

МЕТОДИКА ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ПРЯМОЛИНЕЙНОСТИ ОСИ ВРАЩЕНИЯ ПЕЧИ ВО ВРЕМЯ РАБОТЫ АГРЕГАТА

Существует достаточное количество методов геодезического контроля установок вращающихся печей во время монтажа или ремонта. В настоящей статье описана разработанная методика определения отклонений от прямолинейности оси вращения во время работы печи.

Контролю прямолинейности оси вращения в ряде случаев предшествует закрепление на фундаментах опор прямой общего положения, приблизительно параллельной оси вращения, которая используется также для контроля положения опорных роликов [2]. Ее закрепляют во время монтажа печи или остановки на ремонт. За пределами одного из крайних фундаментов устанавливают оптический прибор для контроля прямолинейности или лазерный излучатель. В качестве первого используют высокоточный нивелир [4], зрительную трубу которого ориентируют на опорную марку, расположенную за пределами другого крайнего фундамента. В случае задания прямой лазерным прибором обязательно следует использовать фотоприемные устройства. Точность фиксации оси лазерного излучения должна быть не ниже $\pm 0,5$ мм [1]. При фиксации и закреплении прямой ее ориентируют по рискам на фундаментных рамах или относительно опорных роликов так, чтобы положение ее по возможности меньше отличалось от плановой проекции оси вращения печи.

Плоскости поперечных сечений, в которых определяют значения непрямолинейности оси вращения, обозначают поверхностями пары штифов 1 (рис. 1), покрытых восковой, устанавливаемых на стойках 2, основания 3 которых забетонированы на фундаментах. Стойки 2 имеют или регулирующую, или густотинную высоту. Штифы представляют собой параллелограммы с основанием 0,7...1,0 м и высотой 0,3...0,5 м. Верхние части стоек выполнены в виде посадочных гнезд для установки штифов. В эти гнезда можно установить оптический прибор. Высота центральных перекрестий штифов ($A_1, \dots, A_n, \dots, A_n$; $B_1, \dots, B_n, \dots, B_n$) равна высоте визирной оси зрительной трубы оптического прибора при установке его на стойку. Высота стоек, устанавливаемых в одном сечении, может различаться на 0,5...0,8 м, однако стойки, расположенные с одной стороны печи, имеют одинаковую высоту. Разница высот стоек, устанавливаемых в каждом из сечений, одинакова. Сначала устанавливают стойки на двух крайних фундаментах. На каждой из стоек одного из крайних фундаментов располагают оптический прибор (лучше всего точный теодолит), а на стойках другого, крайнего фундамента — штифы. Расстояние между осями вращения теодолитов и горизонтальная проекция расстояния между перекрестиями штифов одинаковы. Ориентируют зрительные трубы те-

одолитов на перекрестия штифов. Перекрестия каждого из штифов, устанавливаемых на стойках в других контролируемых сечениях, расположенных между крайними, совмещают с визирными осями зрительных труб. Таким образом перекрестия штифов закрепляют две параллельные между собой линии (A_1, A_n, B_1, B_n). Необходимо отметить, что закрепленные прямые должны быть приблизительно параллельными оси вращения печи. Превышение меж-

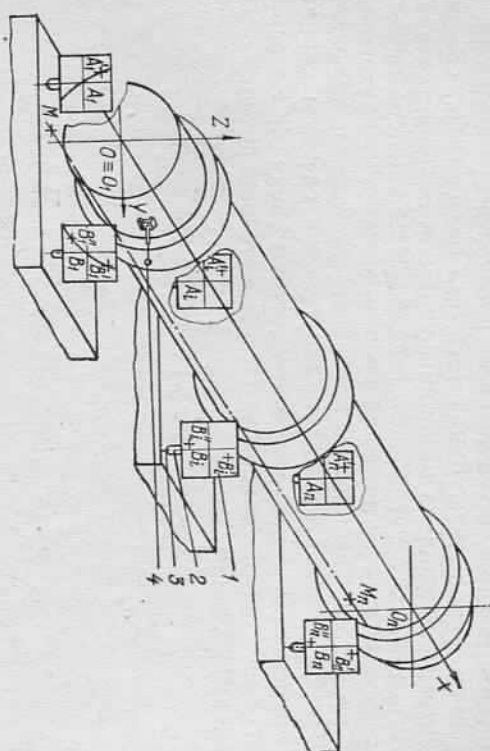


Рис. 1. Схема установки средств контроля для определения искривлений оси вращения во время работы печи.
1 — плоскости штифов; 2 — стойки; 3 — основание стоек; 4 — оптический прибор.

ду стойками на крайних опорах определяют с помощью геометрического нивелирования, а для измерения расстояний используют приборы, рекомендованные в [3]. Таким же образом связывают упомянутые выше параллельные линии с опорной прямой M_1, M_2 , закрепленной ранее на фундаментах.

На корпусе печи (на магните или в заранее подготовленном месте) устанавливают сигнально-пишущее устройство 4 регулируемой длины таким образом, чтобы его перо во время вращения печи касалось обоих штифов, установленных в одном сечении. Так как частота вращения печи невелика (не более 1,5 об/мин), то установить устройство на корпусе во время работы агрегата несложно. Прямолинейность оси вращения определяют на основании нанесенных на штифы траекторий движения пера сигнально-пишущего устройства. Сначала производят запись траекторий на штифах, которые фиксируют плоскость поперечного сечения на одном из крайних фундаментов, заменив, в случае необходимости, теодолиты штифами. Затем на штифы наносят дополнительные перекрестия: два — на одном штифе (B'_1 и B''_1) и одно — на другом (A'_1). Точки B'_1, B''_1, A'_1 наносят на траекториях, очерченных на штифах. Точку A'_1 наносят на траектории произвольно, а B'_1 и B''_1 — на расстояниях 100...150 мм от краев штифа.

На шитках, обозначающих плоскости всех остальных поперечных сечений, также наносят дополнительные перекрестия $A_2', \dots, A_n', \dots, A_n'$ и $B_2', \dots, B_n', \dots, B_n'$. Координаты их относительно центральных перекрестий соответствующих шитков равны координатам дополнительных перекрестий, нанесенных на шитки с записанными траекториями.

След за этим сигнально-пишущее устройство устанавливается на корпусе в сечении, обозначенном плоскостями шитков на другом крайнем фундаменте. Ввиду того, что линии O_1O_n , соединяющие центры вращения на крайних фундаментах, параллельны линиям A_1A_n и B_1B_n , а установить радиус вращения пера пишущего устройства одинаковым в обоих сечениях сложно, то нанесенная на шитках траектория не пройдет через дополнительные перекрестия A_n', B_n' и B_n'' . Связав ось OX прямоугольной системы координат XUZ с линией O_1O_n , определяют координаты точки A_1' относительно оси OX или центра вращения O_1 крайнего поперечного сечения согласно выражениям

$$Y_{A_1'} = \frac{\bar{y}_{B_1'}(\bar{y}_{B_1'}^2 + \bar{z}_{B_1'}^2) - \bar{z}_{B_1'}(\bar{y}_{B_1'}^2 + \bar{z}_{B_1'}^2)}{2(\bar{y}_{B_1'}\bar{z}_{B_1'} - \bar{y}_{B_1''}\bar{z}_{B_1'})},$$

$$Z_{A_1'} = \frac{\bar{y}_{B_1'}(\bar{y}_{B_1'}^2 + \bar{z}_{B_1'}^2) - \bar{z}_{B_1'}(\bar{y}_{B_1'}^2 + \bar{z}_{B_1'}^2)}{2(\bar{y}_{B_1'}\bar{z}_{B_1'} - \bar{y}_{B_1''}\bar{z}_{B_1'})}. \quad (1)$$

Выражения (1) получены на основании совместного решения уравнений окружности с центром в точке O_1 , проходящей через точки A_1', B_1', B_1'' . Поэтому $\bar{y}_{B_1'}, \bar{z}_{B_1'}, \bar{y}_{B_1''}, \bar{z}_{B_1''}$ — координаты точек B_1' и B_1'' соответственно при условии помещения начала системы координат $\bar{y}\bar{z}$ в точку A_1' (рис. 2).

В случае наличия на фундаментах зафиксированной прямой общеро положенны координаты точки M_1 , принадлежащей этой прямой и расположенной в плоскости сечения, таковы:

$$Y_{M_1} = Y_{A_1'} - Y_{M_1},$$

$$Z_{M_1} = Z_{A_1'} - Z_{M_1}, \quad (2)$$

где $\bar{y}_{M_1}$ и $\bar{z}_{M_1}$ — координаты точки M_1 в системе $\bar{y}\bar{z}$.

В поперечном сечении, зафиксированном шитками на другом крайнем фундаменте, координаты точки $A_n'(Y_{A_n'}, Z_{A_n'})$ относительно оси OX (в сечении относительно точки O_n) определяют согласно зависимостям (1) с учетом индексации. При этом связать любую из точек траекторий с перекрестиями A_n', B_n', B_n'' и B_n'' несложно. Непараллельность линий A_1A_n , B_1B_n оси OX (линии O_1O_n), как и всех остальных соединяющих одноименные перекрестия, определяют из зависимости

$$\Delta Y = Y_{A_1'} - Y_{A_n'},$$

$$\Delta Z = Z_{A_1'} - Z_{A_n'}. \quad (3)$$

Согласно (3) определяют непрямолинейность оси вращения в каждом из контролируемых сечений после записи траекторий сигнально-пишущего устройства на шитках, учитывая, что непарал-

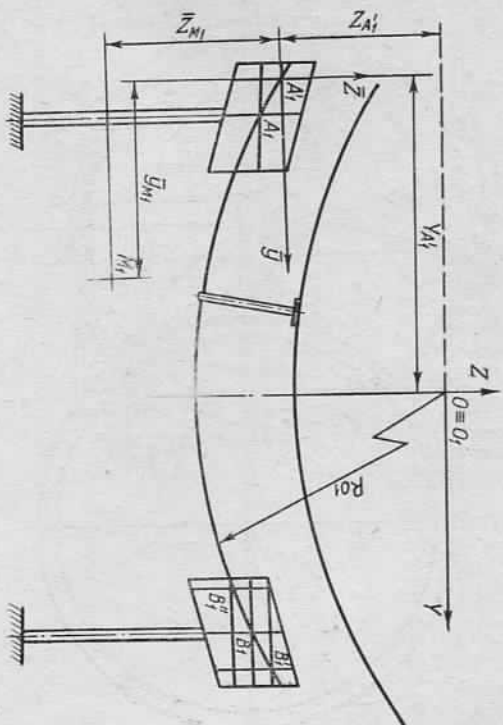


Рис. 2. Схема расположения устройств для контроля прямолинейности в плоскости сечения.

лельность линий оси OX изменяется пропорционально расстоянию между сечениями.

Непрямолинейность оси вращения печи, помимо описанного аналитического способа, можно определить графически. Графический способ проще аналитического, не требует вычислений и заключается в отыскании точек пересечения траекторий пера сигнально-пишущего устройства, записанных в одном сечении, и нахождения положения и точек пересечения радиальных осей.

Ниже приводим обоснование графического способа определения значений непрямолинейности оси вращения. Совмещают плоскости крайних поперечных сечений, обозначенных плоскостями шитков (рис. 3), таким образом, чтобы $A_1' \equiv A_n', B_1' \equiv B_n', B_1'' \equiv B_n''$.

Тогда координаты центра вращения сечения O_n относительно $O_1 - \Delta Y_n$ и ΔZ_n . Они представляют собой значения непараллельности оси OX (линии O_1O_n , см. рис. 1) линиям $A_1'A_n', B_1'B_n', B_1''B_n''$ в плоскости другого крайнего или n -го сечения. Определенные значения ΔY_n и ΔZ_n аналогично отысканию непрямолинейности оси вращения.

Помимо плоской прямоугольной системы координат $\bar{x}\bar{y}$, начало которой помещено в точку $A_1' \equiv A_n'$, в точку $B_1' \equiv B_n'$ помещают начало системы координат $\bar{x}'\bar{y}'$, а в точку $B_1'' \equiv B_n''$ начало

$$\bar{y}_h = \Delta Y_n, z_h = \Delta z_n.$$

Прямая, проходящая через точки K и K_1 , является радикальной осью упомянутых окружностей. Точка K — это точка пересечения записанных траекторий при совмещении перекрестия B_n' с перекрестием A_n' .

Поскольку радиусы вращения пера сигнально-пишущего устройства в контролируемых сечениях разные ($R_{01} \neq R_{0l} \neq R_{0n}$), то построенные из центров O_n и O_o' окружности, концентричные нанесенным ранее ($R_{0n} \neq R_{0l}$), пересекутся в точках E и E_1 . Две окружности

$$y^2 + z^2 + D_1 y + D_2 z + D_3 = 0, \\ y^2 + z^2 + D_4 y + D_5 z + D_6 = 0, \quad (11)$$

имеющие точки пересечения, связаны зависимостью

$$y^2 + z^2 + D_1 y + D_2 z + D_3 + \xi(y^2 + z^2 + D_4 y + D_5 z + D_6) = 0, \quad (12)$$

где ξ — параметр. При $\xi = -1$ уравнение (12) превращается в уравнение прямой

$$(D_1 - D_4)y + (D_2 - D_5)z + (D_3 - D_6) = 0. \quad (13)$$

Условие концентричности окружностей (11): $D_1 = D_4$; $D_2 = D_5$. Тогда (13) примет вид $D_3 = D_6$, т. е. концентрические окружности имеют общую радикальную ось, а KK_1 и EE_1 — отрезки одной и той же прямой.

Для отыскания величин непрямолинейности оси вращения, когда $R_{0l} \neq R_{0n}$, начало системы координат $x''o''y''$ параллельно перенесут в точку $o \equiv A_1' \equiv A_n'$ и выполнят описанные выше действия. Строят окружность радиуса R_{01} с центром в точке O_n'' , координаты которой в системе $x'o'y'$ равны координатам точки O_n в системе сечения окружностей радиуса R_{01} с центрами O_n^* и O_n является точка K . Радикальные оси окружностей радиусов R_{01} и R_{0n} с центрами в точках O_n и $O_n^* - K_2K$ и N_1N' — отрезки прямой, которая проходит через точку K_1 , т. е. $\bar{y}_h = \Delta Y_n$ и $\bar{z}_h = \Delta Z_n$, что уже было доказано с той лишь разницей, что K — точка пересечения радикальных осей траекторий, у которых $R_{0n} \neq R_{0l}$.

Практически для отыскания непрямолинейности снимают с одного из цитов восковку с нанесенной на ней траекторией и дополняют перекрестиями B_1' и B_1'' , поочередно совмещая названные перекрестия с перекрестием A_1' . Через наколотые точки пересечения траекторий проводят две радикальные оси, перпендикулярные линиям $A_1'B_1'$ и $A_1'B_1''$.

Координаты точки пересечения радикальных осей относительно A_1' представляют собой значения непрямолинейности оси вращения печи в проверяемом сечении ΔY_i ; ΔZ_i , с учетом непараллельности оси OX прямым $A_1'A_n'$; $B_1'B_n'$, $B_1''B_n''$ в i -м сечении. В слу-

чае необходимости непрямолинейность определяют относительно прямой общего положения, закрепленной на фундаментах.

Методика и средства контроля, с помощью которых она реализуется, испытаны на типовой вращающейся печи $\varnothing 4,5 \times 170$ м. Средние квадратические погрешности составили в плане $m_y = \pm 1,6$ мм, в вертикальной плоскости $m_z = \pm 1,8$ мм.

Список литературы: 1. Запаринский А. В. Автоматизация высокоточных измерений геодезических измерений. — М.: Недра, 1976. 2. Кузнецов И. В. Методы геодезических измерений. — М.: Недра, 1976. 3. Современный метод контроля установок оборудования. — Львов: Вища шк., 1982. 4. Система планово-предупредительного ремонта оборудования цементных заводов. — М.: Стройиздат, 1980. 5. Яковлев Х. К. Высокоточные створные наблюдения. — М.: Недра, 1978.

Статья поступила в редакцию 20. 01. 84