

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

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

## ВЛИЯНИЕ ЯВЛЕНИЯ ДИФРАКЦИИ СВЕТА НА ТОЧНОСТЬ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЦЕССА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРОФИЛЯ ОБЪЕКТОВ\*

mail-tasha@bk.ru

В статье рассмотрены вопросы, связанные с автоматизированным определением геометрических параметров профилей деталей. В настоящее время на этапе контрольных операций все чаще применяют бесконтактные методы измерений, однако при этом стоит учитывать значение погрешностей, которые вызваны различными факторами и могут оказывать существенное влияние на конечный результат измерений: погрешность, вызванная явлением дифракции; погрешность, связанная с особенностями ПЗС матрицы; погрешность размещения матрицы от объекта и другие. Целью данной работы является определение параметров, влияющих на погрешность, вызванную явлением дифракции, а также их взаимосвязей. Дифракция оказывает существенное влияние на точность измерений, при этом происходит искажение изображения детали, которое и следует учитывать при расчете точности измерений. Снизив влияние дифракции при бесконтактных измерениях, можно добиться уменьшения суммарной погрешности, а, следовательно, и повысить точность измерений.

**Ключевые слова:** дифракция, бесконтактные измерения, точность, погрешность измерений, автоматизация.

**Введение.** Средства бесконтактных измерений являются наиболее прогрессивными по сравнению с контактными измерениями. Они имеют достаточно высокую степень автоматизации и при условии их правильной реализации позволяют с необходимой точностью определить геометрические параметры объектов. При этом появляется возможность снизить материальные и временные затраты на контрольные операции при производстве деталей. Однако, следует отметить, что в процессе измерений появляются различные погрешности [1]:

а) систематические погрешности. При измерении всегда будет присутствовать погрешность, обусловленная ограниченным разрешением ПЗС матрицы. Также следует учитывать влияние явления дифракции, которое искажает наблюдаемую картину измерений; б) случайные погрешности, например, погрешности, вызванные при изготовлении изделий, случайном попадании стружки в зону измерения при активном контроле или контроле после измерений; погрешность закрепления детали в люнетную втулку; погрешность самой люнетной втулки при ее изготовлении; погрешность оси цангового патрона; в) грубые погрешности, такие как ошибка оператора, можно исключить, так как процесс бесконтактного контроля автоматизирован.

В зависимости от типа профиля измеряемого объекта, его размеров и конструктивных особенностей существует общая зависимость точ-

ности измерений от различных параметров, таких как длина волны источника излучения, размер зерна (пикселя) ПЗС-матрицы, её физический размер и разрешающая способность (DPI), а также расстояние до измеряемого объекта и т.п.

$$\Delta = f(\lambda, t_3, b_m, h_m, DPI, L...) \quad (1)$$

где  $\Delta$  – точность измерений;  $\lambda$  – длина волны источника излучения;  $t_3$  – размер пикселя ПЗС-матрицы;  $b_m, h_m$  – размеры ПЗС-матрицы;  $DPI$  – разрешающая способность ПЗС-матрицы;  $L$  – расстояние ПЗС-матрицы до объекта.

Причем окончательный вариант зависимости определяется теоретическими расчетами, в которых доказывается либо частичное влияние соответствующего аргумента функции, которым можно пренебречь, либо его отсутствие.

В данной работе авторами рассмотрено влияние явления дифракции света на точность определения геометрических параметров профиля в

Явление дифракции оказывает существенное влияние на точность измерений, не позволяя получить четкое изображение детали, так как свет огибает препятствия.

Существуют разного рода устройства и приборы для бесконтактного контроля, например, известно устройство для оценки отклонения от круглости канавки катания, описанного в [2]. Также известно устройство оперативной бесконтактной диагностики отклонения профи-

ля колеса железнодорожного, принцип работы которого описан в [3].

Оценку отклонения от круглости канавки катания предлагается осуществлять с помощью специального измерительного комплекса, включающего в себя зажимное приспособление. Ось вращения совпадает с осью зажимного приспособления, а на базовой горизонтальной поверхности закреплен измерительный прибор, содержащий вертикальную пластину с установленной в ней камерой. В корпусе камеры находится ПЗС-матрица (сокр. от «прибор с зарядовой связью») необходимой разрешающей способности (10 мегапикселей). Камера измерительного прибора подключена к ПК для передачи захваченного изображения в специально разработанное ПО.

На измерительном приборе и зажимном приспособлении установлены по одному акселерометру, предназначенному для определения вибраций основных элементов, оказывающих влияние и на точность определения отклонения от круглости канавки и на смещение реальной оси канавки и измерительной оси (оси ПЗС-матрицы). С помощью акселерометров происходит соответствующая коррекция результатов измерений. Схема определения отклонения от круглости показана на рис. 1.

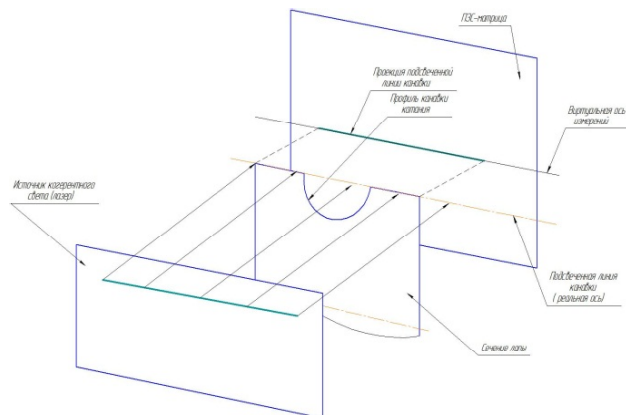


Рис. 1. Схема определения отклонения от круглости канавки лапы бурового долота

**Методология.** В основу работы следующего прибора [4], на примере которого и будем рассматривать влияние явления дифракции на процесс измерений, положен теневой метод. Принцип действия прибора основан на засвечивании ПЗС матрицы 1 с помощью источника коллинеарного излучения 3, в данном случае при помощи лазера 3. При размещении объекта 2 в области коллинеарного пучка лазера 3 формируемое теневое изображение сканируется ПЗС матрицей 1. По положению теневой границы процессор рассчитывает размер объекта и передает в качестве увеличенного изображения на монитор ПК. Принципиальная схема устрой-

ства для бесконтактного измерения малых диаметров показана на рис. 2.

Отклонение волн от объекта измерений вычисляли в соответствии с дифракцией Френеля от диска [5].

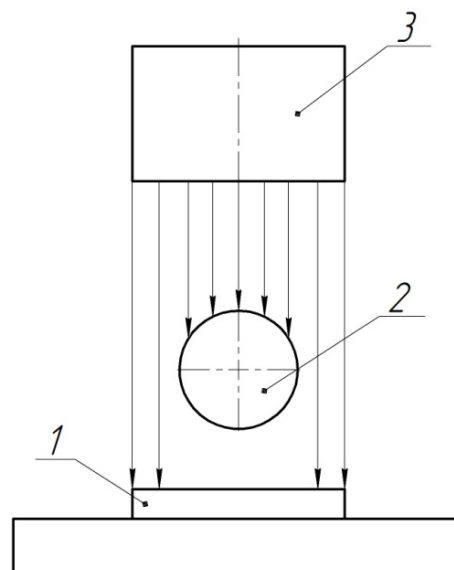


Рис. 2. Принципиальная схема устройства для

**Основная часть.** Для измерений будем использовать излучение лазера красного цвета с длиной волны 710 нм. Луч лазера попадает на границу исследуемого объекта, находящегося на пути излучения, при этом объект измерения является источником распространения вторичных волн, то есть волны огибают препятствие (рис. 3), результат отклонения которых наблюдается на ПЗС матрице в виде дифракционной картины, передаваемой в устройство отображения. Дифракционная картина будет представлена в виде яркого красного пятна 1, окруженного с двух сторон красными дифракционными максимумами 2 и темными дифракционными минимумами 3, которые возникли в результате явления дифракции луча лазера от объекта измерения (рис.

Таким образом, можно отметить, что происходит искажение изображения детали, которое и следует учитывать при расчете точности измерений.

Вычислим отклонения волн от объекта измерений, которые и будут формировать различные максимальный и минимальный диаметр.

Выделим максимальную и минимальную зоны –  $l_{\lambda/2}$   $l$  соответственно. Так как лазерный луч имеет малый угол расхождения, то можно принять, что объект освещается практически коллинеарным пучком волн и для упрощения расчетов применим расчет диаметров объекта в соответствии с дифракцией Френеля от диска [5].

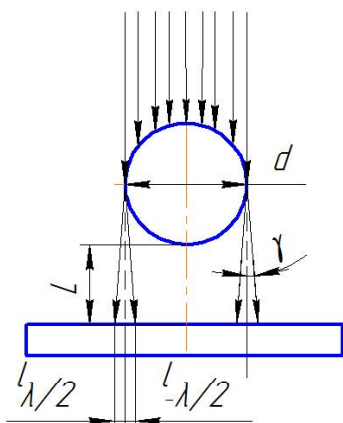


Рис. 3. Явление дифракции при засвечивании объекта в случае бесконтактного измерения малых диаметров

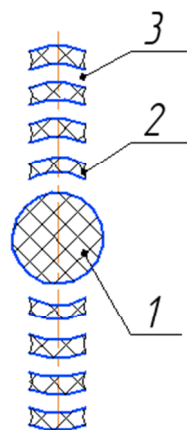


Рис. 4. Дифракционная картина при засвечивании объекта лазером:  
1 – тень от объекта; 2 – дифракционные максимумы; 3 – дифракционные минимумы

Соотношение, связывающее длину волны  $\lambda$  распространяющегося света, диаметр объекта  $d$ , угол дифракции  $\gamma$ , имеют вид:

$$d \cdot \sin \gamma = 1,22 \cdot \lambda$$

Формула (1) представляет собой условие образования первого дифракционного минимума (первого темного кольца). Следует понимать, что в площадь ПЗС матрицы укладывается только главный максимум дифракционной картины [6].

Учитывая, что в рассматриваемом случае измерения углы дифракции малы, то примем:

$$\sin \gamma = \text{tg} \gamma = \frac{l_{\lambda/2}}{L + \frac{d}{2}} \tag{3}$$

Из формулы (3) получаем, что

$$l_{\lambda/2} = \frac{1,22 \cdot \lambda \cdot (L + \frac{d}{2})}{d} = \frac{1,22 \cdot 0,00071 \cdot 10,79}{1,58} = 0,0059 \text{ мм} \tag{4}$$

Исходя из этого погрешность измерений, вызываемая дифракцией, будет составлять  $2l_{\lambda} = 0,0059$  мм.

Из приведенного выше анализа можно сделать вывод, что при увеличении расстояния величина погрешности, вызываемой дифракцией  $2l_{\lambda/2}$  будет также увеличиваться. На рис. 5 показан график зависимости расстояния от объекта до ПЗС матрицы  $L$  от погрешности, вызываемой дифракцией  $2l_{\lambda/2}$

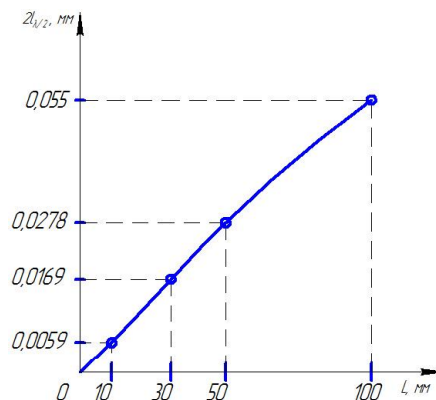


Рис. 5. График зависимости расстояния от объекта до ПЗС матрицы  $L$  от погрешности, вызванной дифракцией  $2l_{\lambda/2}$

Также стоит обратить внимание, что выбор цвета источника излучения обоснован как условиями, при которых производятся измерения, так и влиянием оптических явлений на определение размеров профиля, то есть величиной дифракции. Целесообразным является выбор синего цвета, так как он находится в коротковолновом диапазоне длин волн и значение дифракции в этом случае будет значительно меньше чем в ИК-диа

Таблица 1

**Сравнительная характеристика зависимости погрешности, вызванной дифракцией, и длины волны излучения при расстоянии до объекта**

	ИК	красный	зеленый	синий
$\lambda, 10^{-6}$ мм	1064	700	530	470
$\Delta$	0,0088	0,0058	0,0044	0,0039

Следует отметить, что опытная проверка показала достоверность некоторых измерений [8].

**Выводы.** Выявлено влияние дифракции света на результат бесконтактных измерений;

установлена зависимость расположения ПЗС матрицы в оптических системах бесконтактного измерения профилей от выбранного источника излучения. После процедуры измерения полученную суммарную погрешность можно про-

анализировать, и если дифракция дала существенное отклонение, то уменьшить длину волны, выбрав другой цвет излучения лазера, тем самым уменьшить погрешность, вызываемую дифракцией  $2l_{\lambda/2}$ , и следовательно, уменьшить суммарную погрешность измерений.

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

1. Зайдель А.Н. Погрешности измерений физических величин. Ленинград: Наука, 1985.

2. Четвериков Б.С., Табекина Н.А. Метод оценки отклонения от круглости канавки катания лапы шарошечного долота // Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. 2015. №3. С. 25–

3. Чепчуров М.С., Жуков Е.М., Блудов А.Н. Устройство оперативной бесконтактной диагностики отклонения профиля колеса железнодорожного // Механики XXI века. 2014. №13. С. 139–

4. Патент РФ № 2014149933/28, 10.12.2014. Табекина Н.А., Чепчуров М.С., Архипова Н.А., Тетерина И.А. Устройство для бесконтактного измерения малых диаметров

5. Иванов А.Н., Михайлов В.Н. Цифровая обработка дифракционных картин Фраунгофера при контроле геометрических параметров объектов // Научно-технический вестник Санкт-Петербургского государственного университета информационных технологий, механики и оптики. 2010. №5 (69). С. 14–

6. Чудинова С.А., Трухачева В.А. Изучение явлений дифракции лазерного излучения на простейших дифракционных структурах. Петрозаводск: Издательство Петрозаводского государственного университета. 2010. 16 с.

7. Chetverikov B.S., Chepchurov M.S., Pogonin D.A. Definition of shape and position of complex geometric surfaces // World Applied Sciences Journal. 2014. Vol. 31. № 4. P. 526–

8. Блудов А.Н. Автоматизация процесса восстановления поверхностей катания колёс грузового железнодорожного транспорта: Автореф. дис. канд. техн. наук: Орел, 2015. 16 с.

**Tabekina N.A., Chetverikov B.S., Chepchurov M.S.**

#### **INFLUENCE OF THE PHENOMENON OF DIFFRACTION OF LIGHT ON ACCURACY OF THE AUTOMATED PROCESS OF THE DEFINITION OF GEOMETRIC PARAMETERS OF PROFILE OF OBJECTS**

*The questions connected with the automated definition of geometrical parameters of profiles of details are considered in the article. Now at a stage of control operations even more often apply contactless methods of measurements, however thus it should be taken into account value of errors which are caused by various factors and can have essential impact on the end of result of measurements: the error caused by the diffraction phenomenon; the error associated with the features of the CCD; the error of placement matrix and object, and others. The purpose of this work is definition of the parameters influencing on the error caused by the diffraction phenomenon, and also their interrelations. Diffraction has a significant impact on the accuracy of measurements, thus there is an image distortion of the detail, which should be taken into account in the calculation accuracy of measurements. Having reduced influence of diffraction at contactless measurements, it is possible to achieve reduction of a total error, and, therefore, and to increase the accuracy of measurements.*

**Key words:** *diffraction, contactless measurements, accuracy, error of measurements, automation.*

**Табеккина Наталья Александровна**, аспирант кафедры технологии машиностроения.

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

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

E-mail: mail-tasha@bk.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

**Чепчуров Михаил Сергеевич**, доктор технических наук, доцент, профессор 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