

ОСОБЛИВОСТІ ВИМІРЮВАННЯ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ВЕЛИКОГАБАРИТНОГО ОБЛАДНАННЯ ЦИЛІНДРИЧНОЇ ФОРМИ

© Т. Г. Шевченко, О.І. Мороз, 2004

Измерение геометрических параметров элементов крупногабаритного оборудования цилиндрической формы, а в частности их торцов необходимо для качественной сборки и эксплуатации оборудования. В качестве примеров рассмотрено измерение торцов корпусов вращающихся печей и элементов трубопроводов большого диаметра. Для вывода зависимостей, описывающих форму торца, использованы ряды Фурье.

The measuring of the geometric parameters of the cylindrical big-sized equipment elements, in particular their wooden paving-blok it is necessary for qualitative assembly and exploitation of this equipment. As an example it was examined measuring wooden paving-blok of the elements shell rotary kilns and of big-diameter pipelines. The dependences describe the shape wooden paving-blok were derived by means of Fourier series.

Постановка проблеми. Відобразити актуальність проблеми у назві статті досить складно. Вимірювання геометричних параметрів великогабаритного обладнання циліндричної форми доводиться виконувати на атомних електричних станціях, підприємствах, що продукують цемент та мінеральні добрива, хімічних та металургійних підприємствах, у суднобудуванні та літакобудуванні, під час монтажу трубопроводів, тощо. Обладнання, вузли та деталі агрегатів та машин підприємств перелічених галузей мають здебільшого циліндричну форму. Розміри обладнання стали на перешкоді використання традиційних способів та засобів контролю, вживаних у машинобудуванні, під час виготовлення та збирання обладнання. Наприклад, умовний діаметр фюзеляжу літака "Мрія" має близько восьми метрів; діаметри корпусів обертових печей сягають семи

метрів, а довжина 200 м; діаметр трубопроводу доходить до 1,5 м, а отвору ахтерштевня судна – 2,5 м; діаметр опорного кільця реактора АЕС близько шести метрів... цей перелік можна продовжувати.

Зв'язок із важливими науковими і практичними завданнями. Застосування спеціальних способів та засобів контролю, прийнятих у машинобудуванні під час виготовлення деталей та вузлів обладнання, у деяких випадках ще можливе [4], проте під час збирання або монтажу агрегатів та машин ці засоби не можуть бути використані. Для контролю якості збирання або монтажу великогабаритних агрегатів та машин зазвичай використовують способи та засоби інженерної геодезії.

Першочергово це стосується контролю взаємного розташування вузлів обладнання та прямолінійності їх осей [3,4]. Разом з тим вимірювання деяких параметрів, зокрема форми, а в першу чергу перетинів вузлів та деталей великогабаритного обладнання та машин, можна виконати тільки за допомогою способів та засобів інженерної геодезії, причому здебільшого нетрадиційних [2,3,6,7,8,9,10,12,14]. Під час монтажу трубопроводів, виготовлення фюзеляжів літаків, виготовлення та збирання монтажних блоків корпусів обертових печей одним із параметрів, що підлягає обов'язковому контролю, є форма їх торців. До цього параметру пред'являються досить жорсткі вимоги. Так, згідно СНІП II-45-75 не перпендикулярність торця елементу трубопроводу до його осі не повинна перевищувати 2 мм (точність вимірювання $\pm 0,3$ мм). Не перпендикулярність торцевої площини елементів корпусів обертових печей, зокрема монтажних блоків, до осі корпусу або блока не повинна перевищувати 2 мм, а відхилення від площини – 3 мм. Жорсткість вимог абсолютно зрозуміла, оскільки поодинокі монтажні елементи надалі повинні стикуватися один з одним.

Аналіз досліджень та публікацій, присвячених вирішенню цієї проблеми. Для контролю торців великогабаритних деталей та вузлів циліндричної форми запропоновані спеціальні способи та засоби інженерно-геодезичних вимірювань [2,7,11,12,14]. Принциповою відмінністю від традиційних рекомендацій [1] є пропозиції щодо використання бази вимірювань, якою слугує геометрична вісь циліндричного об'єкту [2,7,11]. Оскільки геометричною віссю об'єкту вимірювань є лінія, що з'єднує геометричні центри поперечних перетинів [3,5], запропоновані способи та засоби вимірювань є досконалими у розумінні досягнення ними високої точності. Вона забезпечена тим, що форму торців вимірюють відносно площин, які будують перпендикулярно до геометричної осі об'єкту. Для контролю торців елементів трубопроводу використовують зорову трубу автоколімаційного теодоліта, наприклад, 3Т2А. Після відшукування відомими способами [3,5] центрів поперечних перетинів поблизу кожного з торців в центрі одного з них встановлюють зорову трубу автоколімаційного теодоліта 3Т2А, а в центрі другого – марку. Площину марки разом із пристроєм визначення центра поперечного перетину автоколімаційним способом встановлюють перпендикулярно до геометричної осі елементу трубопроводу. Помінявши місцями трубу та марку, у такий же спосіб встановлюють перпендикулярно до геометричної осі другий поперечний перетин. Спеціальним пристроєм вимірюють форму та положення площин торців відносно геометричної осі елементу трубопроводу [2,11].

Невирішені частини загальної проблеми. Значно більші габаритні розміри корпусів обертових печей перешкоджають використанню автоколімаційних приладів для вимірювання форми торців елементів корпусів. Замість них застосовують точні теодоліти типу Т2, для яких визначають МЗ. Зорову трубу теодоліта встановлюють перпендикулярно до осі обертання прилада і до осі стійки, на якій встановлюють теодоліт і яка розташована в одному із поперечних перетинів близько торця. Візирна вісь зорової труби збігається з геометричним центром перетину. Стійку разом з теодолітом нахилиють у вертикальній площині так, щоб перехрестя сітки ниток зорової труби сумістилося з перехрестям марки, встановленої у центрі поперечного перетину поблизу другого торця. Після повороту аліади горизонтального круга на 90° колімаційна площина встановиться перпендикулярно до геометричної осі корпусу. У другому перетині того ж самого досягають, помінявши місцями теодоліт і марку.

Постановка завдання. На даний час не вироблено загального підходу до опису форм торців великогабаритного обладнання циліндричної форми. Способи та засоби визначення форми поперечних перетинів та форми торців згаданого великогабаритного обладнання досить близькі одне з другим. Тому підхід до опису та визначення форми торців обладнання повинен спиратися на загальні принципи математичного представлення форми і зокрема форми поперечних перетинів [13]. Форму торця визначають, вимірюючи віддалі від сліду колімаційної площини на корпусі до його краю. Вимірювання виконують по твірних корпусу, розташованих на необхідній, рівній віддалі одна від одної, яка відповідає деякому центральному куту, наприклад 15° . За результатами вимірів у разі необхідності будують графік відхилень (див.рис. 3 а,б).

Неперпендикулярність та форму торця можна представити у вигляді складових відхилень осі O_1-O_1 (рис.1) площини торця (площини стикування) від геометричної осі OO на кут α , а також як відхилення площини стикування від площини, нормальної до осі O_1-O_1 . Для визначення форми торця можна використати методи теорії ймовірності, наприклад, на основі закону великих чисел або розрахунково-аналітичний метод, що ґрунтується на реальному зв'язку похибки із її чинником, у даному випадку технологічно-виробничим. Неperпендикулярність та відхилення від площини торця виробу доцільно розглядати як неперервну функцію від деякого геометричного параметра (у даному випадку – кута) і тому її можна вважати функціональною похибкою. Якщо перейти від конкретного об'єкта до їх сукупності, основне значення будуть мати невизначені функціональні похибки, які на відміну від визначених похибок за тих же аналітичних виразів замість коефіцієнтів мають змінні параметри. З метою виділення окремих складових технологічних похибок їх доцільно представити у вигляді розкладу у тригонометричний ряд Фур'є. Застосування такого розкладу так само, як і для визначення форми поперечних перетинів [13], цілком виправдано з огляду на випадковість відхилень та замкненість контурів, що досліджуються. Опис методу, позначення та їх тлумачення докладно подані у роботі [13], тому доцільно одразу перейти до конкретного випадку його застосування.

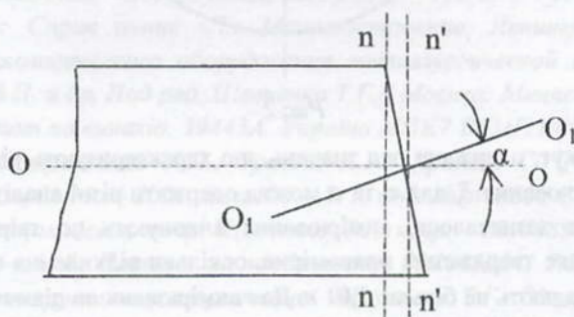


Рис.1

Стосовно торців циліндричного об'єкта геометрична інтерпретація перших членів тригонометричного ряду Фур'є така. Нульовий член ряду Фур'є $\frac{\varphi_0}{2}$ [13] характеризує положення площини $n-n$, перпендикулярної до геометричної осі $O-O$ в початковий момент вимірювань відносно площини $n'-n'$; α – кутове відхилення площини стикування.

Перша гармоніка ряду Фур'є $A_1 \cos(\varphi + \varphi_1)$ характеризує величину і напрямок розвороту площини стикування монтажного елемента. З метою пояснення слід розглянути перетин, перпендикулярний до осі $O-O$ (рис.2). Координати точки A у полярній системі $r = r_A$ і $\varphi = 0$ визначають початковий момент вимірювань. (Як і в [13] r – біжучий радіус перетину). Точка C належить площині, яка проходить через радіус OC ($r = r_c$) нормально до площини $n-n$ і якій належить кут α . Положення точки B ($r = r_B, \varphi$) відповідає біжучому виміру. Можна записати

$$\varphi' = \varphi + \varphi_0, \quad (1)$$

де φ – кутова координата площини, яка містить кут α .

Похибка торця δ_y змінюється за біжучим радіусом r нормально до площини $n-n$.

$$\delta_y = r \cdot \operatorname{tg} \alpha_1, \quad (2)$$

або

$$\delta_y = r \cdot \operatorname{tg} \alpha \cdot \cos(\varphi + \varphi_0). \quad (3)$$

Якщо площина стикування була б рівною площиною, тобто не мала б відхилень, вона утворила б з віссю $O-O$ кут α . Із співвідношення (3) зрозуміло, що перша гармоніка ряду Фур'є характеризує положення розвороту об'єкта φ_0 і величину кутового відхилення α .

$$\delta_y = A_1 \cos(\varphi + \varphi_0), \quad (4)$$

де $A_1 = r \operatorname{tg} \alpha$, а $\alpha = \arctg \frac{A_1}{r}$.

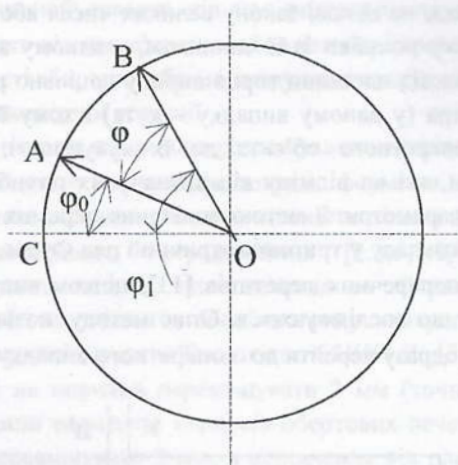


Рис.2

Виключаючи похибку за кут, одержано ряд значень, що характеризують відхилення торця від площини. В залежності від способу вимірювання δ_y для кута α можна одержати різні аналітичні вирази. Найчастіше, так і в нашому випадку, як вже зазначалося, вимірювання виконують по твірних циліндричного об'єкта. Приймається, що $r = \text{const}$. Таке твердження правомірне, оскільки відхилення форми поперечного перетину [3,13] відносно величини r складають не більше 0,01 r . Для вимірювань по діаметрально протилежних твірних $\varphi' = 0$, а $\delta_y = r \cdot \operatorname{tg} \alpha$.

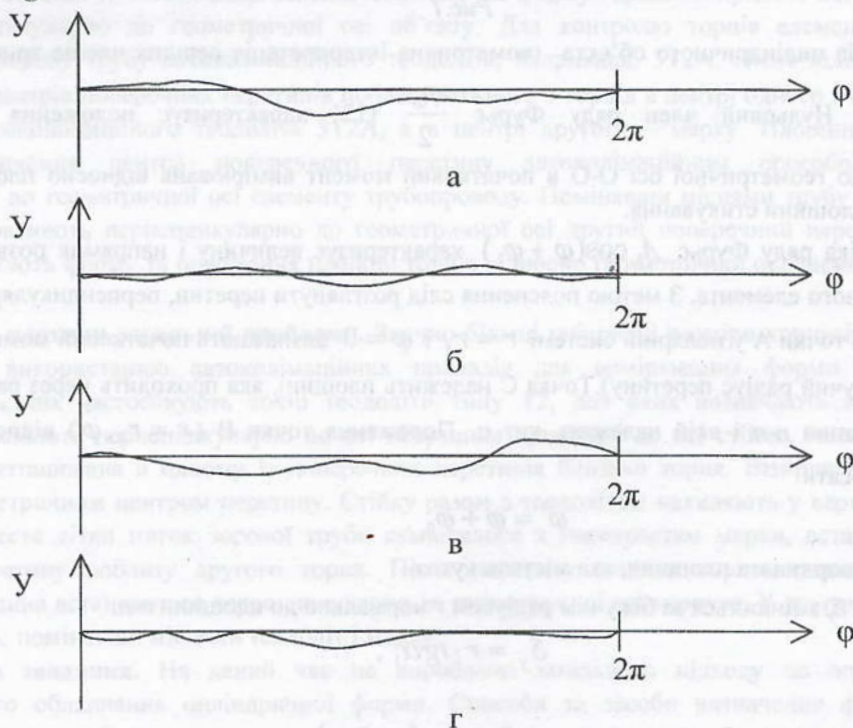


Рис.3

Висновки

Відхилення площини замкнутого контуру з відомим законом зміни $r = f(\varphi)$, наприклад, для фіюзеляжу літака, дає можливість скласти рівняння з α у неявній формі

$$\delta_y = r(\varphi)tg\alpha \cdot \cos(\varphi + \varphi_0). \quad (5)$$

Розв'язком рівняння (5) відносно α є вираз, що залежить від способу вимірювання відхилень від площини, тобто від $r = f(\varphi)$.

Визначивши першу гармоніку ряду Фур'є, відшуковують другу складову відхилень від площини як різницю безпосередніх вимірювань та похибками, обчисленими за залежністю (4).

На рис. 3 а,б наведено результати вимірювань торців монтажного блоку корпусу обертової печі у вигляді розгортки. На рис 3 в,г наведено трансформовані результати вимірювань після виключення значень за залежністю (4) для кожного з торців відповідно (графікам рис.3 а,б відповідають перетворені рис. 3 в,г).

1. Відуєв М.Г., Гржибовський В.П., Ракитов Д.І. Застосування геодезії в машинобудуванні. -Київ: Техніка, 1968.-192 с. 2. А.С. №1702169 СССР, МКИ G01B 7/28. Индуктивно-оптическое устройство для контроля геометрических параметров элементов трубопровода/ Шевченко Т.Г. - №4739457/28; Заявл. 14.08.1989; Опубл.30.12.1991; Бюл.№48.- с.5. 3. Кузьо И.В., Шевченко Т.Г. Расчет и контроль установки агрегатов непрерывного производства. -Львов: Вища шк., 1987. - 176 с. 4. Рубинов А.Д. Контроль больших размеров в машиностроении: Справ очник -Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1982.-120 с. 5. Руководство по выверке технологического оборудования металлургической промышленности/ Шевченко Т.Г., Хропот С.Г., Пивоваров В.П. и др. Под ред. Шевченко Т.Г.// Москва: Министерство металлургии СССР, 1991.-214 с. 6. Деклараційний пат на винахід. 39443А. Україна МПК7 B63H21/00. Спосіб базування головного двигуна судна/ Мороз О.І., Островський А.Л., Третяк К.Р., Хропот С.Г., Шевченко Т.Г.(Україна).-№ 200084718; Заявл.08.08.2000; Опубл.15.06.2001, Бюл.№5.- с. 7. А.С. №1418555 СССР, МКИ F27D7/22. Спосіб діагностування корпусу вращающейся печи/ Шевченко Т.Г. и др. - № 4189916/29-33; Заявл. 06.02.1987; Опубл. 23.08.1988, Бюл. №31.-с.4. 8. Патент на изобретение №2013284. РФ, МКИ В 63H21/00. Спосіб регулювання положення монтируемого ахтерштевня/ Шевченко Т.Г. (Украина).- №4884939/11/113531; Заявл. 26.11.1990; Опубл. 30.05.1994, Бюл. №10.-с. 9. А.С. №1280306 СССР, МКИ G01B 7/12. Устройство для определения геометрического центра сечения корпуса вращающейся печи/ Шевченко Т.Г. и др. - №3846018/25-28; Заявл. 17.01.1985; Опубл. 30.12.1986; Бюл. № 48.-с.3. 10. Шевченко Т.Г. Геодезический контроль центровки главного судового двигателя//Геодезия, картография и аэрофотосъемка. - 1991.- №53.- С.100-104. 11. Шевченко Т.Г. Инженерно-геодезический контроль геометрических параметров элементов трубопровода большого диаметра// Геодезия, картография и аэрофотосъемка.-1992.-№54.-с.66-72. 12. Шевченко Т.Г. Інженерно-геодезичні виміри об'єктів циліндричної форми// Геоінформаційний моніторинг навколишнього середовища -GPS і GIS-технології: Зб. Шостого наук-техн.симпоз.-Алушта-Львів.-2001.-с.29-32. 13. Шевченко Т.Г. Про необхідність врахування форми об'єктів інженерно-геодезичних вимірів//Геодезія, картографія і аерофотознімання.-2001.-№61.- с.132-138. 14. Шевченко Т., Хропот С. Інженерно-геодезичний контроль геометричних параметрів великогабаритного обладнання циліндричної форми//Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва: Зб.наук.пр.-Львів:Ліга-Прес.-2000.-с.142-143.