

## РАЗРАБОТКА ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА КОНТРОЛЯ ОБЪЕКТОВ МАШИНОСТРОЕНИЯ В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ СИСТЕМ МАШИННОГО ЗРЕНИЯ

А.Д. Стукалова

nastyas\_email@rambler.ru

SPIN-код: 6647-5791

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация

---

### Аннотация

*Рассмотрен вопрос создания измерительного комплекса контроля, позволяющего анализировать состояние поверхности изделий машиностроительной отрасли. Затронуты проблемы, характерные для анализа состояния поверхности объектов в режиме реального времени. Приведены математические выкладки, с помощью которых можно анализировать визуальную информацию, поступающую на компьютер от видеокамеры. Предложена система, позволяющая делать комплексное заключение о состоянии поверхности объекта, начиная от анализа поверхности, поиска возможного дефекта и заканчивая оценкой характера дефектной области и принятия решения о том, является ли зафиксированное отклонение дефектом или нет. Представлена модель возможной системы контроля поверхности изучаемого объекта на основе стробоскопа и видеокамеры.*

### Ключевые слова

*Машинное зрение, яркостно-геометрическая характеристика изображения, морфологический анализ, поверхность изделия, неразрушающий контроль, вал, видеокамера, поверхностные дефекты*

Поступила в редакцию 04.07.2018

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2018

---

В настоящее время изучение вопроса анализа поверхностных дефектов объектов машиностроения в процессе их жизнедеятельности является актуальной задачей. Множество ответственных объектов, подверженных серьезным нагрузкам, находятся в движении, что в значительной мере затрудняет процесс их визуального контроля. Однако своевременное обнаружение ряда поверхностных дефектов, таких как трещины и сколы, позволит не только предотвратить брак, но и предупредить поломку механизмов [1]. Таким образом, средства технического диагностирования поверхности играют огромную роль в развитии современных методов контроля качества механизма на различных этапах его жизненного цикла [2, 3]. Необходимо создание и внедрение в промышленность систем контроля качества поверхности, которые позволят решать ряд задач:

- разместить контрольное устройство в условиях ограниченного пространства;
- гарантировать работа в условиях повышенных температур;
- обеспечить высокую скорость движения объекта (человеческий глаз не может отслеживать изменение состояния поверхности);
- контролировать состояние поверхности объекта в режиме реального времени.

Применение видеокамеры позволяет решить проблемы установки средства диагностирования в ограниченном пространстве и работы с высокими температурами производственных процессов, а применение стробоскопа — фиксировать быстропротекающие процессы. Также необходимо разработать алгоритмы анализа полученной визуальной информации, что существенно сократит время процесса контроля и повысит качество обрабатываемых данных.

Большое внимание необходимо уделить математическому аппарату, способному обрабатывать полученную визуальную информацию. Так, математической моделью изображения является функция, зависящая от двух пространственных переменных. Значение функции в заданной точке  $(x, y)$  плоскости количественно выражает физическое свойство моделируемого изображения — его яркость или цвет. Область изменения пространственных переменных (область задания функции) называется полем зрения, а значения функции в заданной точке поля зрения — яркостью изображения. В виде формулы это записывается как:

$$\int_x f^2(x, y) dx dy < \infty,$$

где  $f(x, y)$  — функция яркости (энергия видимого света, излучаемая элементарной площадкой  $dx dy$ , центр которой находится в точке поля зрения с координатами  $(x, y)$ , в элемент телесного угла  $d\Omega$  в направлении наблюдателя).

Изображение может «состоять» из нескольких функций  $f_1(x, y)$ ,  $f_2(x, y), \dots, f_N(x, y)$ , одна из которых, например, описывает яркость, другие — текстурные особенности, следующие — цвет [4, 5].

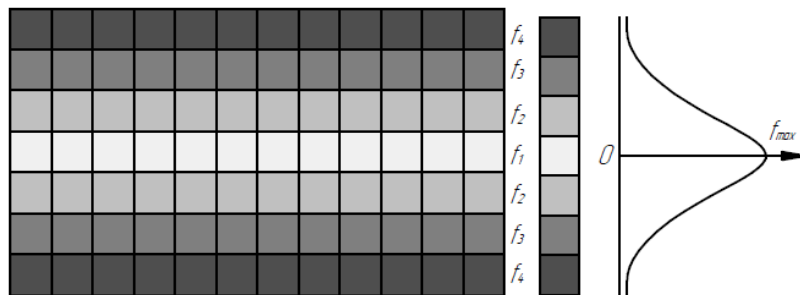


Рис. 1. Модель вала в пиксельной форме

Модель вала представим в виде матрицы, состоящей из пикселей, каждому из которых присвоен свой цвет [6] (рис. 1):

$$A = \begin{pmatrix} f_{11} & f_{12} & \dots & f_{1n} \\ f_{21} & f_{22} & \dots & f_{2n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ f_{N1} & f_{N2} & \dots & f_{Nn} \end{pmatrix}.$$

Из матрицы значений выделим столбец и проанализируем его свойства:

$$A_i = \begin{pmatrix} f_1 \\ f_2 \\ \vdots \\ f_N \end{pmatrix};$$

Яркости отражающих поверхностей, не являющиеся плоскими, изменяются постепенно от точки к точке и, следовательно, их изображения не являются кусочно-постоянными функциями [7]. Например, изображение вала можно описать следующим образом (рис. 2):

$$f(x, y) = \begin{cases} c_1(x, y), & (x, y) \in A_1; \\ c_2(x, y) = \text{const}, & (x, y) \in A_2, \end{cases}$$

где  $c_1(x, y)$  — функция, описывающая изменения яркости поверхности объекта;  $c_2(x, y)$  — функция, описывающая изменения яркости фона;

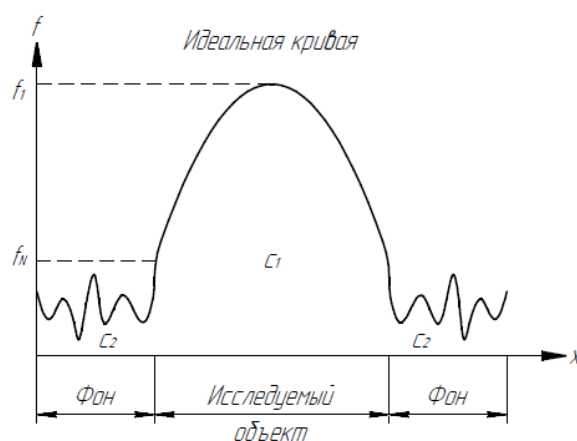


Рис. 2. Идеальная кривая яркостно-геометрической модели изображения

Функцию  $c_1(x, y)$  можно задавать в виде разложения (рис. 3)

$$c_1(x, y) = \sum_{i=1}^N \alpha_i g_i(x, y), (x, y) \in A_1,$$

где  $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_N$  — постоянные коэффициенты;  $[g_i]$  — набор функций, специально подобранный для наиболее качественного моделирования изображения объекта.

Распределение яркости происходит по закону

$$f_1 \geq f_2 \geq \dots \geq f_N;$$

где  $f_1$  — самый светлый участок изображения,  $f_N$  — наиболее темный участок изображения.

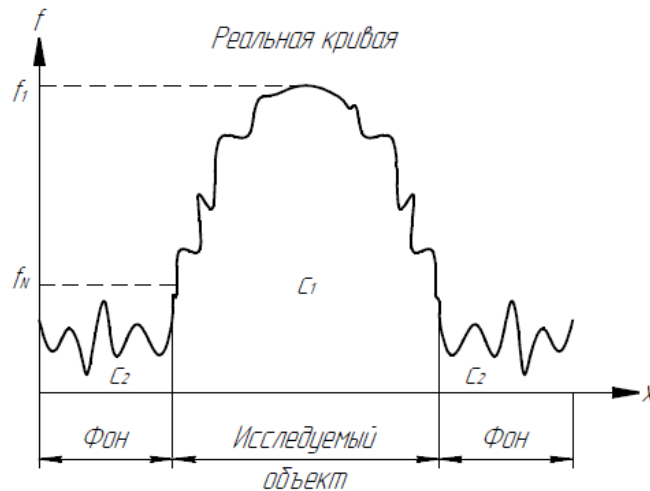


Рис. 3. Реальная кривая яркостно-геометрической модели изображения

Разница между кривой на рис. 2 и 3 будет давать представление о наличии дефектов на поверхности вала. При отсутствии несоответствий можно сделать заключение, что дефектов на поверхности исследуемого объекта нет [8].

Нахождение дефектов основано на сопоставлении двух кривых и анализе различий между ними. Принимаем:

$F$  — идеальная кривая (изменение яркости происходит монотонно);

$G$  — реальная кривая (изменение яркости немонотонно при наличии дефектов);

$\Pi_g$  — кривая, полученная усреднением реальной кривой, при стремлении ее к идеальной;

Условие нахождения несоответствий можно представить в следующем виде:

$G - \Pi_g = 0$  — дефекты отсутствуют;

$G - \Pi_g > 0$  или  $G - \Pi_g < 0$  — наличие дефектов;

Анализ яркостно-геометрической модели позволяет дать более детальное представление о виде и характере поверхностного отклонения. Так, безвредный рисунок или окалина могут быть приняты за реальный дефект, и объект исследования будет ложно забракован. Чтобы избежать этого, применяют система с двумя стробоскопами и двумя видеокамерами, которая производит параллельную видеосъемку поверхности исследуемого объекта в двух противоположных направлениях. Данная измерительная система вместе с современными методами обработки данных анализирует значение освещенности каждого пикселя изображения в соответствии со следующей формулой [9, 10]:

$$I_{diff}(x, y) = I_a(x, y) - I_b(x, y),$$

где  $I_a(x, y)$  — освещенность каждого пикселя изображения  $a$ ;  $I_b(x, y)$  — освещенность каждого пикселя изображения  $b$ .

По характеру проявления поверхностные дефекты условно можно подразделить на выпуклые (например, задиры) и вогнутые (например, трещина). Схема освещения выпуклого поверхностного дефекта показана на рис. 4.

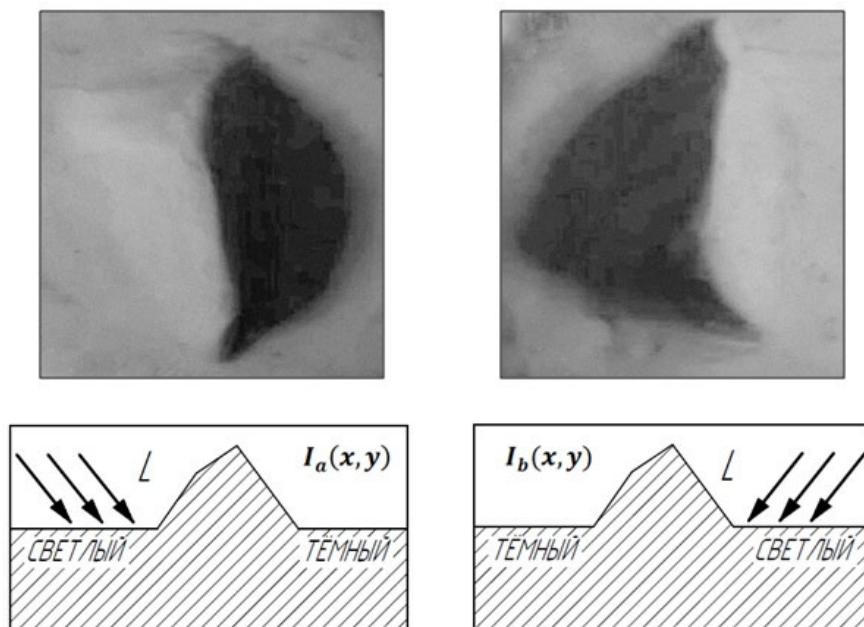


Рис.4. Распознавание выпуклого поверхностного дефекта

Поток визуальной информации для двух разных углов освещения записывается параллельно, в результате чего происходит наложение изображений друг на друга. По разности полученных значений можно сказать, имеет ли место дефект поверхности или нет (расхождения между яркостно-геометрическими моделями изображений условно равны нулю).

Безвредный рисунок или окалина:

$$I_{diff}(x, y) \cong 0.$$

Дефект (трещина, скол):

$$I_{diff}(x, y) \neq 0.$$

Для решения поставленной задачи была разработана модель измерительного комплекса, представленная на рис. 5. Система включает в себя два стробоскопа и две видеокамеры, записывающие поток визуальной информации, каждая для своего угла наклона стробоскопа. Таким образом появляются левый и правый потоки информации, один содержит данные об освещенности изображения  $a$  ( $I_a(x, y)$ ), другой — об освещенности изображения  $b$  ( $I_b(x, y)$ ).

Все полученные в ходе выполнения эксперимента данные поступают на компьютер, в единую базу данных, и затем обрабатываются, что позволяет давать детальную характеристику состояния поверхности объекта. На первом этапе

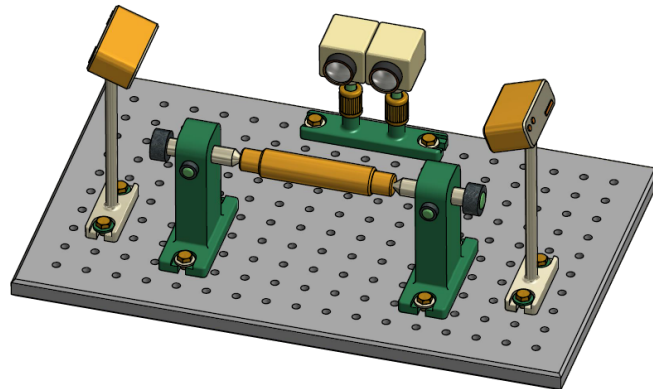


Рис. 5. Модель измерительного комплекса

анализа дают заключение о состоянии поверхности объекта в целом, строят кривые, позволяющие определить, присутствует ли на поверхности вала какое-либо отклонение от нормального распределения яркости или нет. На втором этапе проводят более детальный анализ, принимают решение о том, является ли дефектная область, зафиксированная на поверхности объекта, безвредным рисунком, или же она представляет собой реальный дефект типа заусенца или трещины. На основании полученных данных принимают решение о состоянии объекта: его либо бракуют, либо признают годным.

### Литература

- [1] Захаров Ю.А., Ремзин Е.В., Мусатов Г.А. Анализ основных дефектов и способов восстановления деталей автомобилей типа «вал» и «ось». *Молодой ученый*, 2014, № 20, с. 138–140.
- [2] Байков А.И., Киселев М.И., Комшин А.С., Пронякин В.И., Руденко А.Л. Многофакторное информационное метрологическое сопровождение эксплуатации гидроагрегатов на базе фазохронометрического метода. *Гидротехническое строительство*, 2015, № 2, с. 2–8.
- [3] Кузнецов М.В. *Современные методы исследования поверхности твердых тел: фотоэлектронная спектроскопия и дифракция, СТМ-микроскопия*. Екатеринбург, Институт химии твердого тела УрО РАН, 2010, 43 с.
- [4] Куличков С.Н., Чуличков А.И., Демин Д.С. *Морфологический анализ инфразвуковых сигналов в атмосферной акустике*. Москва, Новый Акрополь, 2010, 129 с.
- [5] Пытбев Ю.П., Чуличков А.И. *Методы морфологического анализа изображений*. Москва, Физматлит, 2010, 336 с.
- [6] Гонсалес Р., Вудс Р. *Цифровая обработка изображений*. Москва, Техносфера, 2005, 1072 с.
- [7] Визильтер Ю.В. *Теория и методы морфологического анализа изображений*. Дисс. ... док. физ.-мат. наук. Москва, 2008, 275 с.
- [8] Хорн Б.К.П. *Зрение роботов*. Москва, Мир, 1989, 487 с.
- [9] Оно Х., Кодама Т., Косихара Т., Огава А., Иидзука Ю. *Способ обнаружения дефектов поверхности и устройство для обнаружения дефектов поверхности*. Патент РФ 2637723. Оpubл. 24.12.2014.

- [10] Задорин А.Ю. *Автоматизация визуального контроля качества печатных плат*. Дисс. ... канд. тех. наук. Екатеринбург, 2003, 147 с.

**Стукалова Анастасия Дмитриевна** — магистрант кафедры «Метрология и взаимозаменяемость», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

**Научный руководитель** — Комшин Александр Сергеевич, доктор технических наук, доцент кафедры «Метрология и взаимозаменяемость», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

---

**DEVELOPING THE MEASURING SYSTEM FOR CONTROLLING  
THE MECHANICAL ENGINEERING OBJECTS WHILE IN OPERATION  
WITH THE USE OF COMPUTER VISION SYSTEMS**

A.D. Stukalova

nastyas\_email@rambler.ru

SPIN-code: 6647-5791

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

**Abstract**

*The article considers the issue of creating a control measuring system that allows analyzing the surface condition of the engineering industry products. We touch on the problems typical for the analysis of the objects' surface condition in real-time mode. The work provides the mathematical treatment, through the use of which it is possible to analyze visual information transmitted to the computer from video camera. The authors introduce a system that allows making complex conclusion regarding the object's surface condition, starting from the surface analysis, finding possible defect and finishing with estimating the nature of the imperfections region and deciding whether the detected imperfection is a defect or not. We present a model of the possible system of controlling the investigated object's surface by means of stroboscope and video camera.*

**Keywords**

*Computer vision, brightness-geometric characteristic of the image, morphological analysis, the product surface, non-destructive control, shaft, video camera, surface defects*

Received 04.07.2018

© Bauman Moscow State Technical University, 2018

**References**

- [1] Zakharov Yu.A., Remzin E.V., Musatov G.A. Analysis of main defects and restoration methods for "axis and axle" automobile parts. *Molodoy uchenyy* [Young Scientist], 2014, no. 20, pp. 138–140.
- [2] Baykov A.I., Kiselev M.I., Komshin A.S., Pronyakin V.I., Rudenko A.L. Multi-factor information methodological maintenance of gyromachines exploitation based on phase-chronometric method. *Gidrotekhnicheskoe stroitel'stvo*, 2015, no. 2, pp. 2–8.
- [3] Kuznetsov M.V. Sovremennyye metody issledovaniya poverkhnosti tverdykh tel: fotoelektronnaya spektroskopiya i difraktsiya, STM-mikroskopiya [Modern research methods of solid bodies surface: photoelectronic spectroscopy and diffraction. STM microscopy]. Ekaterinburg, Institut khimii tverdogo tela UrO RAS publ., 2010, 43 p.
- [4] Kulichkov S.N., Chulichkov A.I., Demin D.S. Morfologicheskii analiz infrazvukovykh signalov v atmosfernoy akustike [Morphologic analysis of infrasound signals in atmosphere acoustics]. Moscow, Novyy Akropol' publ., 2010, 129 p.
- [5] Pyt'yev Yu.P., Chulichkov A.I. Metody morfologicheskogo analiza izobrazheniy [Methods of morphological image analysis]. Moscow, Fizmatlit publ., 2010, 336 p.
- [6] Gonzalez R.C., Woods R.E. Digital image processing. Prentice Hall, 2002, 793 p. (Russ. ed.: Tsifrovaya obrabotka izobrazheniy. Moscow, Tekhnosfera publ., 2005, 1072 p.)
- [7] Vizil'ter Yu.V. Teoriya i metody morfologicheskogo analiza izobrazheniy. Diss. dok. fiz.-mat. nauk [Theory and methods of morphological image analysis. Doc. tech. sci. diss.]. Moscow, 2008, 275 p.



- [8] Berthold K.P.H. Robot vision. The MIT Press, 1986, 522 p. (Russ. ed.: Zrenie robotov. Moscow, Mir publ., 1989, 487 p.)
- [9] Ono Kh., Kodama T., Kosikhara T., Ogava A., Iidzuka Yu. Sposob obnaruzheniya defektov poverkhnosti i ustroystvo dlya obnaruzheniya defektov poverkhnosti [Method for recognition of surface defects and device for surface defects recognition]. Patent RF 2637723. Publ. 24.12.2014.
- [10] Zadorin A.Yu. Avtomatizatsiya vizual'nogo kontrolya kachestva pechatnykh plat. Diss. kand. tekhn. nauk [Automation of visual control on printed board quality. Kand. tech. sci. diss.]. Ekaterinburg, 2003, 147 p.

**Stukalova A.D.** — Master's Degree student, Department of Metrology and Interchangeability, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

**Scientific advisor** — A.S. Komshin, Dr. Sc. (Eng.), Assoc. Professor, Department of Metrology and Interchangeability, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.