

Т. Г. ШЕВЧЕНКО

К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ПОЛОЖЕНИЯ ЦЕНТРА СЕЧЕНИЯ КОРПУСА ВРАЩАЮЩЕЙСЯ ПЕЧИ

При проведении высокоточного геодезического контроля установки крупногабаритного оборудования необходимо учитывать его технологические и конструктивные особенности. В первую очередь это относится к оборудованию, форма цилиндрических базовых деталей которого оказывает существенное влияние на его работоспособность, например, бандажей и корпусов вращающихся печей. Допустимая овальность поперечных сечений корпуса печи составляет 10 мм, а бандажа — 1,5 мм. Исследования показали, что действительные величины отклонения обеих деталей от круговой достигают 30 мм, а в некоторых случаях и более [1, 2]. Определенный техническими условиями допуск на отклонения от прямолинейности оси вращения печи и оси корпуса составляет ± 3 мм.

Методы геодезического контроля прямолинейности оси корпуса печи заключаются в определении отклонений центров поперечных сечений корпуса относительно опорной линии, зафиксированной двумя из них. Так как форма обеих сопрягаемых деталей — бандажа и корпуса — отличается от круговой, центры их сечений изменяют положение, определенное во время контроля, после пуска печи. Допуск на отклонение от прямолинейности оси корпуса печи мал по сравнению с отклонениями формы деталей от круговой. Это влечет за собой такие явления, как сложность осуществления контроля с требуемой точностью и, как следствие, невозможность обеспечить эксплуатационную надежность печи ввиду неточностей установки ее деталей.

Критерием надежности во многом являются величины отклонений оси вращения на опорах. Так как центры сечений непрерывно перемещаются, а угол поворота корпуса опережает угол поворота бандажа, имеет место цикличность движения центра сечения корпуса. Траектория движения, ввиду его цикличности, является некоторой замкнутой областью. Поскольку отклонения бандажа и корпуса от круговой формы носят случайный характер, то и перемещение центра корпуса в замкнутой области можно принять случайным. Анализ экспериментальных данных [2] показывает, что область нахождения центра сечения корпуса выпукла и близка по форме к эллипсисной. Частота попадания в центральную часть области выше, чем в периферийные ее участки, что позволяет предположить нормальность закона распределения центра сечения в области, а наиболее удачным представлением этой области является эллипс рассеивания.

Оптимальные условия работы агрегата могут быть достигнуты в том случае, если на каждой из опор эллипсы рассеивания являются гомогенными, изотропно вырождающимися.

Для решения задачи приняты следующие технические требования и ограничения. Отклонения от круглой формы бандажа и

корпуса являются случайными и представляют собой разности между номинальным R_0 и действительным R значениями радиусов $\Delta R = R_0 - R$. Ввиду жесткости металла бандажа и корпуса кривизна сечений положительна и всегда действительно соотношения между радиусом корпуса R_k и радиусом бандажа R_b :

$\frac{1}{R_k} > \frac{1}{R_b}$. Оба сечения принимаются жесткими, недеформируемыми. Максимальный диаметр корпуса $D_{k \max}$ и минимальный бандажа $D_{b \min}$ обеспечивают сборку с требуемым зазором $h = D_{b \min} - D_{k \max}$ ($h = 5$ мм). Перемещение корпуса в бандаже происходит без проскальзывания. Угол наката корпуса равен углу трения $\varepsilon = f$ ($f = 0,1$).

Зависимость радиуса от угла поворота бандажа выражается функциональной зависимостью $R = R(\alpha)$. Представим функцию в виде ряда Фурье

$$R_b = R_{0b} + \sum_{n=1}^k (A_n \cos n\alpha + B_n \sin n\alpha); \quad (1)$$

$$R_k = R_{0k} + \sum_{m=1}^p (D_m \cos m\beta + C_m \sin m\beta), \quad (2)$$

где α и β углы поворота соответственно бандажа и корпуса с учетом вращения. Причем β опережает α ввиду наличия зазора h .

Для нахождения координат центра сечения корпуса рассмотрим совместное вращение корпуса и бандажа (рис. 1).

Согласно рис. 1 для бандажа

$$R_1 = R_0 + \sum_{n=1}^k [A_n \cos n(\alpha - \alpha_0) + B_n \sin n(\alpha - \alpha_0)]; \quad (3)$$

$$R_2 = R_0 + \sum_{n=1}^k [A_n \cos n(\alpha + \gamma - \alpha_0) + B_n \sin n(\alpha + \gamma - \alpha_0)]. \quad (4)$$

Координаты точки касания наружной поверхности корпуса и внутренней поверхности бандажа таковы

$$\begin{aligned} x_A &= x_{0b} - R_{A_b} \cdot \sin \varepsilon; \\ y_A &= y_{0b} - R_{A_b} \cdot \cos \varepsilon, \end{aligned} \quad (5)$$

где

$$\begin{aligned} x_{0b} &= (R_1 + r) \sqrt{1 - \frac{(R_2 + r)^2 \sin^2 \gamma}{l^2}}; \\ y_{0b} &= \frac{(R_1 + r)(R_2 + r) \sin \gamma}{l}, \end{aligned} \quad (6)$$

здесь r — радиус опорного ролика, l — расстояние между осями роликов.

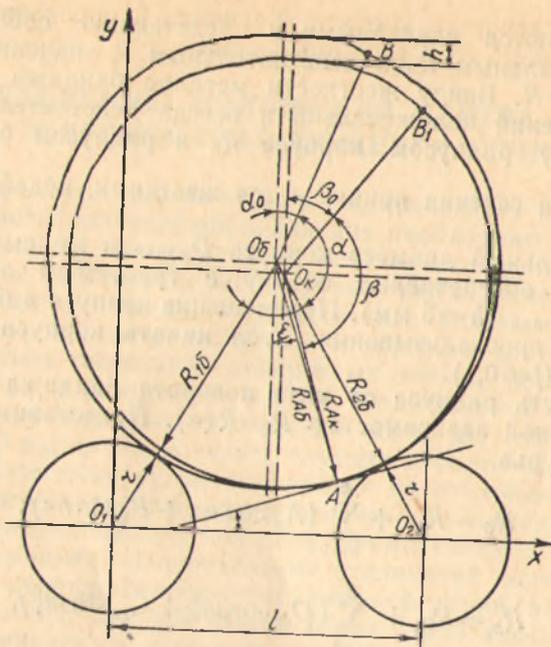


Рис. 1. Схема поперечного сечения опорного узла вращающейся печи.

Текущее значение величины радиуса внутренней поверхности бандажа в точке A

$$R_{A_0} = R_0 + \sum_{n=1}^k [A_n \cos n(180^\circ \alpha_0 - \epsilon) + B_n \sin n(180^\circ - \alpha_0 - \epsilon)]. \quad (7)$$

Уравнение касательной к обоим сечениям в точке A имеет вид

$$\frac{dR_{A_0}}{d\alpha} = \sum_{n=1}^k n [B_n \cos n(180^\circ - \alpha_0 - \epsilon) - A_n \sin n(180^\circ - \alpha_0 - \epsilon)]. \quad (8)$$

Угол наклона ее к горизонту таков

$$\xi = \left[\operatorname{arctg} \sum_{n=1}^k (nB_n \cos n(180^\circ - \alpha_0 - \epsilon) - nA_n \sin n(180^\circ - \alpha_0 - \epsilon)) \right] - \epsilon. \quad (9)$$

Текущее значение величины радиуса корпуса R_{K_A} в точке A , согласно (1), имеет вид

$$R_{K_k} = R_{0_k} + \sum_{m=1}^p (C_m \cos m\beta + D_m \sin m\beta), \quad (10)$$

где β — угол поворота корпуса. Величина β определяется из решения следующего интегрального уравнения:

$$\int_0^{\alpha} V \sqrt{(R_{A_0}(\alpha))^2 + [(R_{A_0}(\alpha))']^2} = \int_0^{\beta} V \sqrt{(R_{A_k}(\beta))^2 + [(R_{A_k}(\beta))']^2}. \quad (11)$$

Координаты центра сечения корпуса таковы

$$\begin{aligned} x_{0_k} &= x_A - R_{A_k} \sin \xi; \\ y_{0_k} &= y_A + R_{A_k} \cos \xi. \end{aligned} \quad (12)$$

Определив точечные координаты центра сечения корпуса за один цикл с определенным шагом $\Delta\alpha$, можно вычислить параметры эллипса рассеивания: большую A и малую B полуоси, а также дирекционный угол большой полуоси. Величины A , B , θ будут определяться известными формулами.

С целью реализации предложенной методики составлена программа на языке Фортран-4 для ЭВМ ЕС-1020 (рис. 2). Исходными данными для вычислений служили следующие:

Δz_0 — шаг набора радиусов бандажа; Δz_k — шаг набора радиусов корпуса; S_0 — ряд отобранных радиусов бандажа; S_k — ряд отобранных радиусов корпуса; δ — средняя квадратическая погрешность аппроксимации рядом Фурье; $\Delta\alpha$ — шаг поворота бандажа; r — радиус ролика; ϵ — угол наката; μ — точность фазового совпадения углов поворота.

Следующими блоками программы являются подпрограммы для аппроксимации рядами Фурье формы поперечных сечений бандажа и обечайки. Количество гармоник определяется методом перебора числа гармоник $M=N, 1$, где N — число отобранных радиусов. Выбирается минимальное количество гармоник, для которых средняя квадратическая погрешность аппроксимации рядом Фурье $\leq \delta$. Вычисление коэффициентов ряда Фурье ведется с использованием стандартной подпрограммы FORIT [3].

Следующим шагом является составление подпрограммы — функций, описывающих левую и правую части равенства (11), затем вычисление значений x_A и y_A осуществляется согласно углу поворота бандажа. С помощью стандартной подпрограммы QATR [3] и соответствующей подпрограммы функции находится значение левой части равенства (11). Итеративным путем с помощью стандартной подпрограммы QATR, подпрограммы функции и дифференциальной подпрограммы решается уравнение (11). Для ускорения нахождения угла β используется убывающий дифференциальный шаг, вычисление которого выполняется с помощью дифференциальной подпрограммы. Использование дифференциального шага позволяет находить β с заданной точностью μ . Специально составленная для этого случая дифференциальная подпрограмма является циклической, каждый цикл которой уменьшает шаг интегрирования F на один порядок, где JB — максимальный порядок шага.

УДК 528.711.1

Е. И. СМЕРНОВ

ЗАВИСИМОСТЬ МЕЖДУ КООРДИНАТАМИ ТОЧЕК СНИМКА И КОРРЕКТУРНЫМИ УГЛАМИ, ИЗМЕРЕННЫМИ С КОНЦОВ БАЗИСА

Основной задачей наземной стереофотограмметрической съемки является получение геодезических координат точек местности по фототеодолитным снимкам с известными элементами внутреннего и внешнего ориентирования или (для условных сетей) — взаимного ориентирования. В некоторых случаях возникает необходимость решать обратную задачу, т. е. определять по известным координатам точек местности и элементам внутреннего и внешнего (взаимного) ориентирования координаты точек снимка.

Такая задача возникает при уравнивании с использованием координат корректирных точек, элементов внешнего (взаимного) и внутреннего ориентирования, когда известны приближенные значения элементов внешнего (взаимного) ориентирования.

Часто развитие опорной сети для определения координат корректирных точек неэкономично или затруднительно, например, при съемке отвесных стен большой протяженности. В таких случаях целесообразно вместо координат точек измерять корректирные углы на легко опознаваемые по снимкам точки, которые и будут служить корректирными при уравнивании.

Условимся называть угол, лежащий между проекцией на горизонтальную плоскость вектора \vec{SM} , соединяющего переднюю узловую и корректирную точки, и фотограмметрической осью Y как корректирный угол λ . Направление положительного угла λ совпадает с направлением положительного угла внешнего ориентирования снимка α . Угол, лежащий в вертикальной плоскости между

вектором \vec{SM} и его проекцией на горизонтальную плоскость, — как корректирный угол β . Направление положительного угла β совпадает с направлением положительного угла внешнего ориентирования снимка ω . Корректирный угол, лежащий в плоскости XZ и соответствующий углу внешнего ориентирования снимка ω , примем равным нулю, так как при угловых измерениях теодолит горизонтируется достаточно строго.

Учитывая то, что измерять корректирные углы из передних узловых точек затруднительно, измеряют углы λ' и β' из центров вращения инструментов. Следовательно, возникает необходимость

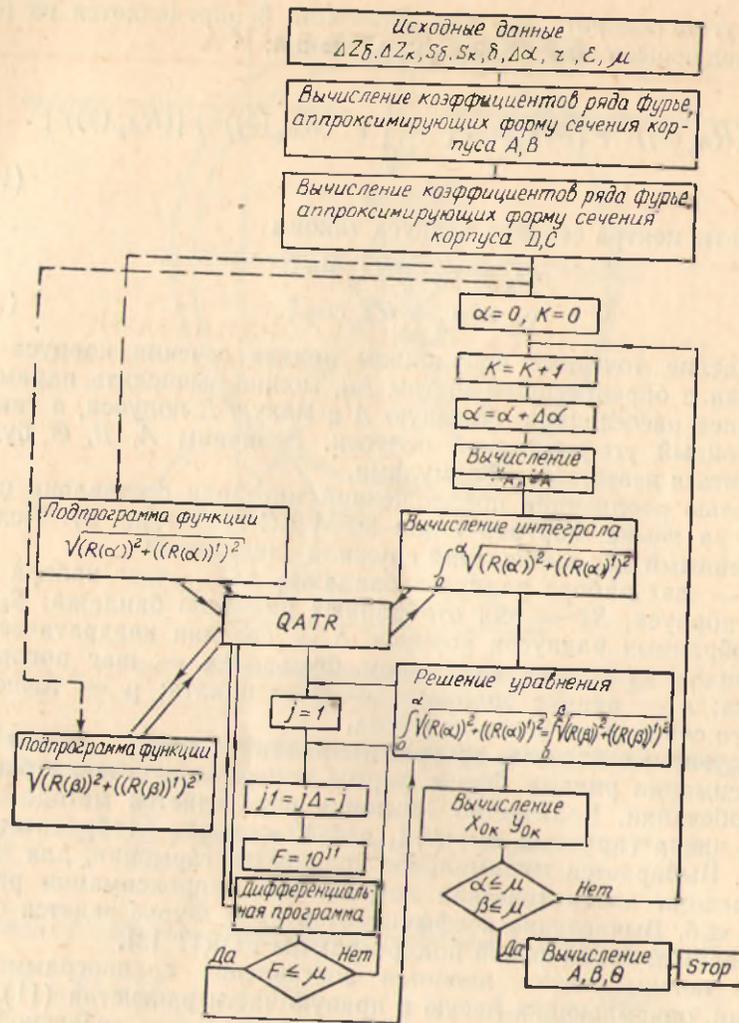


Рис. 2. Блок-схема программы для определения областей возможных положений центра сечения.

Следующим этапом является вычисление величин $x_{ок}$ и $y_{ок}$. Если фазы α и β не отличаются на величину погрешности μ от 0° , то проводится вычисление элементов эллипса погрешностей, в противном случае выполняется новый цикл.

Список литературы: 1. Астащенко Г. Г. Геодезические измерения диаметров бандажей вращающихся печей. — Изв. вузов: Строительство и архитектура, 1966, № 1. 2. Винник В. Н., Зинько Я. А., Кравченко В. М. и др. Об определении возможного положения оси вращения печи. — Тр. НИИцемент, 1977, вып. 39. 3. Математическое обеспечение ЕС ЭВМ. — Институт математики АН БССР. Минск, 1974, вып. 4.

Статья поступила в редколлегию 16.04.82