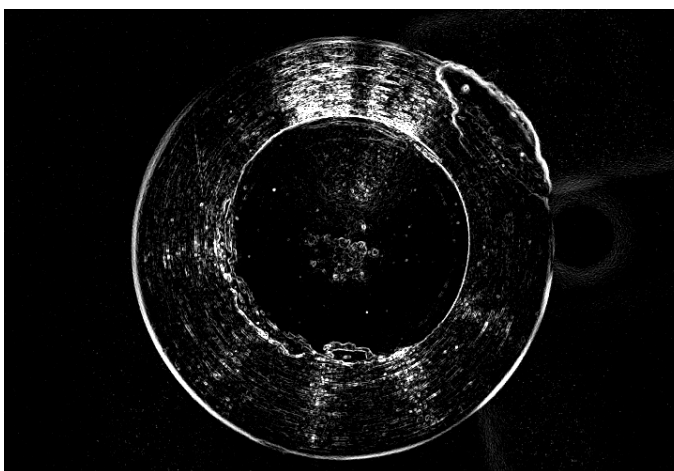


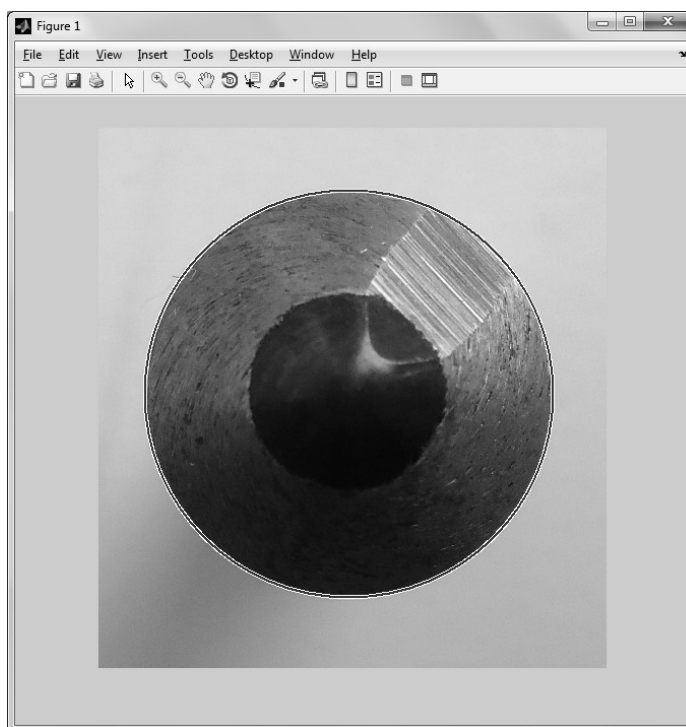
Рис. 1. Блок-схема алгоритма



*Рис. 2. Исходное изображение выглаживателя*



*Рис. 3. Выделение границ на изображении*



*Рис. 4. Нахождение границы инструмента с помощью преобразования Хафа*

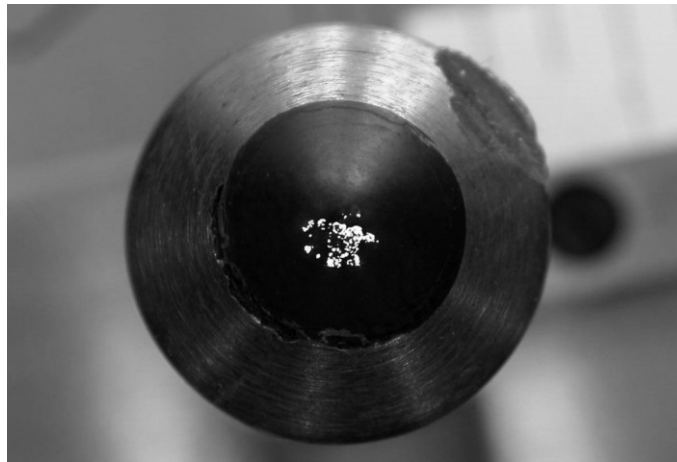


Рис. 5. Область износа рабочей поверхности

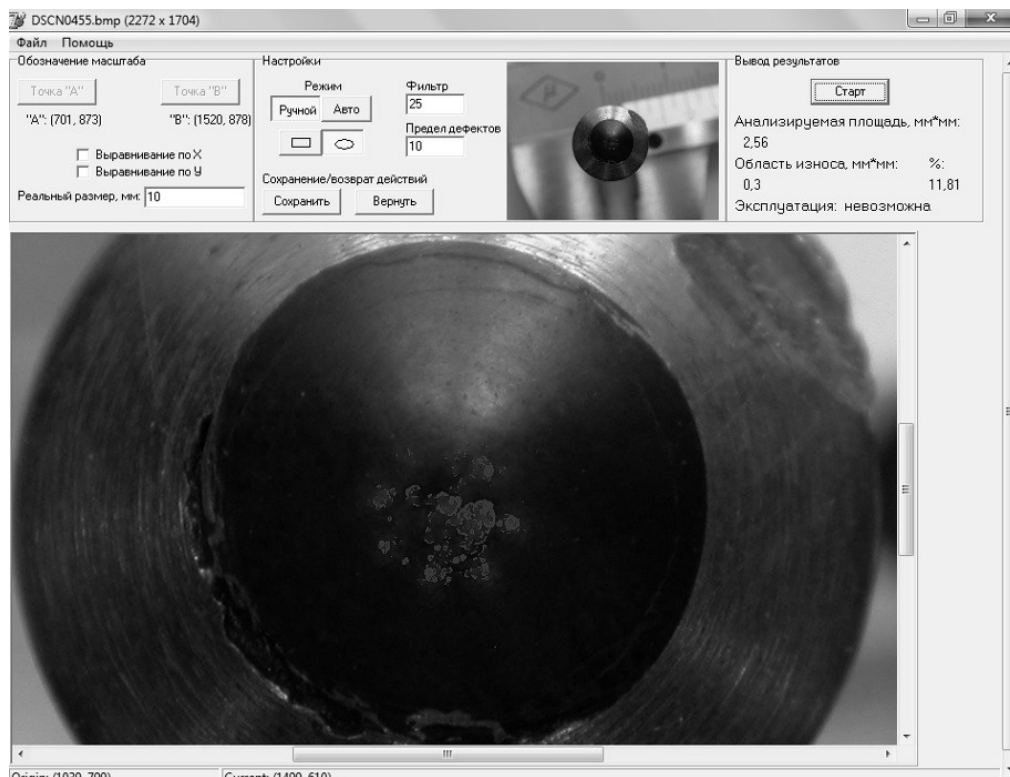


Рис. 6. Интерфейс программы

Разработанное программное обеспечение обладает повышенной точностью выделения дефектов поверхности цилиндрического выглаживателя. При этом исключается влияние человеческого фактора на принятие решения о дальнейшей эксплуатации инструмента. Однако следует отметить возможность регулировки порога чувствительности при нахождении области износа. Таким образом, перед промышленной эксплуатацией необходима настройка системы.

Появление целого спектра методов анализа поверхности обусловлено все большим ростом вычислительных мощностей, средний уровень которой постоянно растет. Метод анализа поверхности находит применение в различных областях техники и обладает высокой патентной способностью.

*Работа выполнена при поддержке Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере, программа СТАРТ, проект № 17680.*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Горшков Б.М., Северин А.А., Шлегель О.А., Кабардин А.Ф. Устройство диагностики износа тормозных колодок автомобиля: патент РФ № 2189561; заявл. 25.01.2001, опубл. 20.09.2002.
2. Бобровский Н.М., Вильчик В.А., Бокк В.В., Бобровский И.Н. Распределение температур при выглаживании широким самоустанавливающимся инструментом // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2008. № S6. С. 22–29.

3. Introduction to Taylor Hobson.  
URL: [taylor-hobson.com/uploads/downloads/taylor-hobson-overview.pdf](http://taylor-hobson.com/uploads/downloads/taylor-hobson-overview.pdf).
4. Шлегель О.А., Северин А.А., Горшков Б.М., Абрамов Г.Н., Туищев А.И. Устройство для диагностики системы освещения автомобиля: патент РФ № 2182325; заявл. 22.12.1999, опублик. 10.05.2002.
5. Moiseev M.A., Doskolovich L.L., Kazanskiy N.L. Design of high-efficient freeform led lens for illumination of elongated rectangular regions // *Optics Express*. 2011. Vol. 19. № S3. P. A225–A233.
6. Zhang Y. Cutting-tool wear state evaluating method based on image analysis of workpiece machining surface: patent № CN 101670533; 17.03.2010.
7. Khonina S.N., Kazanskiy N.L., Volotovskiy S.G. Vortex phase transmission function as a factor to reduce the focal spot of high-aperture focusing system // *Journal of Modern Optics*. 2011. Vol. 58. № 9. P. 748–760.
8. Деревянченко А.Г., Бабилунга О.Ю., Криницын Д.А. Система интеллектуального анализа изображений зон износа режущих инструментов // *Резание и инструмент в технологических системах*. 2010. Вып. 78. С. 34–41.
9. Кузнецова Е.Г., Поляков И.В., Николаев Д.П., Мащнев Д.Н. Разработка алгоритмов технического зрения для обеспечения инкрементного неконтролируемого обучения в задачах детектирования образов движущихся сложноструктурированных объектов // *Вестник РФФИ*. 2016. № 4. С. 17–37. DOI: 10.22204/2410-4639-2016-092-04-17-37.
10. Николаев П.П. Проективно инвариантное описание овалов с симметриями трех родов // *Вестник РФФИ*. 2016. № 4. С. 38–54. DOI: 10.22204/2410-4639-2016-092-04-38-54.
11. Soifer V.A., Doskolovich L.L., Golovashkin D.L., Kazanskiy N.L., Kharitonov S.I., Khonina S.N., Kotlyar V.V., Pavelyev V.S., Skidanov R.V., Solovyev V.S., Uspleniev G.V., Volkov A.V. *Methods for computer design of diffractive optical elements*. New York: John Wiley & Sons, 2002. 765 p.
12. Бобровский Н.М., Бобровский И.Н., Мельников П.А. Определение площади износа рабочей поверхности деталей машин и инструментов // *Вектор науки Тольяттинского государственного университета*. 2009. № 1. С. 17–23.
13. Бондаренко А.Ю., Адамов В.Г. Анализ методов определения контуров изображения // *Международный научно-исследовательский журнал*. 2015. № 8-2. С. 13–16. DOI: 10.18454/IRJ.2227-6017.
14. Власов А.В., Цапко И.В. Модификация алгоритма Канны применительно к обработке рентгенографических изображений // *Вестник науки Сибири*. 2013. № 4. С. 120–127.
15. Полевой Д.В., Булатов К.Б., Скорюкина Н.С., Чернов Т.С., Арлазаров В.В., Шешкус А.В. Ключевые аспекты распознавания документов с использованием малоразмерных цифровых камер // *Вестник РФФИ*. 2016. № 4. С. 97–108. DOI: 10.22204/2410-4639-2016-092-04-97-108.
16. Булатов К.Б., Кирсанов В.Ю., Арлазаров В.В., Николаев Д.П., Полевой Д.В. Методы интеграции результатов распознавания текстовых полей документов в видеопотоке мобильного устройства // *Вестник РФФИ*. 2016. № 4. С. 109–115. DOI: 10.22204/2410-4639-2016-092-04-109-115.
17. Чернов Т.С., Ильин Д.А., Безматерных П.В., Фараджев И.А., Карпенко С.М. Исследование методов сегментации изображений текстовых блоков документов с помощью алгоритмов структурного анализа и машинного обучения // *Вестник РФФИ*. 2016. № 4. С. 55–71. DOI: 10.22204/2410-4639-2016-092-04-55-71.
18. Лимонова Е.Е., Шешкус А.В., Николаев Д.П., Иванова А.А., Ильин Д.А., Арлазаров В.Л. Оптимизация быстродействия первых слоев глубоких сверточных нейронных сетей // *Вестник РФФИ*. 2016. № 4. С. 84–96. DOI: 10.22204/2410-4639-2016-092-04-84-96.
19. Манжиков Т.В., Славин О.А., Фараджев И.А., Янишевский И.М. Алгоритм применения N-грамм для корректировки результатов распознавания // *Вестник РФФИ*. 2016. № 4. С. 116–123. DOI: 10.22204/2410-4639-2016-092-04-116-123.
20. Гавриков Б.М., Пестрякова Н.В. Многовариантное численное моделирование при решении задачи исследования устойчивости методов статистического распознавания к искажениям образов // *Вестник РФФИ*. 2016. № 4. С. 124–134. DOI: 10.22204/2410-4639-2016-092-04-124-134.

#### REFERENCES

1. Gorshkov B.M., Severin A.A., Shlegel O.A., Kabardin A.F. *Ustroystvo diagnostiki iznosa tormoznykh kolodok avtomobilya* [The device for diagnostics of the car brake shoe wear]. Patent RF no. 2189561, 2001.
2. Bobrovsky N.M., Vilchik V.A., Bokk V.V., Bobrovskiy I.N. Distribution of temperature in burnishing with broad self-aligned gear. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk*, 2008, no. S6, pp. 22–29.
3. Introduction to Taylor Hobson.  
URL: [taylor-hobson.com/uploads/downloads/taylor-hobson-overview.pdf](http://taylor-hobson.com/uploads/downloads/taylor-hobson-overview.pdf).
4. Shlegel O.A., Severin A.A., Gorshkov B.M., Abramov G.N., Tuishchev A.I. *Ustroystvo dlya diagnostiki sistemy osveshcheniya avtomobilya* [The device for diagnostics of the car lightening system]. Patent RF no. 2182325, 1999.
5. Moiseev M.A., Doskolovich L.L., Kazanskiy N.L. Design of high-efficient freeform led lens for illumination of elongated rectangular regions. *Optics Express*, 2011, vol. 19, no. S3, pp. A225–A233.
6. Zhang Y. *Cutting-tool wear state evaluating method based on image analysis of workpiece machining surface*. Patent no. CN 101670533, 2010.
7. Khonina S.N., Kazanskiy N.L., Volotovskiy S.G. Vortex phase transmission function as a factor to reduce the focal spot of high-aperture focusing system. *Journal of Modern Optics*, 2011, vol. 58, no. 9, pp. 748–760.
8. Derevyanchenko A.G., Babilunga O.Yu., Krinitsyna D.A. The system of data mining of images of cutting tool wear areas. *Rezanie i instrument v technologicheskikh sistemakh*, 2010, no. 78, pp. 34–41.
9. Kuznetsova E.G., Polaykov I.V., Nikolaev D.P., Matsnev D.N. Development of computer vision algorithms of incremental unsupervised learning for detection of com-

- plex structured moving objects. *RFBR Journal*, 2016, no. 4, pp. 17–37. DOI: 10.22204/2410-4639-2016-092-04-17-37.
10. Nikolaev P.P. A projective invariant description of ovals with three possible symmetry genera. *RFBR Journal*, 2016, no. 4, pp. 38–54. DOI: 10.22204/2410-4639-2016-092-04-38-54.
  11. Soifer V.A., Doskolovich L.L., Golovashkin D.L., Kazanskiy N.L., Kharitonov S.I., Khonina S.N., Kotlyar V.V., Pavelyev V.S., Skidanov R.V., Solovyev V.S., Uspleniev G.V., Volkov A.V. *Methods for computer design of diffractive optical elements*. New York, John Wiley & Sons, 2002. 765 p.
  12. Bobrovsky N.M., Bobrovsky I.N., Melnikov P.A. Definition of deterioration area on machine component and tools. *Vektor nauki Tolyattinskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2009, no. 1, pp. 17–23.
  13. Bondarenko A.Yu., Adamov V.G. Analysis of methods for determining the contours of the image. *Mezhdunarodniy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal*, 2015, no. 8-2, pp. 13–16. DOI: 10.18454/IRJ.2227-6017.
  14. Vlasov A.V., Tsapko I.V. Modification of Canny algorithm for applying to X-ray images processing. *Vestnik nauki Sibiri*, 2013, no. 4, pp. 120–127.
  15. Polevoy D.V., Bulatov K.B., Skoryukina N.S., Chernov T.S., Arlazarov V.V., Sheshkus A.V. Key aspects of document recognition using small digital cameras. *RFBR Journal*, 2016, no. 4, pp. 97–108. DOI: 10.22204/2410-4639-2016-092-04-97-108.
  16. Bulatov K.B., Kirsanov V.Yu., Arlazarov V.V., Nikolaev D.P., Polevoy D.V. Methods for integration the results of the documents text fields recognition in the videostream of a mobile device. *RFBR Journal*, 2016, no. 4, pp. 109–115. DOI: 10.22204/2410-4639-2016-092-04-109-115.
  17. Chernov T.S., Ilin D.A., Bezmaternykh P.V., Faradzhev I.A., Karpenko S.M. Research of segmentation methods for images of document textual blocks based on the structural analysis and machine learning. *RFBR Journal*, 2016, no. 4, pp. 55–71. DOI: 10.22204/2410-4639-2016-092-04-55-71.
  18. Limonova E.E., Sheshkus A.V., Nikolaev D.P., Ivanova A.A., Ilin D.A., Arlazarov V.L. Performance optimization of the initial layers of deep convolutional neural networks. *RFBR Journal*, 2016, no. 4, pp. 84–96. DOI: 10.22204/2410-4639-2016-092-04-84-96.
  19. Manzhikov T.V., Slavin O.A., Faradzhev I.A., Yanishevsky I.M. N-grams algorithm application for the correction of recognition results. *RFBR Journal*, 2016, no. 4, pp. 116–123. DOI: 10.22204/2410-4639-2016-092-04-116-123.
  20. Gavrikov B.M., Pestryakova N.V. Multivariate numerical modelling in solving the research problem of statistical pattern recognition methods' stability to distortion of images. *RFBR Journal*, 2016, no. 4, pp. 124–134. DOI: 10.22204/2410-4639-2016-092-04-124-134.

#### THE ALGORITHM FOR OPTICAL METHOD OF CONTROL OF THE CYLINDRICAL SMOOTHER WORKING SURFACE WEAR

© 2017

*A.A. Lukyanov*, postgraduate student

*N.M. Bobrovskiy*, Doctor of Sciences (Engineering), Associate Professor,  
professor of Chair “Equipment and technologies of machinery production”

*P.A. Melnikov*, PhD (Engineering), Director of the Institute of chemistry and engineering ecology

*I.N. Bobrovskiy*, PhD (Engineering), Head of laboratory “Car technologies”

*O.O. Levitskikh*, engineer

*A.S. Sevostyanov*, engineer

*Togliatti State University, Togliatti (Russia)*

*Keywords:* computer vision; wear area; edge detection; Prewitt operator.

*Abstract:* Due to the new technology complication and the severization of the requirements to its reliability, the labor intensity of checking operations within the industrial systems of the products quality control increases considerably. The significance of control within the quality management is caused by the fact that it is the control, which promotes the adequate use of the conditions for producing the goods meeting the applicable requirements. The image digital processing has a wide application practically in all areas of industry. Commonly, its application allows getting to the new technology level of production. In these conditions, the issues associated with the autoextract from the image and the interpretation of the information being the basis for the decision making in the process of manufacturing control are the most complicated. The authors suggest the algorithm for the optical method of control of wear of the cylindrical smoother working surface applied for the final polishing of workpieces using surface plastic deformation (SPD). The paper compares the developed software implemented on the basis of the suggested algorithm with its previous version. The main distinguishing feature of the suggested algorithm is the possibility of automatic recognition of the burnishing tool image with its further edge detection, working surface estimation and the automatic detection of the defects and wear area. Various defects and the smoother surface wear in the process of mechanical treatment are detected automatically using the methods of detection of the edges on the images, in particular, using the Prewitt operator. The authors developed the software implementing the algorithm under consideration in the Matlab media, but it can be developed using other programming languages.