

А. Л. ОСТРОВСКИЙ, д-р техн. наук, Т. Г. ШЕВЧЕНКО,
канд. техн. наук, В. Г. ГРЕБЕНЮК
Львовский политехнический институт

КОНТРОЛЬ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ОСИ КОРПУСА ВРАЩАЮЩЕЙСЯ ПЕЧИ С ПОМОЩЬЮ ЛАЗЕРНОГО ЛУЧА

Лазеры находят все более широкое применение в технологии производства строительных работ, при монтаже и ремонте крупногабаритного оборудования большой протяженности. При этом установка оборудования в заданное положение должна отличаться высокой степенью точности. К крупногабаритному оборудованию относят, например, обжиговые вращающиеся печи цементной промышленности, цветной и черной металлургии, целлюлозно-бумажной и химической промышленности. Диаметр корпуса современных вращающихся печей достигает 7 м, а длина превышает 200 м. Из условий прочности корпусов отклонения центров их опорных сечений от прямолинейности не должны превышать 3—5 мм для различных типоразмеров печей.

В известной нам литературе отсутствуют указания на использование лазеров в практике монтажа, ремонта или эксплуатации вращающихся печей, если не считать попытки выверки участка корпуса печи неколлимированным лучем ОКГ-11 [4] без применения приемных устройств.

Наиболее совершенный из существующих методов и средств контроля прямолинейности оси корпуса вращающейся печи [1] предусматривает применение стандартных геодезических приборов. Общепринятые методы заключаются в проверке взаимного расположения центров поперечных сечений корпуса относительно прямой, соединяющей центры двух сечений, которая фиксируется визирной линией геодезического прибора.

Применение для этой цели лазеров имеет определенные преимущества. Во-первых, обеспечивается непрерывность контроля во время выверочных работ, поскольку луч, генерируемый лазером, в отличие от визирной оси геодезических приборов, реально видим. В связи с этим увеличивается производительность ремонтных работ и одновременно повышается точность измерений. Во-вторых, появляется возможность автоматизации процесса контроля путем применения при измерениях различных фотоприемных устройств.

Контроль прямолинейности оси корпуса вращающейся печи с применением лазерного визира ЛВ-5 был проведен во время ремонта печи спекания глиноземного завода. Ориентация оси луча лазера в центре сечения осуществлялась с помощью устройств, описанных в работе [1]. На рис. 1 представлен рабочий момент выверки: ЛВ-5 установлен на стойке в центре одного из базовых сечений. Центр второго базового сечения фикси-

уется с помощью марки, выполненной в виде квадрата 100×100 мм с нанесенными на нем концентрическими окружностями, центр которого совпадает с центром сечения. Марка может вертикально и горизонтально перемещаться с точностью до $0,1$ мм. Контроль совмещения оси лазерного луча с центром марки осуществляется визуально. Отклонения оси корпуса печи в контролируемых сечениях от прямолинейности соответствуют перемещениям марки с центра сечения до совмещения ее с осью

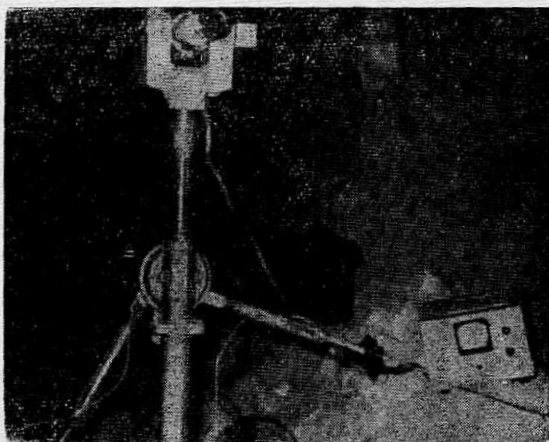


Рис. 1. Установка лазерного визира ЛВ-5 в корпусе вращающейся печи.

лазерного луча. Точность фиксации оси луча лазера и отсчета при расфокусированном пучке можно определить согласно работе [2]:

$$m_1 = \pm 0,5 \cdot 10^{-5} s + 1 \text{ мм}; \quad (1) \quad m_1' = \sqrt{(0,2 \cdot 10^{-5} s)^2 + 1} \text{ мм}. \quad (2)$$

Выражение (1) применимо при определении центра пятна по максимуму освещенности; а (2) — по минимуму, где s — расстояние от лазера до марки.

С помощью ЛВ-5 была произведена стыковка вводимого блока обечаек между третьей и четвертой опорами. Эксплуатация печи показала, что ремонтные работы были проведены качественно и с необходимой точностью.

Достаточно перспективным представляется применение разработанного нами и отличного от существующих бесконтактного устройства для определения центра сечения, схема которого представлена на рис. 2.

В корпусе печи 1 на стойках 2—4 устанавливаются соответственно лазерный визир 5, базовую марку 6 и систему отыскания центра сечения 7. Ось пучка лазерного визира 5 и центр базовой марки 6 совмещают с центрами соответственно начального и конечного базовых сечений. Система отыскания центра сечения

состоит из пентапризмы 8, зрительной трубы 9, микрометрического винта 10 и системы рычагов 11. Пентапризма 8 установлена таким образом, что ось вращения системы 7 совпадает с осью входящего лазерного пучка. Зрительная труба 9 может поворачиваться в осевой плоскости корпуса печи, а центр вращения ее лежит на оси лазерного пучка, соединяющего центры базовых сечений.

Лазерный луч, генерируемый в визире, попадает на пентапризму 8 и преломляется ею на корпус. Угол α между визирной осью зрительной трубы и направлением преломленного луча

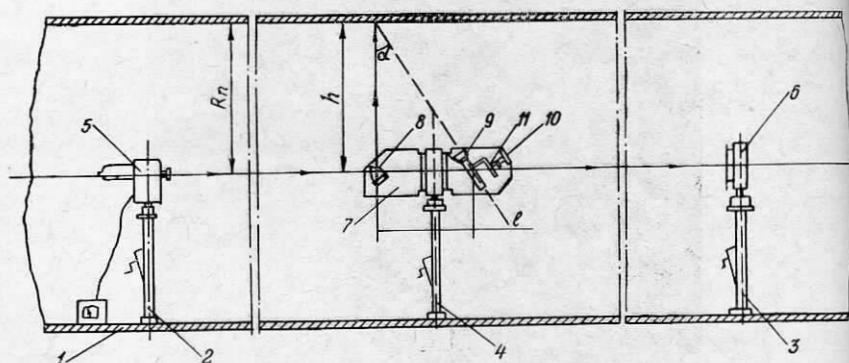


Рис. 2. Схема бесконтактного устройства для определения центра поперечного сечения корпуса печи.

устанавливается в зависимости от номинального диаметра корпуса печи. Нуль отсчета шкалы микрометрического винта соответствует совмещению визирной оси зрительной трубы с центром лазерного пятна на корпусе номинального диаметра. Поскольку корпус вращающейся печи является котельным изделием, форма его поперечных сечений отличается от круговой номинального радиуса. В случае неравенства расстояния h от оси пучка лазера до корпуса номинальному радиусу R_n появляется необходимость перемещения зрительной трубы 9 для совмещения визирной оси с центром лазерного пятна на корпусе, что и осуществляется вращением микрометрического винта 10.

Шкала винта 10 проградуирована в значениях величин отклонений поперечного сечения от номинального радиуса.

Поворачивая систему отыскания центра сечения на определенные равные углы (с целью повышения точности эти углы не должны превышать 30°), определяют удаление n точек сечения от оси лазерного пучка. Положение центра сечения определяют в полярной или прямоугольной системе координат, согласно известным математическим зависимостям для отыскания геометрического центра тяжести кривой.

Погрешность отыскания центра сечения составит

$$m_2 = \sqrt{(m_1^n)^2 + (m_n)^2}, \quad (3)$$

где m_1^* — погрешность совмещения предлагаемого устройства с центром луча лазера, определяемая из преобразованных для малых расстояний зависимостей (1) и (2):

$$m_1^* = 0,6 \cdot 10^{-5} \text{ мм}; \quad m_h = \sqrt{\frac{1}{\text{tg}^2 \alpha} \cdot m_i^2 + \frac{l^2}{\sin^4 \alpha} \cdot m_\alpha^2} \text{ мм}, \quad (4)$$

где m_h — погрешность собственно определения отклонений формы сечения от круговой; l — база системы для отыскания центра сечения, равная 300 мм. Расчеты показывают, что погрешность отыскания центра сечения с помощью предлагаемого устройства составляет 1,25 мм.

При монтаже или ремонте корпуса вращающейся печи обычно вызывает затруднение решение вопроса о рациональных перемещениях блоков и отдельных обечаек по данным уже проведенной выверки. Эти перемещения легко осуществить, зная вероятное положение оси корпуса.

Свяжем ось Ox прямоугольной пространственной системы координат xyz с осью пучка лазерного луча, соединяющей центры двух поперечных базовых сечений корпуса печи. Определяемое выверкой положение оси корпуса печи зависит от поправок к координатам ее начальной и конечной точек.

Представим уравнение оси корпуса в виде

$$\text{tg } \beta = \frac{y - y_K}{x - x_K}, \quad (5)$$

и определим значение угловой поправки $d\beta$ с учетом того, что

$$y - y_K = x_{i+1} \sin \beta; \quad x - x_K = x_{i+1} \cos \beta;$$

$$d\beta = \frac{\cos \beta}{x_{i+1}} dy - \frac{\sin \beta}{x_{i+1}} dx - \frac{\cos \beta}{x_{i+1}} dy_K + \frac{\sin \beta}{x_{i+1}} dx_{K'} + \beta'. \quad (6)$$

Обозначим

$$-\frac{\sin \beta}{x_{i+1}} = \tau_1; \quad -\frac{\cos \beta}{x_{i+1}} = \tau_2; \quad dx = \eta_x; \quad dx_K = \eta_{x_K};$$

$$dy = \eta_y; \quad dy_K = \eta_{y_K}; \quad \beta' = \mu.$$

Уравнение погрешностей через поправки к углам $V = \beta' + d\beta$ после подстановки в него формул (6) с учетом введенных обозначений примет вид:

$$V = \tau_1 \eta_{x_K} + \tau_2 \eta_y + \tau_1 \eta_x + \tau_2 \eta_{y_K} + \mu. \quad (7)$$

Окончательные координаты начальной и конечной точек оси можно отыскать после того как будут определены поправки к первоначальным приближенным координатам, то есть уравнение погрешностей необходимо решить под условием $[VV] = \min$.

Как известно, такое решение приведет к нормальным уравнениям, которые для K -й точки оси корпуса будут иметь вид:

$$\left[V \frac{\partial V}{\partial \eta_{x_K}} \right] = [V_K \tau_{1K}] = 0, \quad \left[V \frac{\partial V}{\partial \eta_{y_K}} \right] = [V_K \tau_{2K}] = 0. \quad (8)$$

Сосредоточив массу корпуса на его оси, систему уравнений (8) можно истолковать как условие равновесия по принципу возможных перемещений и рассматривать как уравнения элементарных работ сил τ_{1K} и τ_{2K} на этих перемещениях V_K . Наиболее устойчивым считаем такое положение искривленной оси корпуса, при котором потенциальная энергия ее относительно прямой линии имела бы наименьшее значение.

Однако система уравнений (8) представляет собой уравнения способа наименьших квадратов, то есть условия выбора вероятного положения оси корпуса будут соблюдены.

В конкретном случае для отыскания вероятного положения оси корпуса печи в проекциях на плоскость, расположенную под углом наклона печи к горизонту и на вертикальную плоскость, представим уравнение оси корпуса в виде $y_K = a_x x_K - b_y$ — для первой проекции и $z_K = \gamma x_K + c_x$ — для второй, где γ — угол наклона печи.

Применяя способ наименьших квадратов, найдем параметры a_x , b_y и c_x . Опуская решение, приводим конечные выражения:

$$a_x = \frac{\sum_{K=1}^{i+1} x_K y_K - x^* \sum_{K=1}^{i+1} y_K}{\sum_{K=1}^{i+1} x_K^2 - x^* \sum_{K=1}^{i+1} x_K}; \quad (9)$$

$$b_y = y^* - x^* \frac{\sum_{K=1}^{i+1} x_K y_K - x^* \sum_{K=1}^{i+1} y_K}{\sum_{K=1}^{i+1} x_K^2 - x^* \sum_{K=1}^{i+1} x_K}; \quad (10) \quad c_x = z^* \gamma x^*, \quad (11)$$

где 1, 2, 3, ..., K , ..., i , $i+1$ — точки на оси;

$$y^* = \frac{\sum_{K=1}^{i+1} y_K}{K}; \quad x^* = \frac{\sum_{K=1}^{i+1} x_K}{K}; \quad z = \frac{\sum_{K=1}^{i+1} z_K}{K}.$$

Простота полученных выражений делает их приемлемыми для практического применения, как и сходных с ними зависимостей, полученных для контроля планового положения полублоков в [3].

Список литературы: 1. Инструменты для проверки прямолинейности корпуса вращающейся печи/Микольский Ю. Н., Кравченко В. М., Зеленый И. Т. и др. — Цемент, 1975, № 2. 2. Лазерные геодезические приборы в строительстве./Грузинов В. В., Иванищев В. И., Коугия В. А. и др. М., Недра, 1977. 3. Методы и приборы высокоточных геодезических измерений в строительстве/Большаков В. Д., Васютинский И. Ю., Ключин Е. Б. и др. М., Недра, 1976. 4. Платонов В. С., Буренков И. Д., Дмитриев В. В. Скоростные методы ремонта цементных вращающихся печей. М., Стройиздат, 1970.

Работа поступила в редколлегию 23 декабря 1977 года. Рекомендована кафедрой геодезии Львовского политехнического института.