

Чепчуров М.С., д-р техн. наук, проф.,
Четвериков Б.С., аспирант

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

ПОЗИЦИОНИРОВАНИЕ ИЗДЕЛИЯ В ПРОЦЕССЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО БЕСКОНТАКТНОГО КОНТРОЛЯ ФОРМЫ ЕГО ПОВЕРХНОСТИ КАЧЕНИЯ*

avtpost@mail.ru

В статье рассмотрены вопросы, связанные с определением основных характеристик устройства для автоматизированного бесконтактного контроля круглости радиусных поверхностей качения подшипниковых опор буровых долот с применением ПЗС-матриц (сокр. от «прибор с зарядовой связью»). В частности, теоретически, а затем и экспериментально устанавливается минимальное допустимое количество проекций при идентификации геометрии поверхности качения лапы шарошечного долота. При этом конечным результатом экспериментального исследования является не только найденное минимальное количество позиций, в которых происходит фиксирование проекции необходимого элемента геометрии контролируемого объекта, но и необходимая частота его вращения. Таким образом, определив характеристики устройства для автоматизированного бесконтактного контроля и синхронизируя фиксацию ПЗС-матрицей изображения с частотой вращения объекта, возможна реализация на практике как предложенного устройства, так и аналогичных устройств, используемых для контроля профилей отдельных элементов деталей типа - тел вращения.

Ключевые слова: бесконтактный контроль, автоматизация, долото, дорожка качения, ПЗС-матрица.

Введение. В производственном процессе получения различных изделий практически все этапы механической обработки деталей тесно связаны с контрольными операциями. Неоспоримым является тот факт, что около 15–20 % от себестоимости готовой продукции составляют затраты на контроль [1]. Следовательно, появляется одна из основных задач – снижение себестоимости при неизменном уровне качества изготавливаемых изделий. Решение этой задачи авторы видят в разработке новых методов и средств контроля, которые позволили бы снизить если не значительную часть себестоимости, то большую часть финансовых затрат на претензии от потребителей конечного продукта, что в конечном итоге через определенный срок позволило бы окупить стоимость модернизации рабочих мест, на которых происходит контроль. В частности, предлагается модернизировать [2, 3] производственную систему получения бурового инструмента путем интеграции в нее специального устройства для автоматизированного бесконтактного контроля геометрии поверхности качения лапы бурового долота. Такой вариант, по мнению авторов, является наиболее целесообразным, еще и потому, что разработка методов и средств бесконтактного определения формы в настоящее время является одним из самых перспективных направлений в области не только машиностроения, но и приборостроения [4]. Также авторами накоплен определенный опыт в

разработке и реализации подобных устройств и приборов для контроля геометрических характеристик деталей [5]

Основная часть. Дорожка качения лапы представляет из себя поверхность, образованную вращением профиля, имеющего форму дуги, вокруг оси канавки. На рис. 1 показана часть лапы с дорожкой качения.



Рис. 1. Дорожка качения лапы трехшарошечного долота

Для определения геометрии поверхности качения предлагается применить метод бесконтактного контроля, основанный на анализе проекций, полученных в результате покадровой фиксации изображения дорожки

качения лапы бурового долота при помощи ПЗС-матрицы и специально разработанного ПО. Схема метода бесконтактного контроля

круглости дорожки качения изображена на рис. 2.

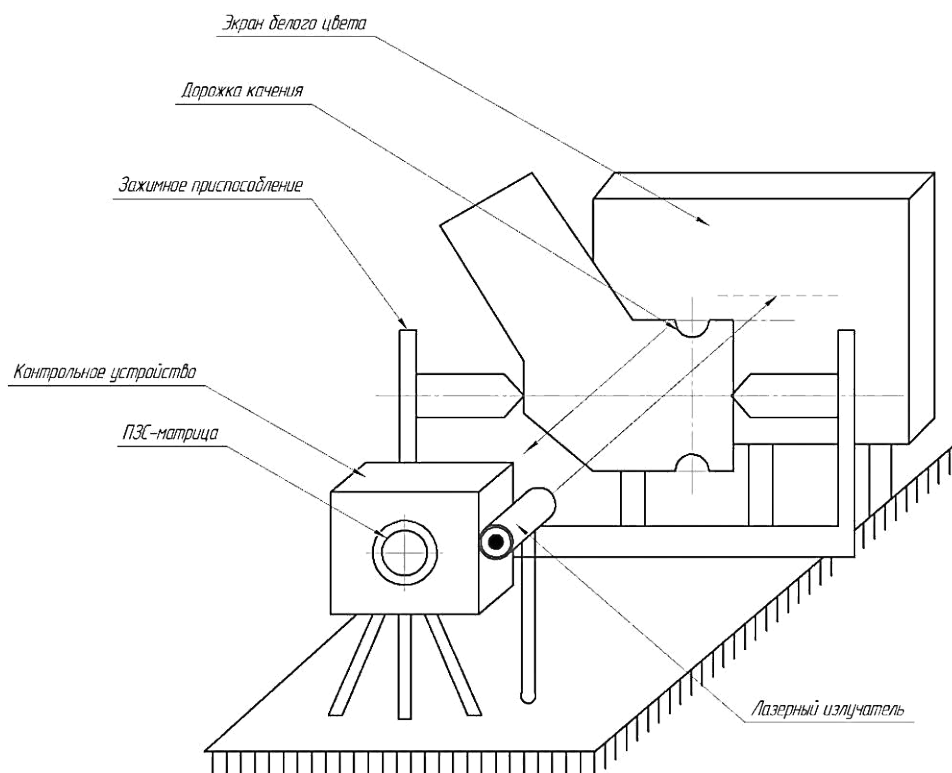


Рис. 2. Метод бесконтактного контроля круглости дорожки качения

Для реализации ПО были разработаны алгоритмы, один из которых подробно описан в [6]. Оба алгоритма реализованы на основе методов бесконтактного контроля, основанных на анализе конвертированного изображения, в одном случае – это пиксельное изображение реальной оси дорожки качения, данный алгоритм необходим для выверки измерительной оси контрольного устройства; в другом – пиксельное изображение профиля дорожки качения, этот алгоритм служит для определения отклонения от круглости.

Подробнее остановимся на алгоритме контроля круглости. В результате его функционирования возможно проконтролировать геометрию дорожек качения в одном сечении лапы. При этом основной является задача определения минимального допустимого количества позиций (сечений) для обеспечения достоверности результатов такого контроля [7].

Так как канавка представляет собой поверхность вращения, образующей которой является дуга, то для полного представления об отклонении от круглости следует фиксировать его в каждом продольном сечении канавки. Эксперимент по определению минимального количества позиций проведем следующим

образом. Для этого закрепим лапу в зажимном приспособлении и произведем поворот детали на 360° , то есть сделаем один оборот вокруг оси вращения лапы. Количество позиций предварительно определим из следующего условия: число позиций выбираем кратное двум для того, чтобы провести оценку в двух противоположных позициях независимо от общего количества измерений, тем самым получая результат отклонения на двух равноудаленных от оси вращения лапы точках. Таким образом, произведем серию измерений с количеством позиций контроля – 2, 4, 8...128. Измерения с таким же количеством позиций повторим вручную известными контрольными приборами для определения геометрических параметров дорожек качения. Результаты эксперимента сведем в табл. 1.

Построим графики измеренного отклонения от круглости предложенным методом и вручную отклонения от круглости и представим их на рис. 3.

Из построенных графиков видно, что наибольшая сходимость значений отклонения от круглости наблюдается на участке между 32 и 64 позициями. Выполнив трассировку значений с помощью пакета *MathCAD*, была найдена точка в которой пересекаются графики, аргументов которой является значение равное 62 позициям.

При этом допуском на измерение отклонения от

круглости считаем $T_{\Delta \text{изм.}} = 0,025$ мм, при котором оценка происходит за 62 позиции.

Таблица 1

Полученные значения отклонения от круглости в зависимости от количества позиций контроля

Количество позиций	2	4	8	16	32	64	128
Измеренное предложенным способом отклонение от круглости, мм	0,031	0,027	0,026	0,026	0,025	0,025	0,025
Измеренное вручную отклонение от круглости, мм	0,025	0,022	0,024	0,025	0,024	0,025	0,026

$$N_{\text{изм.об.}} \geq N_{\text{изм.}}, \tag{1}$$

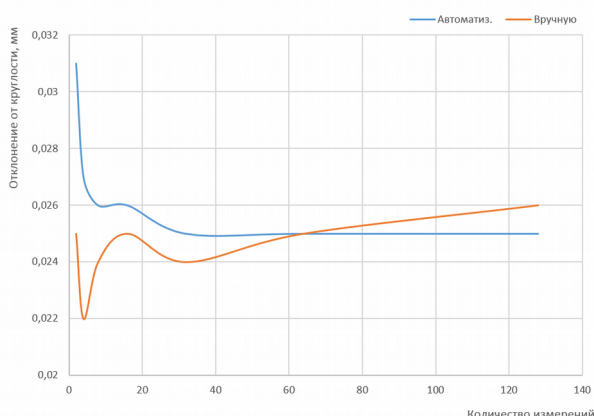


Рис. 3. График количества измерений отклонения от круглости за один оборот детали

Однако для установления более точного минимально допустимого количества измерений, следует провести процедуру аналогичную описанной выше, но уже с количеством позиций 32...64, при этом каждый раз разбивая этот интервал на два одинаковых по разнице. Производим контроль с количеством позиций 32...48 и 48...64, далее в зависимости от того на каком участке пересекутся графики разбиваем необходимый также на два участка – либо 32...40 и 40...48, либо 48...56 и 56...64 и т.д., продолжая определять на каком участке графиков наблюдается наибольшая их сходимость и определяя пересечение. Было экспериментально получено минимально допустимое количество измерений (позиций) $N_{\text{изм.}}=58$ при соответствующем допуске на измерение $T_{\Delta \text{изм.}}=0,025$ мм, а также для заданной размерности пикселя ПЗС-матрицы, расстояния до объекта, данной оптической системы и других условий, влияющих на процесс контроля.

Определив минимальное допустимое количество позиций контроля, необходимо определить значение частоты вращения лапы, при котором его результаты будут достоверными. Эта физическая величина напрямую зависит от количества измерений $N_{\text{изм.}}$, а также от допуска на измерения $T_{\Delta \text{изм.}}$. При этом должно выполняться следующее условие (1):

то есть найденное экспериментально количество позиций $N_{\text{изм.}}$ не должно превышать количества позиций за оборот детали $N_{\text{изм.об.}}$.

Таким образом, в зависимости от полученного допуска $T_{\Delta \text{изм.}}$ определим теоретически какое минимальное количество позиций требуется для обеспечения необходимой точности, а также достоверности контроля. Для этого сформулируем еще одно условие обеспечения достоверности: при съемке видимая часть дорожки катания не должна выходить за допуск на измерение $T_{\Delta \text{изм.}}$. Наглядно изобразим данное условие на рис. 4.

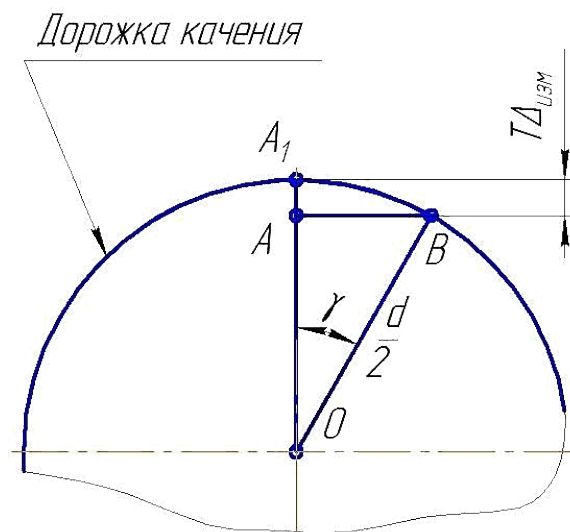


Рис. 4. Условие для обеспечения достоверности результатов контроля круглости дорожки катания:
 $AA_1 = T_{\Delta \text{изм.}}$ – допуск на измерения, мм;
 $OB = d/2$ – радиус канавки по впадине, мм; γ – угол поворота на следующую позицию, °;

O – ортогональная проекция оси вращения лапы на плоскость её поперечного сечения

Исходя из известных тригонометрических функций получим модель (2) для определения позиций контроля за один оборот детали.

$$N_{\text{изм.об.}} = \frac{360}{\arccos \frac{D/2 - T_{\Delta \text{изм.}}}{D/2}} \tag{2}$$

Подставив в выражение (2) известные значения переменных, получаем $N_{\text{изм.об.}}=180$, то есть условие (1) выполняется и достоверность контроля обеспечена.

Далее найдем значение частоты, с которой должен вращаться контролируемый объект в процессе измерений. Для этого необходимо определить время оборота детали $t_{\text{об}}$, которое также является периодом вращения детали. Подобный расчет проведен авторами в работе [8]. Время выполнения измерений в одной позиции обозначим $t_{\text{изм.}}$. При этом появляется еще одно условие (3) для обеспечения достоверности контроля:

$$t_{\text{об}} \geq t_{\text{изм.}} \cdot N_{\text{изм.об.}}, \quad (3)$$

то есть за время одного оборота должно пройти такое количество измерений, чтобы общее время измерений не превысило значение периода вращения.

Для обеспечения достоверности проведем серию измерений для определения среднего значения времени измерений в одной позиции $t_{\text{изм.ср.}}$. Сведем результаты эксперимента в табл. 2.

Таким образом величину $t_{\text{изм.}}$ можно получить из выражения (4):

$$t_{\text{изм.}} = t_{\text{изм.ср.}} = \frac{\sum_{i=1}^n t_{\text{изм.ср.}i}}{n} \quad (4)$$

Отсюда: $t_{\text{изм.}}=1,44$ с. Подставляем это значение и $N_{\text{изм.об.}}$ в выражение (3) и получаем $t_{\text{об}}=259,2$ с.

Частота вращения ν является физической величиной (5), обратной периоду вращения:

$$\nu = 1/t_{\text{об}} \quad (5)$$

Получаем значение частоты вращения, равное $\nu=0,004$ об/с.

Таблица 2

Средние значения времени контроля $t_{\text{изм.ср.}}$ в одной позиции измерений

№ серии	1	2	3	4	5	6	7
$N_{\text{изм.}}$	2	4	8	16	32	64	128
$t_{\text{изм.ср.}}, \text{ с}$	1,45	1,43	1,45	1,44	1,45	1,46	1,45

Выводы. Экспериментально установлено минимальное допустимое количество позиций контроля, а также доказано, что это значение обеспечивает достоверность автоматизированного бесконтактного контроля при найденной частоте вращения контролируемого объекта. Таким образом, синхронизируя частоту фиксации проекций профиля поверхности на ПЗС-матрицу с частотой вращения детали, обеспечивается требуемая точность измерений и становится возможной реализация устройства для автоматизированного бесконтактного контроля формы дорожек качения.

**Работа выполнена в рамках гранта: «Проект ПСР № 2011-ПР- 146», договор № А-7/14 от 10.04.2014 г.*

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Соломенцев Ю.М., Павлов В.В. Моделирование производительных систем в машиностроении: монография. М.: Янус-К, 2010. 228 с.
2. Тетерина И.А., Блудов А.Н., Табекина Н.А. Модернизация оборудования и технологического процесса восстановления колес железнодорожного транспорта // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2014. № 4. С. 96–100.

3. Маслова И.В., Блудов А.Н. Обоснование использования управляемого процесса при восстановлении формы крупногабаритного тела вращения, не имеющей стационарную ось вращения // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2012. № 3. С.76–79.

4. Миронченко В.И. Автоматизация контроля геометрических параметров изделий. М.: ГосНИИ "Расчет", 2011. 208 с.

5. Пат. 121362, МПК G01B11/00. Лазерное устройство для определения погрешности формы крупногабаритных объектов. / Б.С. Четвериков, М.С. Чепчуров, А.Н. Блудов; заявитель и патентообладатель БГТУ им. В.Г. Шухова - №2012126282/28, заявл. 22.06.12, опубл. 20.10.12, бюл. №29. 7 с.

6. Четвериков Б.С., Чепчуров М.С. Автоматизация процесса оценки точности канавки катания при изготовлении лапы бурового долота // Информационные системы и технологии. 2015. № 4. С. 82–89.

7. Чепчуров М.С. Контроль и регистрация параметров механической обработки крупногабаритных деталей: монография. Белгород: Изд-во БГТУ, 2008. 232 с.

8. Четвериков В.С., Чепчуров М.С., Pogonin D.A. [Definition of shape and position of complex geometric surfaces](#) // World Applied Sciences Journal. 2014. Vol. 31. № 4. P. 526-530.

Чепчуров М.С., Четвериков В.С.

POSITIONING OF PARTS IN THE AUTOMATED NONCONTACT CONTROL OF THE FORM OF ITS ROLLING SURFACE

The article discusses issues related with the definition of the basic characteristics of the device for automated noncontact control of roundness curved surfaces of rolling bearings of drill bits using CCDs (abbr. from the "Charge Coupled Device"). In particular, it is theoretically and experimentally and then set the minimum number of projections in the identification of the geometry of the rolling surface paws of the rock bit. Thus the result of the pilot study is not only found the minimum number of positions in which there is an essential element fixing projection geometry of the object under control, and the required frequency of its rotation. Thus, the defining characteristics of the device for automated non-contact control and synchronizing fixation CCD image with a rotation of the object can be implemented in practice, as the proposed device and similar devices used to control the shape of each element type parts - the bodies of rotation.

Keywords: *noncontact control, automation, drilling bit, rolling way, CCD-matrix.*

Чепчуров Михаил Сергеевич, доктор технических наук, профессор кафедры технологии машиностроения.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

E-mail: avtpost@mail.ru

Четвериков Борис Сергеевич, аспирант кафедры технологии машиностроения.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

E-mail: await_rescue@mail.ru