

Як видно з табл. 3, величина  $m_s$  є значно меншою за номограмою, зображеною на рис.1, ніж за номограмою на рис. 4. Це можна пояснити, тим що використані результати вимірів у роботі [1] були проведені у 1998 р. , а результати перманентних станцій відповідали епосі 2000 р. Відповідно результати 1998 р. були обтяжені спотвореннями селективного доступу (SA), який був відключений у травні 1999 р. Що стосується величини  $m_h$ , то розбіжність між номограмами, наведеними на рис. 2 та рис. 6, пояснюється ненадійним визначенням  $m_h$  на номограмі рис. 6 при короткій тривалості спостережень. Крім цього, слід зауважити, що максимально ефективна тривалість GPS-спостережень при вимірюванні векторів із довжинами у межах 10 – 50 км є від 3 до 6 год і ця величина зростає пропорційно довжині вектора. Подальше видовження часу спостережень не дає ефективного підвищення точності вимірів.

На закінчення необхідно зазначити, що отримані функціональні залежності між точністю вимірювання компонент вектора методом GPS і його довжиною та тривалістю спостережень може бути використано при оптимальному проектуванні державних геодезичних побудов і раціональному використанні парку GPS-приймачів.

1. Третьяк К., Черепанов Е. Экспериментальне дослідження точності GPS-системи SR-9500 LEICA / Зб. наук. пр. науково-технічної конференції присвяченої святу працівників геології, геодезії та картографії. Львів, 1999. 2. Основні положення створення державної мережі України: Постанова Кабінету Міністрів України від 8 червня 1998 р. – К., 1998. – № 844.

**Т.Г. Шевченко**

Національний університет “Львівська політехніка”

## **ПРО НЕОБХІДНІСТЬ ВРАХУВАННЯ ФОРМИ ВЕЛИКОГАБАРИТНИХ ОБ’ЄКТІВ ІНЖЕНЕРНО-ГЕОДЕЗИЧНИХ ВИМІРІВ**

© Шевченко Т.Г., 2001

**При инженерно-геодезическом контроле установки крупногабаритного оборудования цилиндрической формы определяют положение центров его поперечных сечений или контуров. Для этого необходимо учитывать их форму.**

**Making an engineering-geodetical control of assembling bid-sized cylindrical form equipment needs to determinate the location of centres its cross-section or its contours. That’s why the shape of equipment must be taken into consideration.**

Інженерно-геодезичні виміри встановлення великогабаритного технологічного обладнання або устаткування циліндричної форми мають певні особливості. Це, в першу чергу, пов’язано з визначенням та закріпленням осей обладнання, а також контролем прямолінійності їх. Найчастіше труднощі виникають у тих випадках, коли форма об’єктів вимірів має відхилення від правильної колової. Як приклад, можна навести фюзеляжі літаків, колові підкранові шляхи АЕС, корпуси оболонки, що обертаються, зокрема обертових печей, корабельне устаткування тощо [1, 2, 3].

На рис. 1 наведено приклад поперечного перетину корпусу обертової печі, а на рис. 2 – колова підкранова колія АЕС.

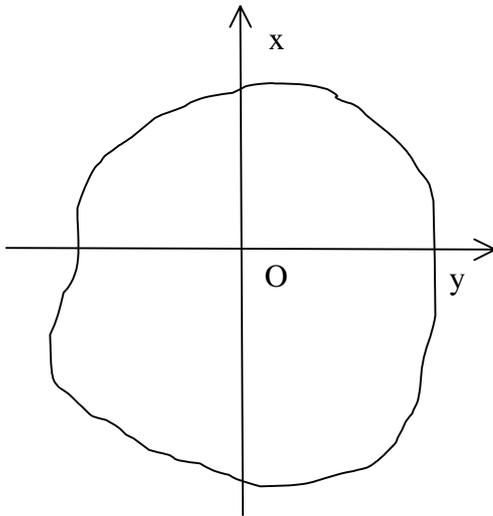


Рис. 1. Контурограма поперечного перетину корпусу обертової печі

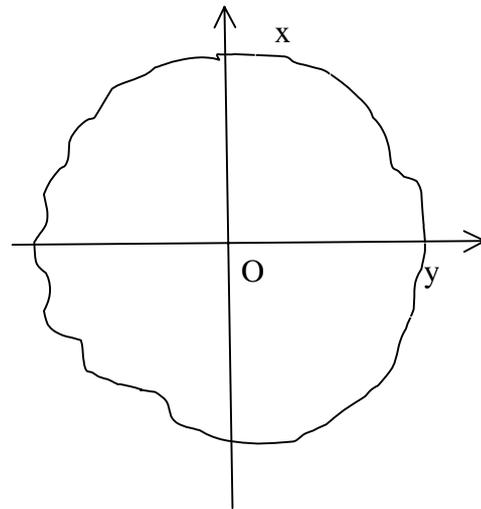


Рис. 2. Контурограма колової підкранової колії АЕС

Обидві криві зображені у вигляді контурограм. Відшукування та фіксація характерних точок, тобто центра перетину корпусу або центра колії, що пов'язано із визначенням їх форми, потребує багаторазових вимірів, які іноді можна виконати тільки за допомогою спеціальних пристроїв. Найпростіше вимірювання форми виконати з центра поперечного перетину, але положення його можна визначити, власне, тільки після проведення вимірів. Тому при контролі прямолінійності або відхилень форми, фіксують точки, які не збігаються з центрами перетинів, але відносно яких доводиться вести виміри. Досить складним є визначення номінального діаметра перетину.

Відхилення форми об'єктів у загальному випадку є випадковими, тому, як інструмент досліджень, для відображення відхилень форми контуру або перетину застосовано розкладання у тригонометричний ряд Фур'є з метою одержання окремих складників відхилень форми. Якщо позначити через  $r$  біжучий радіус-вектор вимірюваного контуру або перетину, а через  $R_o = r_o + \frac{a_o}{2}$  – шуканий радіус, залежність від  $r(\varphi)$  – (від кута повороту радіуса) можна зобразити у вигляді ряду Фур'є:

$$r(\varphi) = \left( r_o + \frac{a_o}{2} \right) + \sum_{k=1}^{\infty} A_k \cos(k\varphi + \alpha_k), \quad (1)$$

де  $\frac{a_o}{2}$ ,  $A_k$  та  $\alpha_k$  визначають за наближеними формулами Бесселя:

$$\begin{aligned} \frac{a_o}{2} &= \frac{1}{n} \sum_{m=1}^n y_m; & A_k &= \sqrt{a_k^2 + b_k^2}; \\ a_k &= \frac{2}{n} \sum_{m=1}^n y_m \cos \pi \frac{m}{n}; & b_k &= \frac{2}{n} \sum_{m=1}^n y_m \sin \pi \frac{m}{n}; \\ \alpha_k &= \arcsin \frac{b_k}{A_k}. \end{aligned}$$

де  $n$  – характеризує кількість вимірів по контуру. Із збільшенням  $n$  збільшується точність обчислень.

Доцільно зупинитися на геометричній інтерпретації перших гармонік ряду Фур'є, представленого рядом косинусів. Згідно з теорією рядів Фур'є, нульовий член розкладу

$$\frac{a_o}{2} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \delta r(\varphi) d\varphi$$

характеризує розташування кола радіуса  $R = r_o$ , що відповідає віддалі від центра обертання радіус-вектора до точки контуру у початковий момент вимірів відносно нульової лінії, за яку прийнято коло шуканого радіуса  $R_o = r_o + \frac{a_o}{2}$ . Отже, нульовий член розкладу є величиною помилки розташування кінця радіус-вектора відносно кола

радіуса  $R_o = A_o$  і дорівнює  $\frac{A_o}{2} = A_o - r_o$ , відповідно.

Перший член розкладу  $A_1 \cos(\varphi + \alpha_1)$  залежить від взаємного розташування центра контуру або перетину та точки, що належить базовій прямій при контролі прямолінійності, відносно якої ведуть виміри, тобто незбігання цих двох точок.

Члени розкладу, що залишилися, характеризують відхилення форми

$$\delta r(\varphi) = \sum_{k=2}^{\infty} A_k \cos(k\varphi + \alpha_k). \quad (2)$$

Значення  $\delta r(\varphi)$  простіше обчислити, якщо вираз (2) подати у вигляді

$$\delta r(\varphi) = [\delta r(\varphi)]^* - \frac{a_o}{2} - A_1 \cos(\varphi + \alpha_1). \quad (3)$$

де  $[\delta r(\varphi)]^*$  – безпосередньо відхилення форми.

При вимірюванні будь-якого перетину його значення  $D(\varphi)$  відрізняється від  $D_o$  на величину  $\delta D(\varphi)$ , яка дорівнює

$$\delta D(\varphi) = \delta r(\varphi) + \delta r(\varphi + \pi). \quad (4)$$

Остаточно

$$D_o = D(\varphi) - \{[\delta r(\varphi)]^* + [\delta r(\varphi + \pi)]^* - a_o\}. \quad (5)$$

Завдання визначення  $D_o$  збігається із визначенням форми об'єкта вимірювань та відшуканням центра перетину. Наприклад, для визначення  $D_o$  перетину корпусу обертової печі всередині корпусу встановлюють спеціальний пристрій, який дає можливість визна-

чити  $D(\varphi)$ , а також відхилення  $[\delta r(\varphi)]^*$ . На основі одержаних даних визначають  $\frac{a_o}{2}$  за

наведеною вище залежністю  $\frac{a_o}{2} \approx \frac{1}{n} \sum_{m=1}^n y_m$ , де  $y_m = [\delta r(\varphi)]^*$ . Діаметр  $D_o$  визначають за

залежністю (5).

На практиці, деколи виникає необхідність знати довжину трансформованого кола  $D_0$  у контур або перетин, що мають відхилення форми. Зокрема, це доцільно при стикуванні двох блоків корпусу обертової печі, коли слід встановити можливість стикування їх у допустимих межах при складанні корпусу. Або встановити відповідність колової колії підкранових шляхів АЕС проектним розмірам та радіусові обертання полярного крана. Для наочності порівняння доцільно розглянути форму контуру, що зустрічається у практиці, але має регулярні відхилення форми, які досить просто інтерпретуються математично, наприклад, еліпс.

Загалом, довжина дуги кривої у прямокутній системі координат дорівнює

$$L = \int_0^x \sqrt{1 + (y')^2} dx, \quad (6)$$

а рівняння еліпса має вигляд

$$\frac{y^2}{a^2} + \frac{x^2}{b^2} = 1,$$

звідки  $y = \frac{a}{b} \sqrt{b^2 - x^2}$ , а

$$y' = -\frac{a}{b} \frac{x}{\sqrt{b^2 - x^2}}. \quad (7)$$

Враховуючи (7), вираз (6) має вигляд

$$L = 4 \frac{\sqrt{a^2 - b^2}}{b} \int_0^b \sqrt{\frac{p^2 + x^2}{b^2 - x^2}} dx, \quad (8)$$

де

$$p = \frac{b}{\sqrt{a^2 - b^2}}.$$

Довжину еліпса можна визначити через загальний еліптичний інтеграл  $E = \kappa \frac{\pi}{2}$ ,

$$L = 4cE\left(k, \frac{\pi}{2}\right), \quad (9)$$

де  $c = \sqrt{p^2 + b^2} = \frac{ab}{\sqrt{a^2 - b^2}}$ ,  $\kappa = \frac{a}{c} = \frac{\sqrt{(a-b)(a+b)}}{b}$ .

З метою спрощення обчислень функцію  $E\left(k, \frac{\pi}{2}\right)$  доцільно розкласти у гіпергеометричний ряд

$$E\left(k, \frac{\pi}{2}\right) = \left[ 1 - \left(\frac{1}{2}\right)^2 k^2 - \left(\frac{1}{2} \cdot \frac{3}{4}\right)^2 \frac{k^4}{3} - \left(\frac{1}{2} \cdot \frac{3}{4} \cdot \frac{5}{6}\right)^2 \frac{k^6}{5} - \dots \right].$$

Якщо, наприклад, для корпусу обертової печі  $D_0 = 5000$  мм,  $\delta r(\varphi) = 10$  мм, то  $a = 2510$  м,  $b = 2490$  мм,  $L_{\text{ел}} = 15077,2$  мм.

Діаметр кола, що відповідає довжині еліпса,  $D_0 = 4999,75$  мм,  $\Delta D = 0,25$  мм.

Одержана точність, безумовно, відповідає вимогам.

1. Бурак К.Е. О контроле за состоянием подкранового пути РО АЭС // Геодезия и картография. – 1993. – №5. – С. 20 – 25. 2. Кузьо И.В., Шевченко Т.Г. Расчет и контроль установки агрегатов непрерывного производства. – Львов: Вища.шк., 1987. – 176 с. 3. Шевченко Т.Г. Геодезический контроль центровки главного судового двигателя. // Геодезия, картография и аэрофотосъемка. – 1991. – Вып. 53. – С. 100 – 104.