

правок за рефракцию $\Delta\alpha_1$ и $\Delta\alpha_2$. Шестая пара явно не согласуется с результатами остальных, так как разность углов наклона составляет всего 2, 7", что практически близко к случаю, когда кривые совпадают и тогда определить этим методом рефракцию невозможно. Вопрос корректности задачи требует дальнейших исследований.

Приведенные формулы и методика определения истинного направления по результатам измерения метеороэлементов и зенитных расстояний при различных состояниях атмосферы справедливы только для однородных, равнинных, поверхностей при малых расстояниях. Особенное внимание нужно уделять измерениям температуры, которые должны строго соответствовать измерениям зенитных расстояний.

Статья поступила в редакцию 29. 01. 86

УДК 528.32+666.41

Т. Г. ШЕВЧЕНКО, С. Г. ХРОПОТ, С. П. ВЕРГЕЛЕС

ГЕОДЕЗИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ ПОЛОЖЕНИЯ РОЛИКОВЫХ ОПОР ВРАЩАЮЩЕЙСЯ ПЕЧИ

Геодезический контроль прямолинейности рабочих осей аппаратов непрерывного производства типа спекательных или обжиговых печей осуществляется с помощью специальных измерительных устройств. Информацию о значенных отклонениях от прямолинейности получают, как правило, косвенным путем. При этом возникает необходимость определения размеров деталей опорных узлов подбандажных зазоров, диаметров бандажей и роликов, взаимного расположения осей опорных роликов и т. п. [2, 6]. Наибольшие трудности возникают при определении взаимного расположения опорных роликов, поскольку измерения ведутся обычно в стесненных во времени и пространстве условиях. Применять контактные средства измерений сложно из-за необходимости вскрывать крышки подшипников опорных роликов [4, 5]. Известное бесконтактное устройство для измерения взаимного расположения осей опорных роликов [1] наряду с преимуществами имеет и недостатки. Последние связаны, например, с трудностью определения вертикальной и горизонтальной проекции расстояния между осями.

Предлагаемый метод и устройство для геодезического контроля положения роликовых опор вращающихся печей, на наш взгляд, более эффективны. Метод заключается в определении отклонений от прямолинейности рабочей оси вращающейся печи посредством сравнения действительных и расчетных координат точек оси относительно опорной прямой, закрепленной на фундаменте печи. Необходимые для этого размеры — диаметры опорных роликов и расстояния между их осями находят бесконтактным способом.

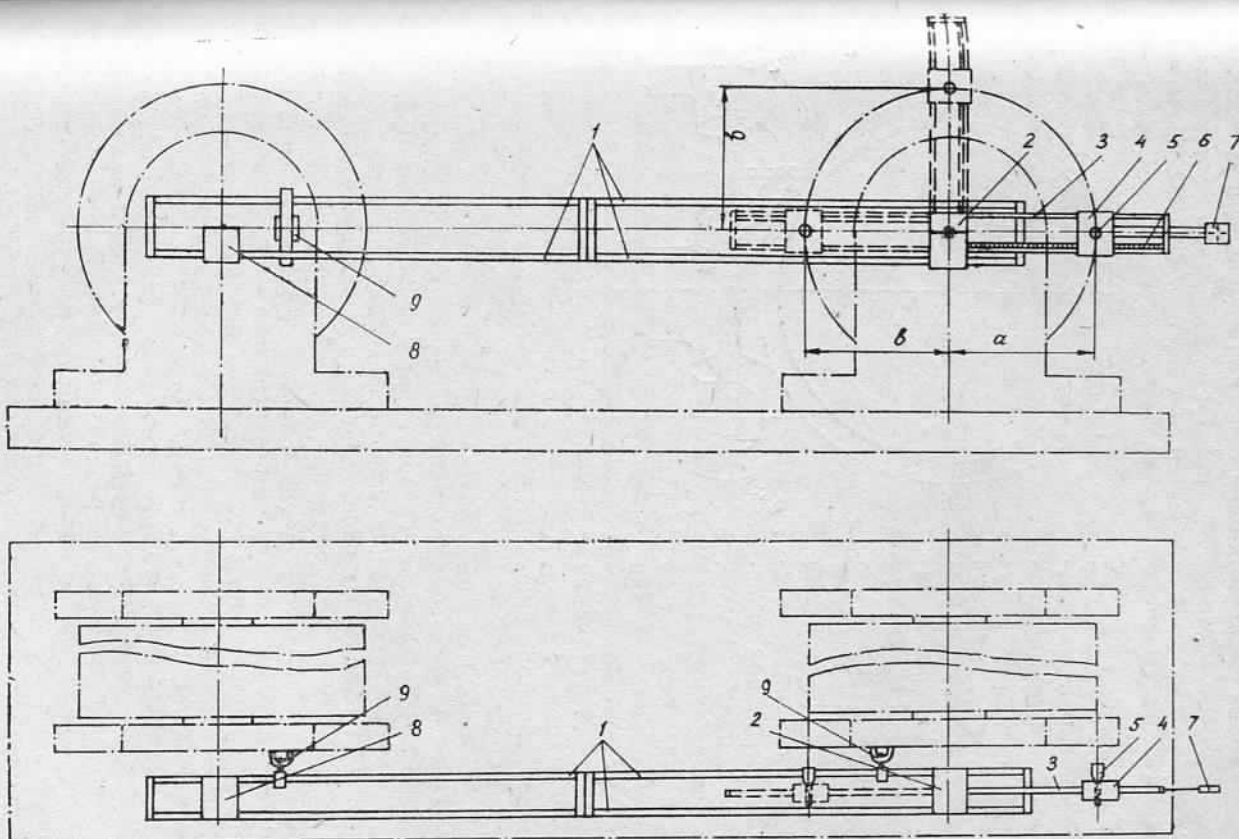


Рис. 1. Схема устройства для измерения взаимного положения осей опорных роликов.

В ряде случаев, когда согласно требованиям ремонта или наладки агрегата отклонения оси от прямолинейности определяют только в проекции на горизонтальную плоскость, вместо опорной прямой закрепляют створ. Конструкция оптического измерителя взаимного положения роликовых опор показана на рис. 1. Она включает основание 1, выполненное из трех труб, на котором установлены два посадочных гнезда 2 и 8 для оси поворотного индикатора 3. По направляющим индикатора перемещается каретка 4, в оправке которой установлена зрительная труба 5. Визирная ось зрительной трубы перпендикулярна торцевой поверхности опорного ролика, параллельна горизонтальной проекции оси вращения печи и пересекается с продольной осью индикатора. Зрительная труба может наклоняться в вертикальной плоскости на небольшой угол. Перемещения зрительной трубы с кареткой отчитывают по шкале 6. На каретке имеется посадочное место для установочной створной марки 7. Начало горизонтальной шкалы марки совпадает с визирной осью зрительной трубы. Помимо этого марка снабжена вертикальной шкалой, начало которой совпадает с горизонтальной осью индикатора.

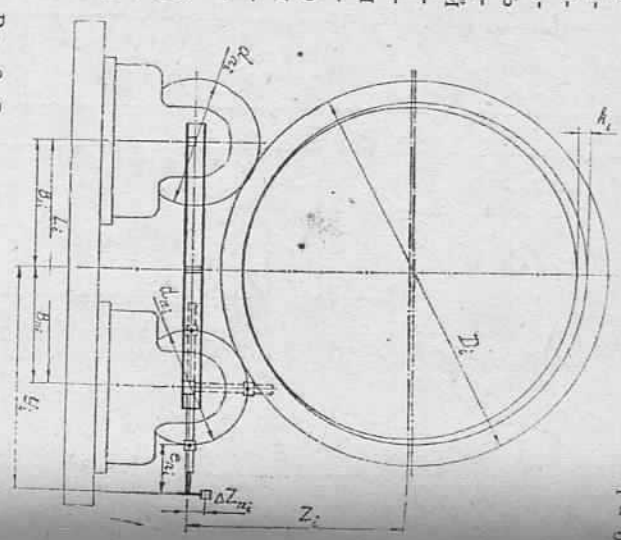


Рис. 2. Схема поперечного сечения опорного узла.

На нижней трубе секции 1 нанесены дециметровые деления, что позволяет определить расстояние между посадочными гнездами. Поворотному индикатору можно придать два горизонтальных ветвления оси одного из них — реверсивного — параллельна продольной оси индикатора, а ось второго — перпендикулярна к ней.

Основание 1 также имеет уровни для приведения в горизонтальное положение. В горизонтальном положении индикатор фиксируется в пазах, выполненных в ребрах жесткости основания 1. Оси пазов расположены на одной прямой. Приведение продольной оси индикатора в горизонтальное или вертикальное положение выполняется с помощью винтов. Закрепление оптического измерителя на корпусах подшипников роликовых опор осуществляется угольниками или постоянными магнитами 9.

Для определения горизонтальной проекции расстояния между осями роликов поворотный индикатор располагают горизонтально. Устанавливают каретку со зрительной трубой так, чтобы вертикальная нить перекрестия трубы была касательной к торцевой поверхности ролика в двух диаметрально противоположных точках. Горизонтальная проекция расстояния между осями опорных роликов такова:

$$L = l + \frac{1}{2}(a + a_1 - b - b_1), \quad (1)$$

где a и b — отсчеты по шкале индикатора, при установке его у торца одного ролика; a_1 и b_1 — то же при установке индикатора у торца второго ролика; l — расстояние между двумя положениями оси поворотного индикатора.

Вертикальная проекция того же расстояния — превышение между точками пересечения осей роликов с их торцевыми плоскостями составляет

$$h = g - g_1 + \frac{1}{2}(a + a_1 - b - b_1). \quad (2)$$

Здесь g и g_1 — отсчеты по шкале индикатора при установке его вертикально.

Для контроля прямолинейности оси вращения, взаимного положения осей роликов, а также расположения этих осей относительно оси вращения необходимо построить опорную прямую, координаты точек которой известны относительно плановой проекции оси вращения, закрепленной на фундаментах при монтаже.

Однако в процессе эксплуатации или ремонта агрегата риски, закрепляющие на фундаментах плановую проекцию оси вращения, могут быть утрачены. Контроль положения роликоопор и прямолинейности оси вращения осуществляют в таких случаях относительно опорной прямой, закрепленной сбоку от роликоопор. На рис. 2, представляющем поперечное сечение опорного узла, опорная прямая закреплена справа от агрегата.

Координаты оси вращения относительно опорной прямой определяют согласно зависимостям

$$Y_i = B_{\Pi_i} + \frac{d_{\Pi_i}}{2} \pm Y_{\Pi_i} + e_{\Pi_i}; \quad (3)$$

$$Z_i = \sqrt{\left(\frac{D_i + d_{\Pi_i}}{2}\right)^2 - B_{\Pi_i}^2 - \frac{k_i}{2} \pm z_{\Pi_i} + \Delta z_{\Pi_i}}, \quad (4)$$

где

$$B_{\Pi_i} = \frac{L_i}{2} + \frac{d_{\Pi_i}^2 - d_{\Pi_i}^2 + 2D_i(d_{\Pi_i} + d_{\Pi_i})}{8L} \quad (5)$$

расстояние от точки пересечения оси ролика с плоскостью его торца до плановой проекции оси вращения; D_i — диаметр бандажа; d_{Π_i} , d_{Π_i} — диаметры ближнего (правого) и дальнего (левого) по отношению к опорной линии роликов соответственно; k_i — подбандажный зазор; z_{Π_i} — расстояние от касательной, перпендику-

лирной оси ролика, до опорной прямой, соответствующее отсчету по горизонтальной шкале марки (см. рис. 2.); Δz_{π_i} — проекция на вертикальную плоскость расстояния от оси вращения поворотного индикатора до оси ролика, соответствующая отсчету по вертикальной шкале марки; L_i — расстояние между осями роликов. Величины y_{π_i} и z_{π_i} представляют собой координаты точек осей роликов, расположенных на различных — 1-й и i -й опорах. Их определяют по формулам

$$y_{\pi_i} = \frac{(\rho_{\pi_i}^2 + L_i^2 - \rho_{\pi_1}^2) \cdot \cos \alpha_{L_i}}{2L_i} \pm \sqrt{\rho_{\pi_i}^2 - \frac{(\rho_{\pi_i}^2 + L_i^2 - \rho_{\pi_1}^2)^2}{4L_i^2}} \cdot \sin \alpha_{L_i} - \frac{(\rho_{\pi_i}^2 + L_i^2 - \rho_{\pi_1}^2) \cdot \cos \alpha_{L_i}}{2L_i} \pm \sqrt{\rho_{\pi_i}^2 - \frac{(\rho_{\pi_i}^2 + L_i^2 - \rho_{\pi_1}^2)^2}{4L_i^2}} \cdot \sin \alpha_{L_i}; \quad (6)$$

$$z_{\pi_i} = \sqrt{\rho_{\pi_i}^2 - \frac{(\rho_{\pi_i}^2 + L_i^2 - \rho_{\pi_1}^2)^2}{4L_i^2}} \cdot \cos \alpha_{L_i} \pm \frac{(\rho_{\pi_i}^2 + L_i^2 - \rho_{\pi_1}^2)}{2L_i} \cdot \sin \alpha_{L_i} - \sqrt{\rho_{\pi_i}^2 - \frac{(\rho_{\pi_i}^2 + L_i^2 - \rho_{\pi_1}^2)^2}{4L_i^2}} \cdot \cos \alpha_{L_i} \pm \frac{(\rho_{\pi_i}^2 + L_i^2 - \rho_{\pi_1}^2)}{2L_i} \cdot \sin \alpha_{L_i}; \quad (7)$$

где $\rho_{\pi_i} = \frac{D_i + d_{\pi_i}}{2}$; $\rho_{\pi_1} = \frac{D_1 + d_{\pi_1}}{2}$; $\rho_{L_i} = \frac{D_i + d_{\pi_i}}{2}$; $\rho_{L_1} = \frac{D_1 + d_{\pi_1}}{2}$; α_{L_i} — угол наклона линии, соединяющей точки осей роликов, расположенные в одной плоскости, перпендикулярной к оси вращения.

Для контроля прямолинейности оси вращения удобнее пользоваться комплектом из двух устройств. Одно устройство устанавливается у торцов роликов крайней опоры, например, с холодного конца печи, второе у торцов роликов другой крайней опоры с горячего тем поворотный индикатор устанавливается в горизонтальное положение таким образом, чтобы марка располагалась с той стороны, справа (см. рис. 2). На крайней опоре с холодного конца печи (здесь и далее она названа 1-й) располагают подвижную марку на таком расстоянии Y_1 от плановой проекции оси вращения, чтобы было видно марку на крайней опоре с горячего конца печи (здесь и далее она названа n -й), а также на всех остальных опорах:

$$Y_1 = B_{\pi_1} + \frac{a_{\pi_1} + b_{\pi_1}}{2} + c + e_{\pi_1}, \quad (8)$$

где a_{π_1} и b_{π_1} — отсчеты по шкалам поворотного индикатора, учитывая, что $\frac{d_{\pi_1}}{2} = \frac{a_{\pi_1} + b_{\pi_1}}{2} + c + e_{\pi_1}$ — отсчет по горизонтальной шкале марки.

Опорная линия будет параллельна прямой, соединяющей центры 1-го и n -го сечения, если $Y_1 = Y_n$ и $Z_1 = Z_n$:

$$Z_1 = \sqrt{\left(\frac{D_1 + d_{\pi_1}}{2}\right)^2 - B_{\pi_1}^2} - \frac{k_1}{2} + \Delta z_{\pi_1}, \quad (9)$$

где $\Delta z_{\pi_1} = g_{\pi_1} - \frac{a_{\pi_1} + b_{\pi_1}}{2}$; g_{π_1} — отсчет по шкале индикатора, установленного

параллельного вертикально; $Y_n = Y_1 \pm y_{\pi_n}$; $Z_n = Z_1 \pm z_{\pi_n} + \Delta z_{\pi_n}$.

Параллельность названных линий будет соблюдена, если отсчеты по горизонтальной и вертикальной шкалам будут соответствовать

$$e_{\pi_n} = e_{\pi_1} + B_{\pi_n} - B_{\pi_1} - \frac{a_{\pi_n} + b_{\pi_n} - a_{\pi_1} - b_{\pi_1}}{2} \pm y_{\pi_n}; \quad (10)$$

$$\Delta z_{\pi_n} = z_{\pi_n} - z_{\pi_1} \pm z_{\pi_n}. \quad (11)$$

Устанавливают на шкалах марок отсчеты e_{π_n} , Δz_{π_n} , e_{π_1} , Δz_{π_1} . На 1-й опоре располагают прибор для закрепления опорной прямой и совмещают визирную ось зрительной трубы с центрами марок на 1-й и n -й опорах.

При использовании лазерных геодезических приборов с центром марки совмещают ось лазерного пучка. Непрямолинейность оси вращения получают как разницу рассчитанных и измеренных величин e_{π_n} и Δz_{π_n} на соответствующих шкалах после совмещения центров марок с опорной прямой. При невозможности совмещения опорной прямой с центрами марок на 1-й и n -й опорах поступают следующим образом. Совмещают визирную ось зрительной трубы или ось лазерного излучения с центром марки на n -й опоре. При этом смещение ее относительно центра марки на 1-й опоре должно быть соизмеримо с отклонениями от прямолинейности оси вращения. Непараллельность опорной прямой линии, соединяющей центры сечений на 1-й и n -й опоре, определяют согласно известным методам [3]. Наблюдения ведут по программе полного створа. Измерения повторяют, построив опорную прямую с другой стороны агрегата. При необходимости прямую, соединяющую центры сечений на 1-й и n -й опорах, можно привести к любой другой опоре. Далее определяют вероятнейшее положение оси вращения согласно рекомендациям [6].

В таблице приведены результаты измерений, полученные во время ремонта печи кальциниции № 1 пикалевого объединения «Гинозем». Параметры L_x , e_x , Y_x измерены при установке устройств у торцов опорных роликов с холодного конца печи, L_y , e_y , Y_y — с горячего конца печи.

Опорная линия задавалась визирной осью теодолита Т5. По условиям ремонта величины Δz_p не измерялись. Значения отклонений от прямолинейности оси вращения в плане определены, как разности Y_1 и Y_i .

Средняя квадратическая ошибка определения положения осей опорных роликов и прямолинейности оси вращения равна 0,4 мм.

Результаты измерений параметров вращающейся печи $\varnothing 3,6 \times 3, 8 \times 51$ м

Опора	Параметр					
	L_x	L_r	e_x	e_r	Y_x	Y_r
1	2754,4	2754,4	248,5	248,7	2223,5	2223,7
2	2797,3	2820	227,8	211,5	2228,7	2228,5
3	2809,8	2813,3	221,6	225,7	2219,8	2219,6
4	2723,5	2728,0	274,0	263,7	2223,3	2223,5
						$-5,1$ $+3,8$

Предрасчет точности измерений для крупногабаритных агрегатов длиной до 200 м показал, что средняя квадратическая ошибка должна составить 0,9 мм [3].

Описанные методика и устройство без каких-либо изменений используются и во время работы агрегата.

1. Гребенков В. Г., Савченко А. А., Шевченко Т. Г. К выверке вращающихся цементных печей геодезическими методами // Геодезия, картография и аэрофотоко Т. Г. Современные методы контроля установки оборудования. Львов, 1982.
2. Девчук Г. П., Новик В. Е., Конисов В. Г. Прикладная геодезия. М., 1981.
3. Микодаский Ю. Н., Кравченко В. М. Выверка и центровка промышленного расточного метода ремонта вращающихся печей. М., 1970.
4. Микодаский Ю. Н., Кравченко В. М., Выверка и центровка промышленного расточного метода ремонта вращающихся печей. М., 1970.
5. Буренков В. Д., Дмитриев В. В. Скользящий метод обеспечения монтажа и эксплуатации технологического оборудования цветной промышленности. М., 1983.

Статья поступила в редакцию 08.02.86

УДК 550.34

О. И. ЮРКЕВИЧ КВАЗИСТАТИЧЕСКОЕ НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ВОСТОЧНОЙ ЕВРОПЫ ПО СОВРЕМЕННЫМ ВЕРТИКАЛЬНЫМ ДВИЖЕНИЯМ ЗЕМНОЙ КОРЫ

Исследование природы современных движений земной коры привело к проблеме выяснения их происхождения и механизма действия. Для постановки прямой и решения обратной задачи оценки внутренних напряжений и перемещений, действующих в земной коре и литосфере, на границе литосферы и астеносферы или на нижней границе астеносферы исходными являются измеренные

на поверхности Земли вертикальные и горизонтальные перемещения.

Математические задачи сводятся к моделированию земной коры или литосферы плоскопараллельным пластом, покоящемся на полупространстве, или двумя пластинами с разными механическими свойствами, моделирующими литосферу и астеносферу. Самая простая модель — упругий пласт, из реологических — вязкий, в двухслойных моделях в самом простом случае литосфера моделируется упругим пластом, а астеносфера вязким или принимаются два вязких пласта с разными коэффициентами вязкости. При выборе моделей исходим из предположения, что реологические свойства земной коры и астеносферы проявляются в вязких течениях с различной скоростью.

Цель математического моделирования — определение напряженного состояния земной коры под действием перемещений на нижней ее границе, влияния конвективных движений на перераспределение напряженного состояния земной коры и литосферы и проявления их в современных движениях поверхности Земли. Особый раздел занимают выяснения образования складок, движений отдельных блоков — клавишей, а также более общих вопросов геотектоники — образования рифтовых зон, отступление ледяного покрова [2, 3, 6, 8, 9].

Вследствие недостатка данных о горизонтальных перемещениях поверхности Земли определения численных значений напряжений базируются в основном на данных о ее современных вертикальных движениях. Горизонтальные перемещения являются основными при оценках горизонтальных компонент напряжений, действующих в земной коре и нижележащих слоях.

Все задачи решаются методами механики твердого деформируемого тела для плоского случая, исходя из того что протяженность пласта намного больше его толщины. В первом приближении, используя методы теории упругости, одновременно принимается, что перемещения малы и пропорциональны действующим напряжениям.

Граничные условия сводятся обычно к нулевым значениям напряжений на верхней границе пласта — поверхности Земли — и перемещениям, заданным на нижней границе по экспоненциальному закону. В результате решения теоретических задач оказывается возможным выяснить механизм и природу современных вертикальных движений земной коры, определить основные закономерности проявления и значения напряжений, действующих в земной коре, литосфере [1, 4, 7].

Как одна из задач на определение внутренних напряжений, действующих в земной коре, по современным вертикальным движениям поверхности Земли решена задача для плоскопараллельного пласта, моделирующего земную кору при граничных условиях [10]:

$$\begin{aligned} \sigma_y = \tau_{xy} = 0, \quad y = +h, \\ \sigma_y = g(x), \quad y = -h, \\ \tau_{xy} = 0, \quad y = -h, \end{aligned}$$