



<https://doi.org/10.21122/1683-6065-2021-1-91-94>  
УДК 669

Поступила 07.02.2021  
Received 07.02.2021

## ОСОБЕННОСТИ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ БЕСКОНТАКТНЫХ СИСТЕМ ИЗМЕРЕНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ РАЗМЕРОВ МЕТАЛЛОПРОДУКЦИИ

*О. В. ДАЙНЕКО, Л. Ф. КАЛИНОВСКАЯ, Н. В. БЕССЕМОНОВ, ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК», г. Жлобин, Гомельская обл., Беларусь, ул. Промышленная, 37.  
E-mail: ov.dayneko@bzmz.iron, тел. +375 2334 5–42–58*

*ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК» для измерения наружных диаметров продукции широко применяет бесконтактные системы измерения геометрических размеров. Системы измерения диаметра используются для получения достоверных, надежных и точных измерений. Методом, обеспечивающим непрерывный и бесконтактный контроль данных систем, является светотеневой способ измерения диаметра.*

*Для обеспечения достоверности результатов измерений системы измерения диаметра должны проходить метрологический контроль – калибровку. Калибровка проводится по разработанной методике, где указываются порядок проведения работ, требования к эталонам, обработка результатов измерений и оценки, оформление результатов калибровки. Для оценки расширенной неопределенности составляется математическая модель, учитывающая все поправки, влияющие на результат оценки, каждая из которых подвергается тщательному анализу.*

*Проведение калибровки систем измерения диаметра позволяет оценить их реальные отклонения в условиях эксплуатации, что дает возможность обеспечить точность и надежность измерения геометрических размеров металлопродукции на всех этапах ее производства.*

**Ключевые слова.** Системы измерения диаметра, расширенная неопределенность, калибровка, математическая модель.

**Для цитирования.** Дайнеко, О. В. Особенности метрологического контроля бесконтактных систем измерения геометрических размеров металлопродукции / О. В. Дайнеко, Л. Ф. Калиновская, Н. В. Бессеменов // *Литье и металлургия*. 2021. № 1. С. 91–94. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2021-1-91-94>.

## PARTICULARITIES OF METROLOGICAL CONTROL OF NON-CONTACT SYSTEMS FOR MEASURING THE GEOMETRIC DIMENSIONS OF METAL PRODUCTS

*O. V. DAINENKO, L. F. KALINOVSKAYA, N. V. BESSEEMONOV, OJSC “BSW–Management Company of the Holding “BMC”, Zhlobin City, Gomel region, Belarus, 37, Promyshlennaya str.  
E-mail: ov.dayneko@bzmz.iron, tel. +375 2334 5–42–58*

*OJSC “BSW–Management Company of the Holding “BMC”, non-contact systems for measuring the outer diameters of products are widely used for measuring geometric dimensions. Diameter measurement systems are used to obtain reliable, true and accurate measurements. The method that provides continuous and non – contact control of these systems is the light -and – dark method of measuring the diameter.*

*To ensure the reliability of the measurement results, the diameter measurement systems must undergo metrological control – calibration. Calibration is carried out according to the developed methodology, which specifies the order of work, requirements for standards, processing of measurement and evaluation results, and registration of calibration results. To assess the extended uncertainty, a mathematical model is created that takes into account all the corrections that affect the result of the assessment, each of which is subjected to a thorough analysis.*

*Calibration of diameter measurement systems allows to evaluate their real deviations in operating conditions, which allows to ensure the accuracy and reliability of measuring the geometric dimensions of metal products at all stages of its production.*

**Keywords.** Diameter measurement systems, extended uncertainty, calibration, mathematical model

**For citation.** Dainenko O. V., Kalinovskaya L. F., Besseemonov N. V. Particularities of metrological control of non-contact systems for measuring the geometric dimensions of metal products. *Foundry production and metallurgy*, 2021, no. 1, pp. 91–94. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2021-1-91-94>.

ОАО «БМЗ–управляющая компания холдинга «БМК» на протяжении многих лет является проверенным и признанным экспортером качественной продукции. Для выпуска конкурентоспособной

продукции необходимыми и обязательными к выполнению являются требования, предъявляемые потребителями.

К качеству поставляемой продукции предъявляются высокие требования, поэтому на каждой стадии производства продукции осуществляется контроль ее параметров. Одним из важных параметров является наружный диаметр такой продукции, как катанка, прутки, бесшовные трубы, металлокорд, проволока для рукавов высокого давления.

Контроль данного параметра проводится с помощью следующих средств измерений: микрометров, штангенциркулей и т.д., однако при непрерывном производственном процессе измерения их использование не всегда представляется возможным. Поэтому на БМЗ для измерения наружных диаметров продукции широко применяются бесконтактные системы измерения геометрических размеров.

Для измерения диаметра, например, катанки и прутка в диапазоне измерений от 2,0 до 90,0 мм используется система измерения диаметра Zumbach Electronic AG (Швейцария), для измерения бесшовных труб диаметром от 80 до 170 мм – система измерения типа LAP GmbH Laser Applicationen (Германия). Данные системы встроены в производственную линию, что позволяет проводить измерения автоматически во время перемещения продукции в процессе производства, в том числе без подключения дополнительных механизмов проводить настройку и калибровку системы на месте ее эксплуатации.

Методом, обеспечивающим непрерывный и бесконтактный контроль данных систем, является светотеневой способ измерения диаметра.

Рассмотрим подробнее реализацию данного метода на примере системы измерения диаметра Zumbach, которая является высокоточным бесконтактным измерителем диаметра лазером с очень высокой частотой сканирования.

Измерительная головка ODAC 100 работает по методу оптического лазерного сканирования. Генерируемый лазерным диодом луч отклоняется вращающимся зеркалом снизу вверх. Через плоское зеркало луч лазера попадает в линзу излучателя, которая поворачивает лучи лазера, ориентированные абсолютно параллельно, в поле измерения с находящимся в нем измеряемым объектом (рис. 1)\*.

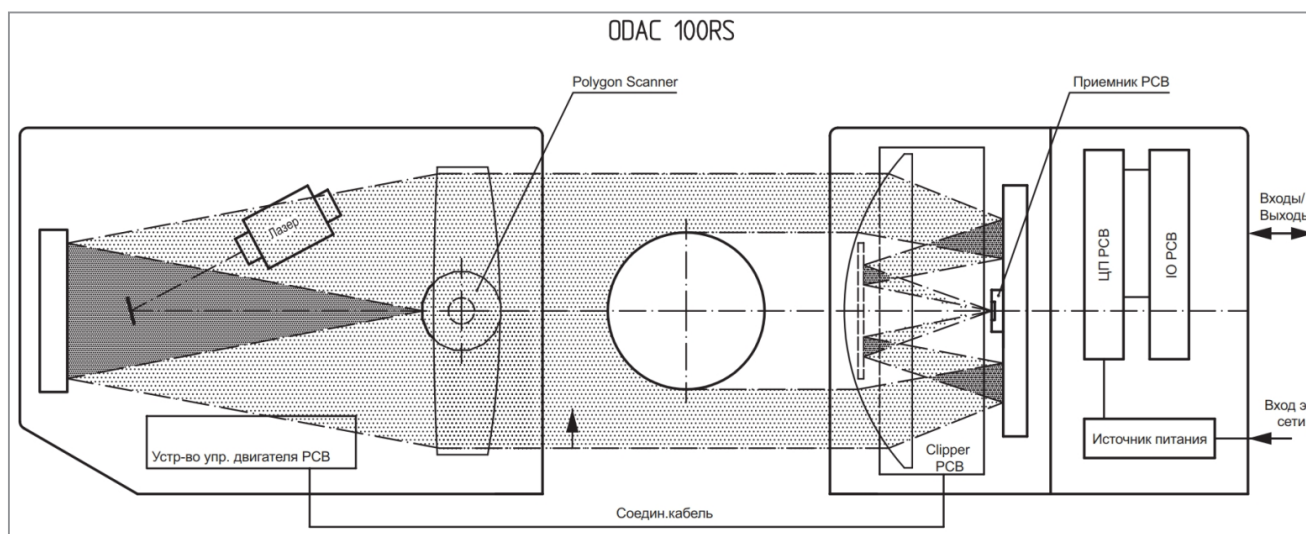


Рис. 1. Принципиальная схема работы измерительной головки ODAC 100

Линза приемника фокусирует пучок лучей, отклоняемых двумя другими плоскими зеркалами на фотодиоде платы приемника. Свет на фотодиод не попадает, если лазерный луч находится вне поля измерения либо если луч попадает на объект измерения. Возникающий светотеневой сигнал принимается фотодиодом и преобразуется в цифровой сигнал (аналоговый видеосигнал), который подается на электронный счетчик. Счетчик регистрирует продолжительность создаваемой измеряемым объектом глубокой тени. Это измеренное время преобразуется в микропроцессоре в физическую величину – размер.

Благодаря высокоточным оптическим компонентам, высокой частоте сканирования и скорости прохождения луча, а также специальному программному обеспечению измерительная система гарантирует

\* Инструкция по эксплуатации ODAC.010.5068.RU.

очень высокую точность данных даже при неблагоприятных условиях измерения и нестабильном поведении объекта измерения\*.

Для обеспечения достоверности результатов измерения системы необходимым является ее ежегодный метрологический контроль, который осуществляется специалистами отдела главного метролога БМЗ, аккредитованного на проведение калибровки систем измерения диаметра в диапазоне от 0 до 170 мм\*\*.

Метрологический контроль (калибровку) системы измерения диаметра Zumbach проводят по методике калибровки МК. ГМ 1865 «Система измерения диаметра продукции прокатного производства Zumbach», разработанной в отделе главного метролога БМЗ\*\*\*.

Характеристики системы измерения диаметра Zumbach представлены ниже.

Тип системы	Диапазон измерения диаметра, мм	Дискретность отсчета, мм	Допускаемая абсолютная погрешность измерения, мм
ODAC 100	2,0–90,0	0,001	±0,030

Методика калибровки устанавливает требования к методам и средствам калибровки системы, определяет организацию, порядок проведения и оформления результатов калибровки\*\*\*\*.

Калибровку проводят непосредственно на месте эксплуатации системы. При проведении калибровки внешние условия должны соответствовать следующим требованиям: температура окружающего воздуха – 10–50 °С; относительная влажность воздуха – 58±20%.

Перед проведением калибровки подготавливают систему к работе согласно инструкции по эксплуатации, выбирают необходимые образцы диаметра (с учетом заявки заказчика). С помощью рычажных микрометров определяют действительные диаметры образцов. Для этого диаметр образца измеряется в трех сечениях по всей длине. После каждого измерения образец поворачивается примерно на 70°, т.е. проводится не менее пяти измерений в каждом сечении. За действительное значение диаметра принимают среднее значение из 15 измерений.

При проведении внешнего осмотра устанавливается соответствие комплектности системы требованиям эксплуатационной документации, отсутствие видимых механических повреждений на всех компонентах системы, препятствующих ее нормальному функционированию, отсутствие видимых повреждений электропроводки, наличие защитного заземления.

При опробовании проводят наблюдение за работой системы при измерении диаметра продукции прокатного производства, при этом проверяют работоспособность аппаратуры управления и измерения и правильность индикации в соответствии с эксплуатационной документацией.

Далее при помощи системы проводят по десять измерений диаметра каждого образца и вычисляют погрешность.

Основной задачей при калибровке системы является определение оценки отклонения показаний системы от действительного значения диаметра эталонного образца.

Для оценки погрешности и расчета расширенной неопределенности составляется математическая модель оценки отклонения показаний системы\*\*\*\*\*:

$$\Delta l_s = \bar{l}_s - l_d + \delta l_{pcs} + \delta l_m + \delta l_{pcm} + \delta l_{оп} ,$$

где  $\Delta l_s$  – отклонение показаний системы в калибруемой точке, мм;

$\bar{l}_s$  – среднее арифметическое значение показаний системы в калибруемой точке, мм;

$l_d$  – действительное значение диаметра образца, мм;

$\delta l_{pcs}$  – поправка из-за конечной разрешающей способности отсчетного устройства системы, мм;

$\delta l_m$  – поправка из-за погрешности микрометра, мм;

$\delta l_{pcm}$  – поправка из-за конечной разрешающей способности микрометра, мм;

$\delta l_{оп}$  – поправка из-за погрешности оператора при снятии отсчета по шкале микрометра, мм.

\* Инструкция по эксплуатации ODAC.010.5068.RU.

\*\* Закон Республики Беларусь № 3848-ХІІ от 5 сентября 1995 «Об обеспечении единства измерений».

\*\*\* Методика калибровки МК. ГМ 1865 «Система измерения диаметра Zumbach».

\*\*\*\* ТКП 8.014–2012 «Система обеспечения единства измерений Республики Беларусь. Калибровка средств измерений. Правила проведения работ».

\*\*\*\*\* ISO/IEC Руководство 98-3 Неопределенность измерений. Часть 3. Руководство по выражению неопределенности измерений при проведении измерений (GUM: 1995).

Следующим этапом является анализ входных величин, составляющих математическую модель, влияющих на результат оценки.

Стандартную неопределенность, связанную с поправкой на разрешающую способность отсчетного устройства системы, рассчитывают по формуле:

$$u(\delta l_{pcs}) = \frac{d_s}{2\sqrt{3}},$$

где  $d_s$  – дискретность отсчета системы.

Стандартную неопределенность, связанную с поправкой из-за погрешности оператора при снятии отсчета по шкале микрометра, рассчитывают по формуле:

$$u(\delta l_M) = \frac{U_M}{k}.$$

Стандартная неопределенность ( $U_M$ ), связанная с поправкой из-за погрешности эталона, указана в свидетельстве о калибровке на эталонный микрометр.

Завершающим этапом калибровки системы является вычисление расширенной неопределенности, которую получают путем умножения стандартной неопределенности на коэффициент охвата  $k$ , соответствующего уровню доверия, приблизительно равному 95%:

$$U = ku_c(\Delta l),$$

где  $u_c(\Delta l)$  – суммарная стандартная неопределенность.

Расширенная неопределенность – величина, задающая интервал вокруг результата измерения, в пределах которого, как ожидается, находится большая часть распределения значений, они с достаточным основанием могут быть приписаны самой величине\*.

Бесконтактные системы измерения геометрических размеров металлопродукции, применяемые на БМЗ, основаны на светотеневом способе измерения. Конструкции систем предоставляют пользователю большие возможности при размещении приборов, а измерительная часть идеально подходит для непрерывного измерения металлопродукции. Проведение калибровки систем измерения диаметра позволяет оценить их реальные отклонения в условиях эксплуатации, что позволяет обеспечить точность и надежность измерения геометрических размеров металлопродукции на всех этапах ее производства.

---

\* ISO/IEC Руководство 98-3 Неопределенность измерений. Часть 3. Руководство по выражению неопределенности измерений при проведении измерений (GUM: 1995).