

## РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ КОНТРОЛЯ ОБЪЕКТОВ МАШИНОСТРОЕНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ РЯДОВ ФУРЬЕ НА БАЗЕ СИСТЕМЫ МАШИННОГО ЗРЕНИЯ

А.Д. Стукалова

nastyas\_email@rambler.ru

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

---

### Аннотация

*Рассмотрена задача гармонического анализа определения коэффициентов рядов Фурье на примере построения пространственных координат, полученных на базе системы машинного зрения. Предложена методика определения числа гармоник достаточного для получения кривой, которая максимально соответствует заданной. В ходе решения поставленных задач использован программный пакет MatLab. Создана 3D-модель контроля объектов на основе универсальной делительной головки. Решена задача крепления видеокамеры и системы освещения при помощи разработанных универсальных штативов.*

### Ключевые слова

*Ряды Фурье, гармонический анализ, машинное зрение, неразрушающий контроль, 3D-модель измерительной установки, измерения деталей, контроль поверхности*

Поступила в редакцию 26.10.2017

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017

---

В настоящее время изучение вопроса передачи и анализа цифровых изображений, содержащих информацию об особенностях объекта, является крайне актуальным. К анализируемым параметрам относят геометрические размеры детали, форму объекта, поверхностные дефекты, шероховатость и многие другие [1]. Средства технического диагностирования играют важную роль в развитии современных методов контроля качества механизма на различных этапах его жизненного цикла. Проверка исправности, правильности функционирования, поиска дефектов и оценка технического состояния машин требует измерения и контроля [2]. Получение максимального объема информации, основанного на использовании математического аппарата и прикладном применении технических новинок, является надежной основой развития современных методов диагностирования [3, 4].

Для дистанционного контроля формы объекта необходимо применение системы машинного зрения и анализ разложения математических функций в ряд Фурье. Первое позволяет получить цифровые изображения высокого разрешения, а второе — осуществить достоверный анализ формы поверхности, в частном случае анализ кривой. Наряду с преобразованиями Фурье, широкое применение получили методы анализа, построенные на преобразованиях Хартли, Уолша и вейвлет-преобразования Хаара [3]. Однако преобразования Фурье являются фундаментом гармонического анализа.

**Анализ данных.** Изображения, получаемые с помощью видеокамеры, записываются на компьютере и проходят дальнейшую обработку с целью выявления

требуемых характеристик. После получения кадра, содержащего информацию о поверхности детали, необходимо получить зависимость, которая соответствует реальному профилю объекта.

Для точного воспроизведения заданной кривой нам необходимо знать начальную функцию  $f(x)$ . При работе с простейшими функциями  $f(x)$  возможен подбор уравнения для данной кривой вручную. Например, когда кривая имеет вид функции  $y = x$  или  $y = |x|$ .

Поскольку полученный снимок профиля поверхности имеет сложную форму, узнать изначальную функцию, отражающую его свойства, можно с помощью преобразований Фурье:

$$f(x) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} [a_n \cos(nx) + b_n \sin(nx)];$$

$$a_0 = \frac{1}{\pi} + \int_0^{2\pi} f(x) dx;$$

$$a_n = \frac{1}{\pi} + \int_0^{2\pi} f(x) \cos(nx) dx;$$

$$b_n = \frac{1}{\pi} + \int_0^{2\pi} f(x) \sin(nx) dx.$$

Для этого вводим систему координат (координатную сетку) и выделяем характерные точки исследуемой кривой. На основании полученных координат, указанных точек, строим таблицу значений функции  $f(x)$ , в которой каждому значению  $x$  будет соответствовать единственное значение  $y$ .

#### Координаты точек исходного массива

№ п/п	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$x$	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
$y$	-236	-200	-197	-196	-199	-202	-204	-208	-212	-216

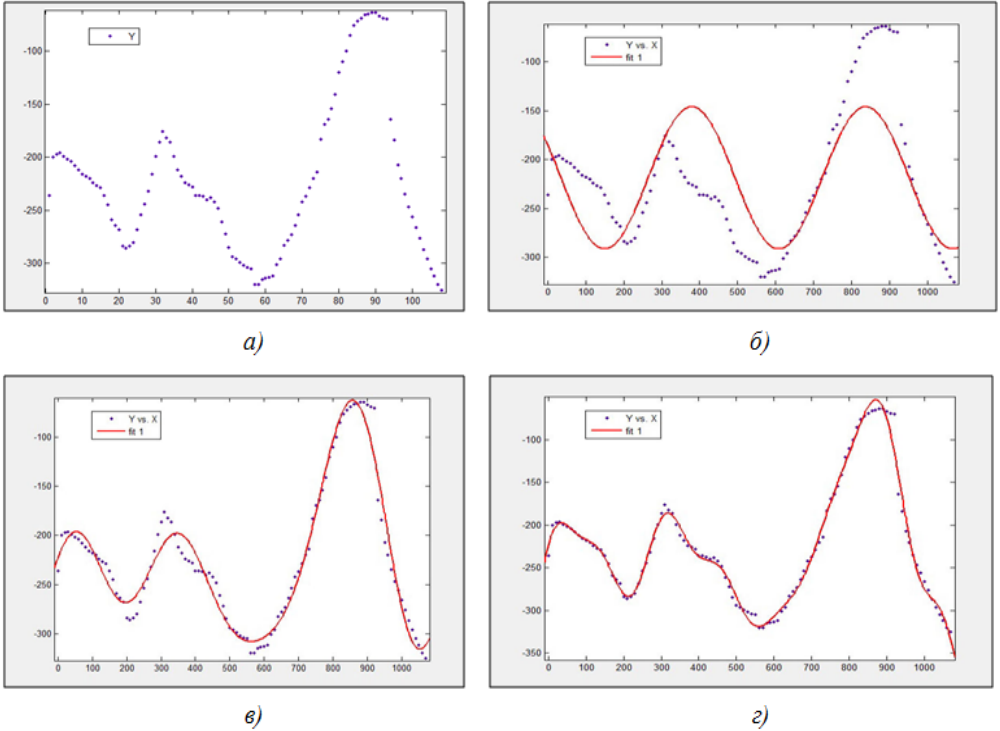
...

№ п/п	101	102	103	104	105	106	107	108
$x$	1000	1010	1020	1030	1040	1050	1060	1070
$y$	-266	-276	-287	-296	-305	-312	-320	-325

Графическое представление массива точек, заданного с помощью таблицы, показано на рис. 1.

Для решения поставленной задачи воспользуемся программным пакетом MatLab, чтобы на основе полученных данных построить кривую с заданным ко-

личеством гармоник. Это даст возможность определить, какое максимально допустимое число гармоник необходимо передать, чтобы кривая, полученная после разложения данного массива в ряд Фурье, наилучшим образом соответствовала заданной изначально зависимости и чтобы погрешность ее воспроизведения была минимальной.



**Рис. 1.** Исходный массив точек (а) и зависимости, отображающие число гармоник  $n = 1$  (б),  $n = 5$  (в),  $n = 8$  (г)

**Получение цифрового изображения.** Для решения поставленной задачи разработана универсальная измерительная установка (рис. 2), позволяющая использовать контрольно-измерительные приборы с различными принципами действия, например с применением лазера, инфракрасного датчика, USB-микроскопа. Предложенная установка работает на базе системы машинного зрения.

Для закрепления в центрах контролируемого объекта 5 применим универсальную делительную головку 1 и заднюю бабку 4. Такую головку используют, чтобы поворот детали был максимально точным, что позволяет получать изображение с поворотом на одинаковый шаг. В модели предусмотрена система машинного зрения 2 и система освещения 3, которые закреплены на универсальных штативах 6. Для исключения погрешностей, провоцируемых установкой (погрешностей базирования), все элементы модели закрепляем на станине 7.

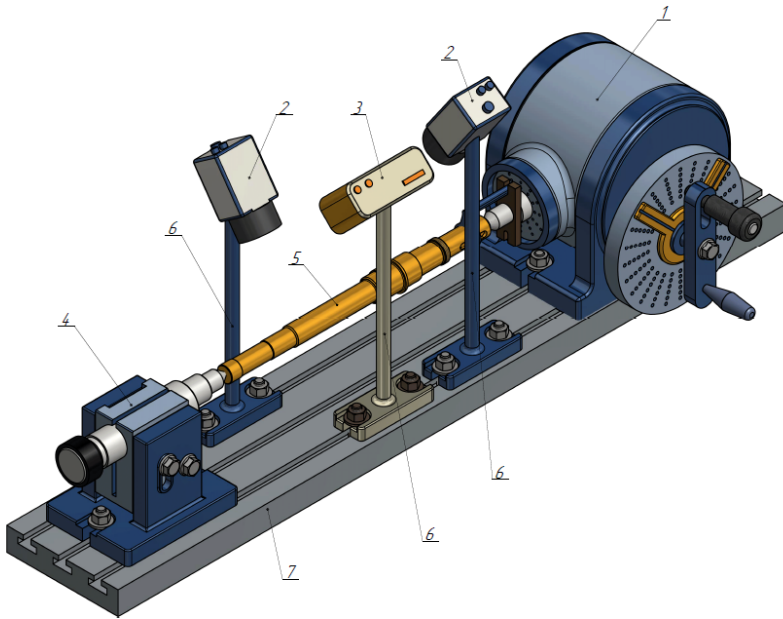


Рис. 2. Разработанная измерительная установка

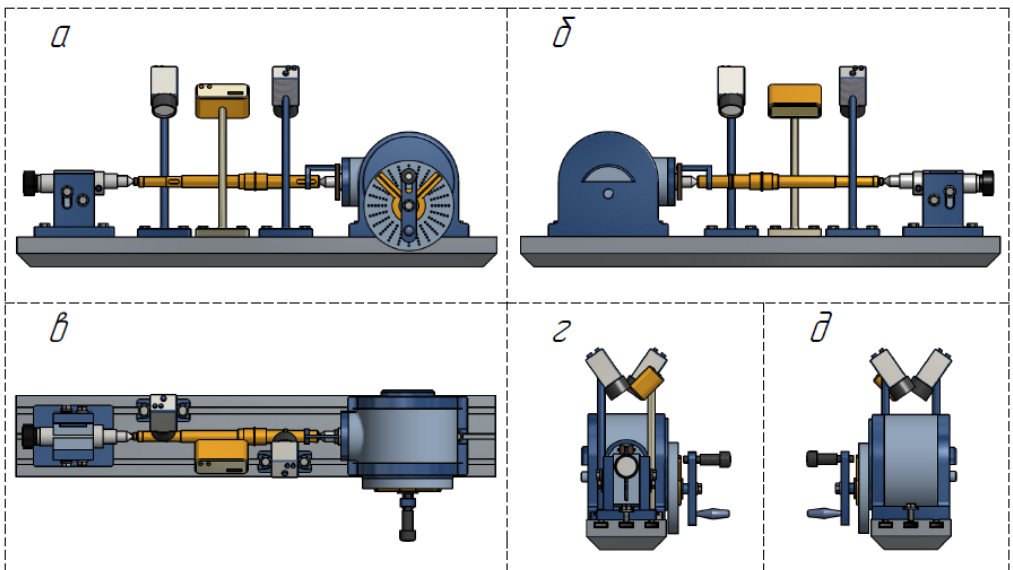


Рис. 3. Разработанная модель установки:

*a* — вид спереди; *b* — сзади; *v* — сверху; *z* — слева; *d* — вид справа

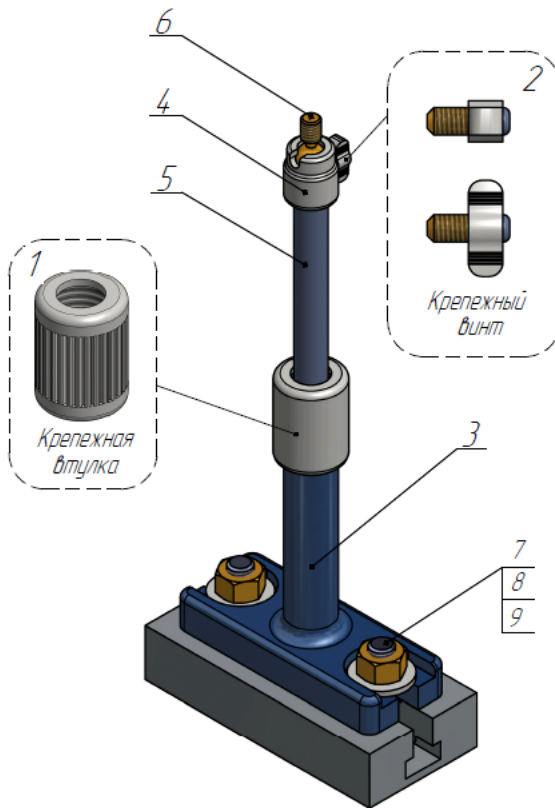
Предложенная модель системы машинного зрения может включать в себя следующие компоненты: одну или несколько цифровых или аналоговых камер (черно-белые либо цветные), программное обеспечение для обработки изображений, персональный компьютер с многоядерным процессором или «умные» камеры со встроенным процессором. Данное оборудование позволит решить большой спектр

задач (проанализировать форму, определить размеры, обнаружить поверхностные дефекты), возникающие при проведении измерений и диагностики объектов.

При соответствующей модернизации и оснащении дополнительным оборудованием установки датчиком угла контроля (энкодером и электрическим приводом), предложенная модель может применяться для исследования фазохронометрического метода и стробоскопического эффекта [5].

Внедрение элементов машинного зрения позволяет в режиме реального времени получать необходимую информацию (геометрические размеры, сведения о наличии дефектов) о контролируемом объекте [6, 7].

В ходе проектирования модели будущей установки решена проблема крепления датчиков контроля (в данном случае датчиков видеокамеры). Разработанный универсальный штатив и его основные элементы представлены на рис. 4.



**Рис. 4.** Разработанный универсальный штатив:

- 1 — крепежная втулка; 2 — крепежный винт; 3 — опора штатива; 4 — шаровой корпус;
- 5 — штанга; 6 — шток с шарниром

Разработанный штатив соответствует всем предъявляемым к данному виду изделий прочностным требованиям. Произведена проверка всех резьбовых соединений на срез и смятие. Получены положительные результаты. Отметим также, что штатив изготовлен из стали марки 45.

Напряжения, возникающие в резьбовом соединении крепежного винта и шарового корпуса при смятии, запишем как

$$\sigma_{\text{см}} = 8,3 \text{ МПа} \leq [\sigma]_{\text{см}} = 126 \text{ МПа}.$$

Возникающие в резьбовом соединении крепежного винта и шарового корпуса при срезе напряжения рассчитаем следующим образом:

$$\tau_{\text{с}} = 5,568 \text{ МПа} \leq [\tau]_{\text{ср}} = 90 \text{ МПа};$$

$$\tau_{\text{г}} = 4,815 \text{ МПа} \leq [\tau]_{\text{ср}} = 90 \text{ МПа}.$$

Расчет производился для случая, когда камера имеет максимальный наклон и на резьбу действует максимальная нагрузка. Высоту штатива можно регулировать путем перемещения штанги, которая фиксируется крепежной втулкой.

**Выводы.** Однако поиск оптимальных методов контроля качества объектов на основе системы машинного зрения затруднен без лабораторных исследований. В заключение отметим, что использование предложенной модели позволяет:

- 1) опытным путем исследовать возможности машинного зрения в метрологии (например, USB-микроскопа, web-камеры, «умных» видеокамер, в том числе в инфракрасном диапазоне и т. д.);
- 2) осуществлять достоверный анализ формы поверхности, в том числе кривой с использованием преобразований Фурье для получения информации о механических повреждениях типа «сколы», температурных деформациях контролируемого объекта, наслоении продуктов окисления, выработке;
- 3) исследовать элементы морфологического анализа с целью изучения алгоритмов автоматизированного анализа изображений;
- 4) экспериментировать с различными источниками освещения с использованием прецизионных стробоскопов, позволяющих исследовать быстродвижущиеся объекты;
- 5) применять разработанную модель в учебных целях;
- 6) при соответствующей модернизации делительной головки и установки энкодера исследовать фазохронометрическую систему диагностики, интегрированную с системой машинного зрения.

## 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, ч. 2, 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] Залманзон Л.А. *Преобразования Фурье, Уолша, Хаара и их применение в управлении, связи и других областях*. Москва, Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1989, 496 с.
- [4] Киселев М.И., Пронякин В.И. Фазовый метод исследования циклических машин и механизмов на основе хронометрического подхода. *Измерительная техника*, 2001, № 9, с. 15–18.
- [5] Кузнецов М.В. Современные методы исследования поверхности твердых тел: фотоэлектронная спектроскопия и дифракция, СТМ-микроскопия. Екатеринбург, ИХТТ УрО РАН, 2010, 49 с.
- [6] Шовенгердт Р.А. *Дистанционное зондирование. Модели и методы обработки изображений*. Ч. 1. Москва, Техносфера, 2010, 560 с.
- [7] Пытьев Ю.П., Чуличков А.И. *Методы морфологического анализа изображений*. Москва, Физматлит, 2010, 336 с.

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

**Научный руководитель** — А.С. Комшин, д-р техн. наук, доцент кафедры «Метрология и взаимозаменяемость», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

## DEVELOPMENT OF A MODEL FOR MECHANICAL ENGINEERING OBJECT CONTROL USING FOURIER SERIES BASED ON COMPUTER VISION SYSTEM

A.D. Stukalova

nastyas\_email@rambler.ru

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

### Abstract

The purpose of the article was to do the harmonic analysis of definition of Fourier series coefficients using the example of building spatial coordinates obtained on the basis of computer vision system. We suggest the method of defining the harmonic number sufficient for obtaining the curve which matches with defined one as much as possible. When solving the given problem, we used software package Matlab. As a result, we designed a 3D-model for object control based on the universal dividing head. Moreover, we solved the problem of video camera mounting and illumination by means of universal tripods.

### Keywords

Fourier series, harmonic analysis, computer vision system, nondestructive testing, 3D-model of measuring setup, surface control

© Bauman Moscow State Technical University, 2017

### References

- [1] Zakharov Yu.A., Remzin E.V., Musatov G.A. Analysis of main defects and restoration method for vehicle parts of “shaft” and “axis” type. *Molodoy uchenyy* [Young Scientist], 2014, no. 20, part 2, pp. 138–140.
- [2] Baykov A.I., Kiselev M.I., Komshin A.S., Pronyakin V.I., Rudenko A.L. Multi-factor metrological information maintaining of hydraulic unit exploitation based on phase-chronometric method. *Gidrotekhnicheskoe stroitel'stvo*, 2015, no. 2, pp. 2–8.
- [3] Zalmanzon L.A. Preobrazovaniya Fur'ye, Uolsha, Khaara i ikh primeneniye v upravlenii, svyazi i drugikh oblastiakh [Fourier, Walsh, Haar transformation and their application in management, communication and other fields]. Moscow, Nauka publ., Glavnoaya redakciya fiz.-mat. literatury publ., 1989, 496 p.
- [4] Kiselev M.I., Pronyakin V.I. A phase method of investigating cyclic machines and mechanisms based on a chronometric approach. *Izmeritel'naya tekhnika*, 2001, no. 9, pp. 15–18. (Eng. version: *Measurement Techniques*, 2001, vol. 44, no. 9, pp. 898–902.)
- [5] Kuznetsov M.V. Sovremennyye metody issledovaniya poverkhnosti tverdykh tel: fotoelektronnaya spektroskopiya i difraktsiya, STM-mikroskopiya [Modern methods for solid bodies surface research: photoelectronic spectroscopy and diffraction]. Ekaterinburg, ISSC of the RAS publ., 2010, 49 p.
- [6] Shovengerdt R.A. Distantionnoye zondirovaniye. Modeli i metody obrabotki izobrazheniy. Ch. 1 [Remote sounding. Models and methods of image processing. P. 1.]. Moscow, Tekhnosfera publ., 2010, 560 p.
- [7] Pyt'yev Yu.P., Chulichkov A.I. Metody morfologicheskogo analiza izobrazheniy [Methods of image morphologic analysis]. Moscow, Fizmatlit publ., 2010, 336 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.