

МЕТОДИКА ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ПРЯМОЛИНЕЙНОСТИ ОСИ ВРАЩЕНИЯ ПЕЧИ ВО ВРЕМЯ РАБОТЫ АГРЕГАТА

Существует достаточное количество методов геодезического контроля установки 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 щитков 1 (рис. 1), покрытых восковой, устанавливаемых на стойках 2, основания 3 которых забетонированы на фундаментах. Стойки 2 имеют или регулируемую, или постоянную высоту. Щитки представляют собой параллелограммы с основанием $0,7 \dots 1,0$ м и высотой $0,3 \dots 0,5$ м. Верхние части стоек выполнены в виде посадочных гнезд для установки щитков. В эти гнезда можно устанавливать оптический прибор. Высота центральных перекрестий щитков ($A_1, \dots, A_i, \dots, A_n$; $B_1, \dots, B_i, \dots, B_n$) равна высоте визирной оси зрительной трубы оптического прибора при установке его на стойку. Высота стоек, устанавливаемых в одном сечении, может различаться на $0,5 \dots 0,8$ 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 — щитки. Расстояние между осями вращения теодолитов и горизонтальная проекция расстояния между перекрестиями щитков одинаковы. Ориентируют зрительные трубы те-

одолютов на перекрестия щитков. Перекрестия каждого из щитков, устанавливаемых на стойках в других контролируемых сечениях, расположенных между крайними, совмещают с визирными осями зрительных труб. Таким образом перекрестия щитков закрепляют две параллельные между собой линии ($A_1A_n \parallel B_1B_n$). Необходимо отметить, что закрепленные прямые должны быть приблизительно параллельными оси вращения печи. Превышение меж-

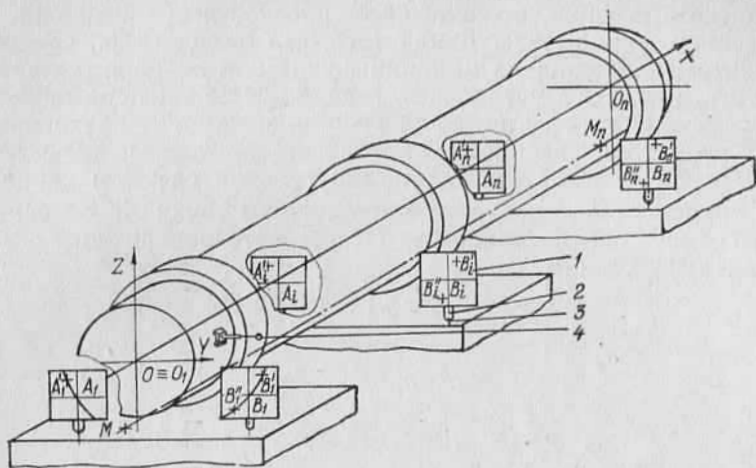


Рис. 1. Схема установки средств контроля для определения искривлений оси вращения во время работы печи:

1 — плоскости щитков; 2 — стойки; 3 — основания стоек; 4 — сигнально-пишущее устройство.

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_1M_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 щитков, 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.

Непрямолинейность оси вращения определяют на основании нанесенных на щитках траекторий движения пера сигнально-пишущего устройства. Сначала производят запись траекторий на щитках, которые фиксируют плоскость поперечного сечения на одном из крайних фундаментов, заменив, в случае необходимости, теодолиты щитками. Затем на щитки наносят дополнительные перекрестия: два — на одном щитке (B_1' и B_1'') и одно — на другом (A_1'). Точки B_1' , B_1'' , A_1' намечают на траекториях, прочерченных на щитках. Точку A_1' наносят на траектории произвольно, а B_1' и B_1'' — на расстояниях 100 ... 150 мм от краев щитка.

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

Вслед за этим сигнально-пишущее устройство устанавливают на корпусе в сечении, обозначенном плоскостями щитков на другом крайнем фундаменте. Ввиду того, что линия O_1O_n , соединяющая центры вращения на крайних фундаментах, параллельна линиям A_1A_n и B_1B_n , а установить радиус вращения пера пишущего устройства одинаковым в обоих сечениях сложно, то нанесенная на щитках траектория не пройдет через дополнительные перекрестия A_n', B_n' и B_n'' . Связав ось OX прямоугольной системы координат XYZ 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 $\bar{y}\bar{o}\bar{z}$ в точку A_1' (рис. 2).

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

$$Y_{M_1} = Y_{A_1'} - \bar{y}_{M_1},$$

$$Z_{M_1} = Z_{A_1'} + \bar{z}_{M_1}, \quad (2)$$

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

В поперечном сечении, зафиксированном щитками 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' 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 зависимостей

$$\Delta Y = Y_{A'_1} - Y_{A'_n},$$

$$\Delta z = z_{A'_1} - z_{A'_n}. \quad (3)$$

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

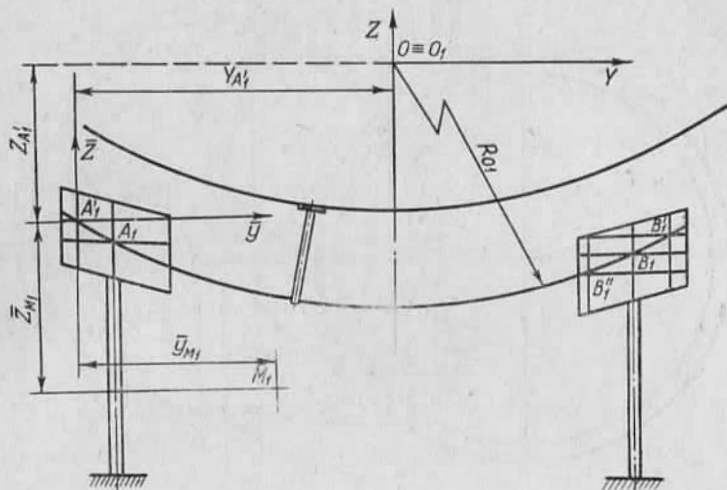


Рис. 2. Схема расположения устройств для контроля прямолинейности в плоскости сечения.

ельность 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 нахождении положения и точек пересечения радикальных осей.

Ниже приводим обоснование графического способа определения значений непрямолинейности оси вращения. Совмещают плоскости крайних поперечных сечений, обозначенных плоскостями щитков (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 — ΔY_n и ΔZ_n . Они представляют собой значения непараллельности оси OX (линии O_1O_n , см. рис. 1) линиям $A'_1A'_n$, $B'_1B'_n$, $B''_1B''_n$ в плоскости другого крайнего или n -го сечения. Определение значений ΔY_n и ΔZ_n аналогично отысканию непрямолинейности оси вращения.

Помимо плоской прямоугольной системы координат $\bar{x}\bar{o}\bar{y}$, начало которой помещено в точку $A'_1 \equiv A'_n$, в точку $B'_1 \equiv B'_n$ помещают начало системы координат $x'o'y'$, а в точку $B''_1 \equiv B''_n$ начало

ворота осей равен φ . Соотношения в расположении точек и линий в обеих системах координат инвариантны, поэтому (4) и (5) в системе $\bar{x}\bar{y}$ примут вид

$$\begin{aligned} R_{o_1}^2 &= (y - y_{o_n})^2 + (z - z_{o_n})^2, \\ R_{o_1}^2 &= (y - y_{o'_n})^2 + (z - z_{o'_n})^2, \end{aligned} \quad (6)$$

где

$$\begin{aligned} y &= \bar{y} \cos \varphi + \bar{z} \sin \varphi; \quad z = -\bar{y} \sin \varphi + \bar{z} \cos \varphi; \\ y_{o_1} &= \bar{y}_{o_1} \cos \varphi + \bar{z}_{o_1} \sin \varphi; \quad z_{o_1} = -\bar{y}_{o_1} \sin \varphi + \bar{z}_{o_1} \cos \varphi; \\ y_{o_n} &= \bar{y}_{o_n} \cos \varphi + \bar{z}_{o_n} \sin \varphi; \quad z_{o_n} = -\bar{y}_{o_n} \sin \varphi + \bar{z}_{o_n} \cos \varphi; \\ y_{o'_n} &= \bar{y}_{o'_n} \cos \varphi + \bar{z}_{o'_n} \sin \varphi; \quad z_{o'_n} = -\bar{y}_{o'_n} \sin \varphi + \bar{z}_{o'_n} \cos \varphi. \end{aligned}$$

Поскольку $z_{o_n} = z_{o'_n}$, разность уравнений системы (6) — $(y - y_{o_n})^2 - (y - y_{o'_n})^2 = 0$, откуда

$$(y)_{1,2} = (y_{o_n} + y_{o'_n})/2. \quad (7)$$

Подставляя в (7) значения y_{o_n} и $y_{o'_n}$, получаем $y_1 = y_{o_n}$. Одно из уравнений системы (6) после подстановки в него $y_1 = y_{o_n}$ принимает вид

$$z^2 - 2(y_{o_1} + z_{o_n})z + 2y_{o_n}z_{o_n} + z_{o_n}^2 = 0. \quad (8)$$

Откуда

$$\begin{aligned} z_1 &= z_{o_n}, \\ z_2 &= 2y_{o_1} + z_{o_n}. \end{aligned} \quad (9)$$

Представив (7) и (9) в координатах $\bar{y}\bar{z}$, получим систему уравнений

$$\begin{aligned} \bar{y} \cos \varphi + \bar{z} \sin \varphi &= -\bar{y}_{o_1} \cos \varphi - \bar{z}_{o_1} \sin \varphi + \\ &\quad \bar{y}_{o_n} \cos \varphi + \bar{z}_{o_n} \sin \varphi, \\ -\bar{y} \sin \varphi + \bar{z} \cos \varphi &= -\bar{y}_{o_1} \sin \varphi + \bar{z}_{o_n} \cos \varphi + \\ &\quad + \bar{y}_{o_1} \sin \varphi - \bar{z}_{o_1} \cos \varphi. \end{aligned} \quad (10)$$

Решив систему уравнений (10), находим

$$\bar{y}_1 = \Delta Y; \quad \bar{z}_1 = \Delta z.$$

Координаты одной из точек пересечения двух окружностей с одинаковыми радиусами R_{o_1} (точка K) в системе $\bar{x}\bar{y}$ ($\bar{o} \equiv A_1' \equiv A_n'$) равны значениям непараллельности оси ox линиям $A_1' A_n'; B_1' B_n'; B_1'' B_n''$ в n -м сечении:

$$\bar{y}_k = \Delta Y_n, \quad z_k = \Delta z_n.$$

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 ($R_{O_1} \neq R_{O_1'} \neq R_{O_n}$), то построенные из центров O_n и $O_{O'}$ окружности, концентричные нанесенным ранее ($R_{O_n} \neq R_{O_1}$), пересекутся в точках E и E_1 . Две окружности

$$\begin{aligned} y^2 + z^2 + D_1 y + D_2 z + D_3 &= 0, \\ y^2 + z^2 + D_4 y + D_5 z + D_6 &= 0, \end{aligned} \quad (11)$$

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 $R_{O_1} \neq R_{O_n}$, начало системы координат $x''o''y''$ параллельно переносят в точку $\bar{o} \equiv A_1' \equiv A_n'$ и выполняют описанные выше действия. Строят окружность радиуса R_{O_1} с центром в точке O_n'' , координаты которой в системе $\bar{x}\bar{o}\bar{y}$ равны координатам точки O_n в системе $x''o''y''$. Повторив доказательство, находят, что одной из точек пересечения окружностей радиуса R_{O_1} с центрами O_n'' и O_n является точка K . Радикальные оси окружностей радиусов R_{O_1} и R_{O_n} с центрами в точках O_n и O_n'' — K_2K и N_1N — отрезки прямой, которая проходит через точку K_1 , т. е. $\bar{y}_k = \Delta Y_n$ и $\bar{z}_k = \Delta Z_n$, что уже было доказано с той лишь разницей, что K — точка пересечения радикальных осей траекторий, у которых $R_{O_n} \neq R_{O_1}$.

Практически для отыскания непрямолинейности снимают с одного из щитов восковку с нанесенной на ней траекторией и дополнительными перекрестиями B_i' и B_i'' , поочередно совмещают названные перекрестия с перекрестием A_i' . Через наколотые точки пересечения траекторий проводят две радикальные оси, перпендикулярные линиям $A_i'B_i'$ и $A_i'B_i''$.

Координаты точки пересечения радикальных осей относительно A_i 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. Зацаринный А. В. Автоматизация высокоточных инженерно-геодезических измерений. — М.: Недра, 1976. 2. Кузьо И. В., Микольский Ю. Н., Шевченко Т. Г. Современные методы контроля установки оборудования. — Львов: Вища шк., 1982. 3. Система планово-предупредительного ремонта оборудования цементных заводов. — М.: Стройиздат, 1980. 4. Ямбаев Х. К. Высокоточные створные наблюдения. — М.: Недра, 1978.

Статья поступила в редколлегию 20.01.84