

# МНОГОКАНАЛЬНАЯ ОПТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ БРИКЕТИРОВАННОГО ШИХТОВОГО МАТЕРИАЛА

## MULTICHANNEL OPTICAL CONTROL SYSTEM FOR GEOMETRIC PARAMETERS OF BRIQUETTED CHARGE MATERIAL

**A. Kulchitskiy  
D. Kashin**

*Summary.* The issue considered in this paper is related to the problem of quality control of briquetted metallurgical materials by volume-weight method. The article discusses and evaluates possible options for implementing contactless size control by a multi-channel system based on optical distance sensors. An analytical assessment of the accuracy is carried out taking into account the characteristics of modern technical means.

The analysis of factors affecting the accuracy of measurements for each of the methods is carried out.

*Keywords:* briquetted charge material, optical distance sensor, optical control, briquetting, volume-weight method.

**Кульчицкий Александр Александрович**

*К.т.н., доцент, Санкт-Петербургский горный университет, г. Санкт-Петербург  
doz-ku@rambler.ru*

**Кашин Дмитрий Алексеевич**

*Аспирант, Санкт-Петербургский горный университет, г. Санкт-Петербург  
dmitrij.kashin.94@bk.ru*

*Аннотация.* Рассматриваемый в данной работе вопрос связан с проблемой контроля качества брикетированных металлургических материалов объемно-весовым методом. В статье рассматриваются и оцениваются возможные варианты реализации бесконтактного контроля размеров многоканальной системой на основе оптических датчиков расстояния. Проведена аналитическая оценка точности с учетом характеристик современных технических средств.

Проведен анализ факторов, влияющих на точность измерений для каждого из методов.

*Ключевые слова:* брикетированный шихтовой материал, оптический датчик расстояния, оптический контроль, брикетирование, объемно-весовой метод.

## Введение

**Д**ля многих отраслей металлургии, включая вторичное производство, на сегодняшний день актуальной задачей является контроль качества шихтового материала. Достаточно часто шихтовой материал подвергается брикетированию. Основным средством контроля на сегодняшний день служит визуальная оценка с выборочным разрушением, либо контроль может осуществляться по косвенным показателям после стадий переработки материала и его сортировки [1].

При этом, в связи с отсутствием методов сплошного неразрушающего контроля существует потребность в новых методах для оперативной оценки состава брикетов и, в некоторых случаях, его целостности — формы.

Концепция сплошного контроля подразумевает наличие конвейера, на ленту которого помещаются брикеты, и средств контроля их параметров.

Для автоматизированной оценки геометрии брикетов предпочтительно использование оптических методов контроля ввиду достаточно высокой точности и возможности бесконтактного измерения.

Существуют различные варианты реализации оптических измерительных комплексов: системы технического зрения, лазерные сканеры, оптические датчики расстояния [2]. В настоящем исследовании предлагается к рассмотрению многоканальная активная система на базе оптических датчиков расстояния.

Для установления наиболее эффективного способа контроля необходимо произвести аналитическую оценку точности представленных методов с учетом особенностей возможной структуры и состава брикетированного шихтового материала. Необходимо учитывать реальный размер брикета, который составляет не менее 600×400×400 мм [3]. Точность контроля измерений объема должна составлять не менее 1%.

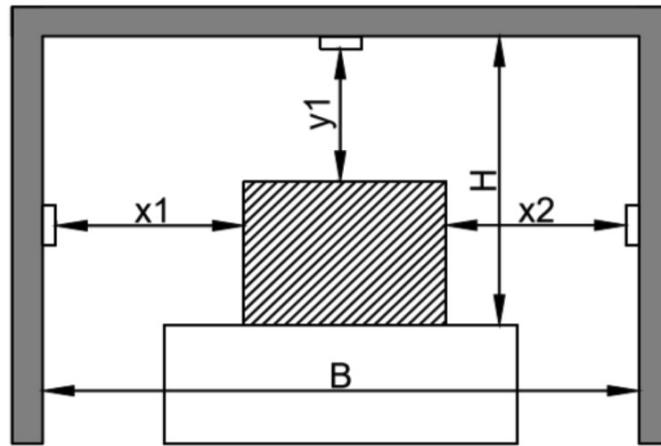


Рис. 1. Структурная схема измерительного комплекса из оптических датчиков расстояния

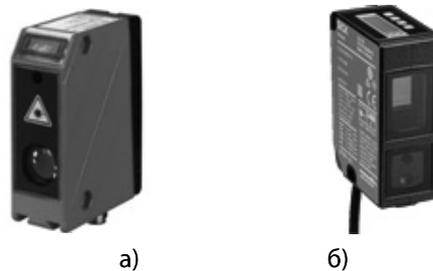


Рис. 2. Оптические датчики расстояния: а — Leuze ODSL 96B, б — Sick OD1000

### Содержание исследования

Оценим возможную точность контроля металлургических брикетов при использовании системы их трех и более оптических датчиков расстояния. Система состоит из измерительной рамы, установленной поперек конвейерной ленты и размещенных на ней оптических датчиков расстояния (рис. 1). Боковые датчики служат для отслеживания ширины объекта, верхний датчик необходим для получения данных о его высоте. Для упрощения восприятия на рис. 1 показано по одному датчику на сторону. Значение объема брикета рассчитывается как результат суммированных элементарных объемов за каждый временной такт его прохождения сквозь рамку.

Точность контроля для подобной системы будет определяться следующими факторами:

- ◆ погрешность датчиков расстояния;
- ◆ количество датчиков расстояния, установленных на боковой и верхней части рамы;
- ◆ погрешность датчика скорости конвейерной ленты;
- ◆ погрешности измерительных каналов датчиков расстояния и скорости.

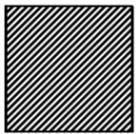
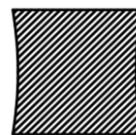
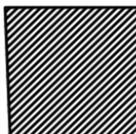
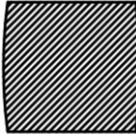
Помимо влияния точности датчиков следует учитывать такой фактор как неправильная форма брикета. Стороны брикета могут быть несимметричны при неравномерном усилии прессования. При транспортировке, процессе разгрузки форма брикета может быть так же нарушена, к примеру, при осыпании его краев.

На точность системы могут оказывать дополнительное влияние отражающие свойства материала, что обусловлено особенностями работы оптических датчиков расстояния. Для их минимизации следует использовать лазерные или триангуляционные датчики.

На сегодняшний день в промышленности существуют оптические датчики расстояния с точностью вплоть до долей мм [4–6]. В рассматриваемой системе расстояние от рамки, на которой предлагается размещать датчики, до поверхности брикета не превышает 600 мм. На рисунке 2 представлены подходящие по характеристикам датчики компаний Leuze и Sick. Точность измерений в диапазоне до 1000 мм составляет не менее 1 мм [8–9].

Для оценки относительной погрешности измерений для данной системы, а именно погрешности расчета объема  $V$  необходимо определить погрешность изме-

Таблица 1. Нарушения формы брикетов

| Форма брикета  | Площадь сечения эталонная $S_{сеч\ эт.}$ мм <sup>2</sup> | Площадь сечения измеренная $S_{сеч\ изм.}$ мм <sup>2</sup> |                    | Относительная погрешность измерения $\delta, \%$ |            |
|--|--|--|--------------------|--|------------|
|  |  | 3 датчика  | 6 датчиков         | 3 датчика  | 6 датчиков |
| <br>Правильная                    | $1,6 \cdot 10^5$   | $1,6 \cdot 10^5$   | $1,6 \cdot 10^5$   | 0,66   | 0,66       |
| <br>Вогнутая<br>(R=1200 мм)       | $1,51363 \cdot 10^5$                                     | $1,47 \cdot 10^5$  | $1,5 \cdot 10^5$   | 3,54   | 1,56       |
| <br>Параллелограмм               | $1,6 \cdot 10^5$   | $1,6 \cdot 10^5$   | $1,6 \cdot 10^5$   | 0,66   | 0,66       |
| <br>Выгнутая<br>(R=1200 мм)     | $1,6719 \cdot 10^5$                                      | $1,7 \cdot 10^5$   | $1,679 \cdot 10^5$ | 2,45   | 1,08       |
| <br>Осыпание краев<br>(R=52 мм) | $1,58 \cdot 10^5$  | $1,6 \cdot 10^5$   | $1,6 \cdot 10^5$   | 1,92   | 1,92       |

рения площади поперечного сечения брикета  $S_{сеч}$  и погрешность определения базового значения расстояния, на которое перемещается брикет относительно измерительной рамки за такт счета.

Площадь поперечного сечения брикета определяется по формуле 1 как произведение ширины на высоту. Ширина при этом определяется как разность между значением расстояния В между датчиками и суммой расстояний  $x_1$  и  $x_2$  от датчиков до поверхности брикета. Высота определяется разностью между расстояниями Н и  $y_1$ .

$$S_{сеч} = (B - (x_1 + x_2)) \cdot (H - y_1), \quad (1)$$

Расчет погрешности измерения площади поперечного сечения  $S_{сеч}$  производится в соответствии с формулами для оценки относительной погрешности косвенных измерений (2).

$$\Delta S_{сеч} = \frac{\Delta x_1 + \Delta x_2}{x_1 + x_2} + \frac{\Delta y_1}{y}, \quad (2)$$

где:  $\Delta x_1, \Delta x_2, \Delta y_1$  — относительные погрешности измерений датчиков.

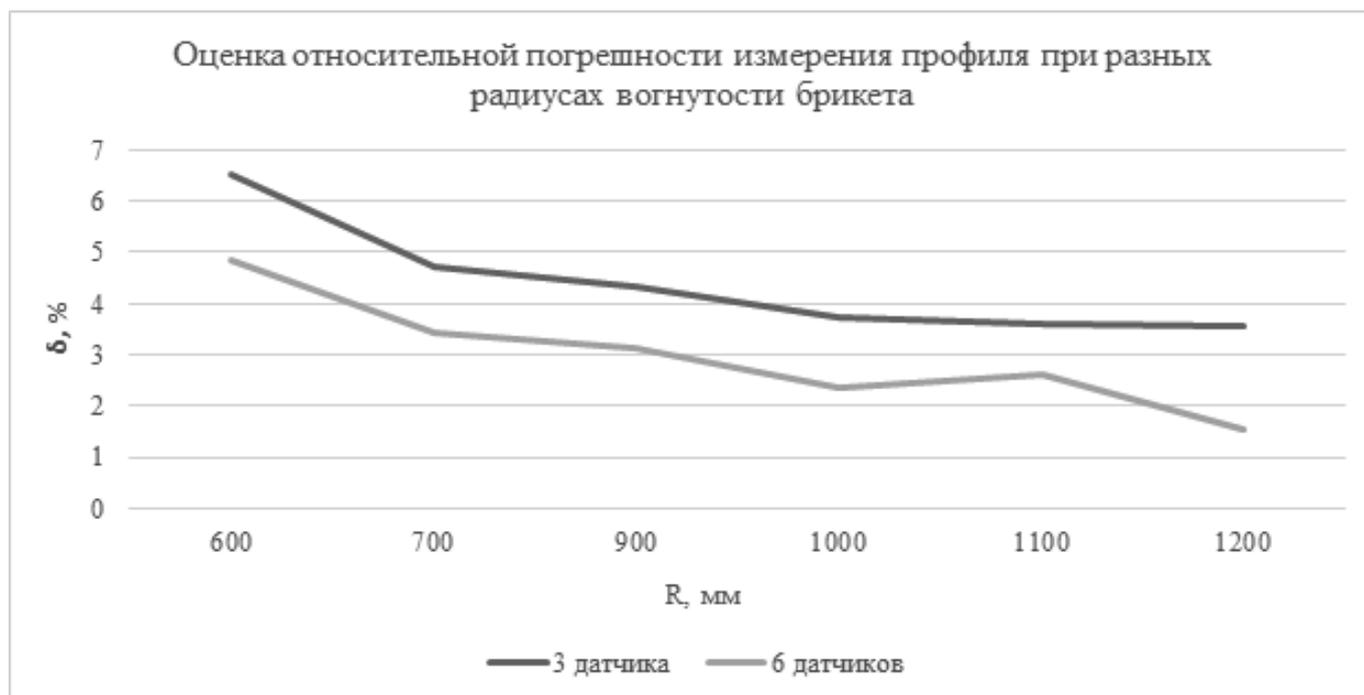


Рис. 3. Относительное изменение измеренной площади при вогнутости брикета.

В соответствии с формулой 2 относительная погрешность определения площади  $S_{сеч}$  составила 0,66% при заданной точности определения расстояния в 0,1%.

Для расчета объема при вычислении значения базового расстояния  $n$ , проходимого брикетом за такт счета  $i$ , используются показания датчика скорости  $V_c$ . Таким образом, значение  $n$  прямо пропорционально скорости перемещения брикета

Для современных конвейерных линий наиболее широко применяются индуктивные датчики, точность которых может составлять до 0,5%.

Возможен вариант введения системы из двух барьерных датчиков и определения скорости перемещения по временному интервалу между регистрацией датчиками брикета. С учетом времени опроса подобных датчиков не более 10 мс данная система может увеличить точность определения расстояния  $n$ .

В соответствии с формулой расчета площади сечения  $S_{сеч}$  (2) можно оценить относительную погрешность определения объема брикета  $V$ .

$$\Delta n = \frac{\Delta V_c}{V}, \quad (3)$$

$$\Delta V = \frac{\Delta S_{сеч}}{S_{сеч}} + \frac{\Delta n}{n}, \quad (4)$$

Для оценки влияния формы брикета на результат измерения поперечного сечения необходимо определить возможные виды нарушений формы брикета и определить относительную погрешность измерения.

В таблице приведены рассчитанные значения относительных погрешностей измерений площадей сечений для различных форм брикета. Расстояния  $B$  и  $H$  (в соответствии с рис. 1) принято равным 1000 мм соответственно, сечения брикета (при правильной форме) — 400×400 мм. При расчете относительных погрешностей присутствует постоянная составляющая, обусловленная точностью датчиков в 1мм. При расчетах с измененными формами погрешность определяется как сумма относительной погрешности площади и погрешность измерения датчиками.

Для повышения точности контроля возможно использование большего количества датчиков. Представлены расчеты относительной погрешности для системы из трех и шести датчиков (по 2 датчика с каждой стороны измерительной рамки). Площадь сечения для системы с 6 датчиками будет определяться по формуле (5) с усредненным по двум значениям показателям высоты и ширины брикета:

$$S_{сеч} = \frac{((B-(x1+x2))+(B-(x3+x4)))}{2} \cdot \frac{((H-y1)+(H-y2))}{2} \quad (5)$$

где:  $x_3$  и  $x_4$  — показатели для дополнительной пары датчиков в горизонтальной плоскости,  $y_2$  — в вертикальной плоскости.

По результатам расчетов, очевидно, что при неправильной форме брикетов рассматриваемая система с тремя датчиками не в состоянии обеспечить приемлемую точность оценки геометрии (не менее 1%).

Наиболее часто встречающимися на производстве дефектами являются выгнутые и вогнутые формы брикетов. На рисунке 3 представлены графики зависимости изменения относительной погрешности измерения площади объекта при различных радиусах вогнутости и выгнутости брикета для двух приведенных многоканальных точечных систем.

Система с шестью датчиками в значительной мере (более чем в два раза) позволяет учесть изменение объема при выпуклой и вогнутой форме объекта за счет усреднения результатов измерений для каждой стороны.

Однако в случае осыпания краев у брикета становится невозможной корректная оценка площади поперечного сечения для любой из рассмотренных систем.

### Заключение

Установлено, что использование системы с тремя оптическими датчиками позволяет контролировать брикетированных материалов правильной формы с заданной погрешностью. Однако, при существенном отклонении формы брикета от правильной, точность контроля превышает требуемый показатель в 1%. Увеличение количества датчиков до 6 позволяет, в значительной степени, решить проблему обеспечения заданной точности.

Для контроля осыпания краев брикета использование многоканальной системы с точечным контролем проблематично. Решение данной проблемы возможно при применении систем технического зрения, так как подобные системы позволяют определять сплошные контуры объектов.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Capuzzi, S.; Timelli, G. Preparation and Melting of Scrap in Aluminum Recycling: A Review. *Metals* 2018, 8, 249.
2. Гужов В. И. Методы измерения 3D-профиля объектов. Контактные, триангуляционные системы и методы структурированного освещения: учеб. пособие /. — Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2015. — 82 с.
3. ГОСТ 1639–2009 «Лом и отходы цветных металлов и сплавов. Общие технические условия».
4. Molleda, J.; Usamentiaga, R.; Garcia, D. On-Line Flatness Measurement in the Steelmaking Industry. *Sensors* 2013, 13, 10245–10272.
5. United States Patent US5606534A. Laser-based dimensioning system/ Bradley J. StringerMichael K. Elwood. Publication date 25.021997
6. Garry Berkovic and Ehud Shafir, "Optical methods for distance and displacement measurements," *Adv. Opt. Photon.* 4, 441–471, 2012.
7. Malheiros, Paulo, José Gonçalves, and Paulo Costa. "Towards a More Accurate Infrared Distance Sensor Model." *Diss. U of Porto*, 2009.
8. Официальный сайт компании Сенсорика. [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://www.sensorica.ru/> (Дата обращения 28.04.2020 г.)
9. Сайт компании Sick [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://www.sick.com/ru> (Дата обращения 28.04.2020 г.)
10. Сарвин А.А., Кульчицкий А. А., Наумова А. К. Оптические методы бесконтактных измерений линейных перемещений. СПб.: Изд-во СЗТУ, 2011. 195 с.
11. А.Н. Андреев, Е. В. Гаврилов, Г. Г. Ишанин, И др. Оптические измерения: учеб. пособие. — М.: Логос, 2012. — 416 с.

© Кульчицкий Александр Александрович (doz-ku@rambler.ru), Кашин Дмитрий Алексеевич (dmitrij.kashin.94@bk.ru).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»