

*В.М. ГАЛАЙ*, канд. техн. наук, ПНТУ

## МЕТОД ОПТИКО-КООРДИНАТНОГО ВИМІРЮВАННЯ ГЕОМЕТРИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТРУБ

В статті пропонується метод безконтактного вимірювання діаметрів труб шляхом координатного аналізу оптичних зображень їх торців і визначення, на базі інформації про діаметри, інших геометричних характеристик: овальності, конусності, наявності сколів.

In the article the method of the non-contact measuring of diameters of pipes is offered by the coordinate analysis of optical images of their sides and determination, on the base of information about diameters, other geometrical descriptions.

**Вступ.** Є галузі промислового виробництва, де ставляться досить жорсткі вимоги до геометричних характеристик труб: діаметрів, овальності, конусності [1,2]. Так, в світлотехнічній галузі із полікорових труб виготовляють пальники для газорозрядних джерел світла типів ДНАТ, ДНАС [3]. В натрійових лампах на умови запалювання розряду суттєво впливає тиск парів натрія в пальнику, який залежить від об'єму газорозрядного простору, що в свою чергу, визначається внутрішніми діаметром, овальністю, конусністю цього пальника. Тому для запобігання браку ламп здійснюється перед їх виготовленням контроль геометричних характеристик труб і вибраковка тих, що не відповідають допускам стандарту.

**Аналіз стану питання.** Для автоматизації технологічного процесу вибраковки відомі пристрої непрямого контролю, наприклад, основані на вимірюванні маси, зовнішнього діаметра і довжини труби[4]. За цими вимірами з урахуванням щільності матеріалу, із якого вона виготовлена, розраховується внутрішній діаметр. Але цей пристрій не отримав практичного використання в умовах виробництва неметалевих труб з причин недостатньої точності контролю, визваних такими факторами як овальність, різностінність, об'ємна неоднорідність матеріалу. Тому контроль геометричних характеристик неметалічних труб в умовах виробництва здійснюється за допомогою штангенциркуля, спеціальних калібрів, шупів [5].

**Мета досліджень.** Розробка метода безконтактного контролю значень діаметрів протилежних торців труби для використання цієї інформації при розрахунках геометричних характеристик і класифікації труб за допусками стандарту.

**Основні матеріали.** Метод полягає в аналізі системою технічного зору (СТЗ) оптичного зображення торця досліджуваної труби. Це зображення має вигляд кола і сканується телекамерою. З виходу ПЗС – датчика телекамери сигнал після підсилення поступає через інтерфейс на вхід мікроконтролера. Зображення досліджується в декартовій системі координат  $XOY$  (рис. 1), де строчки сканування паралельні осі  $OX$ .

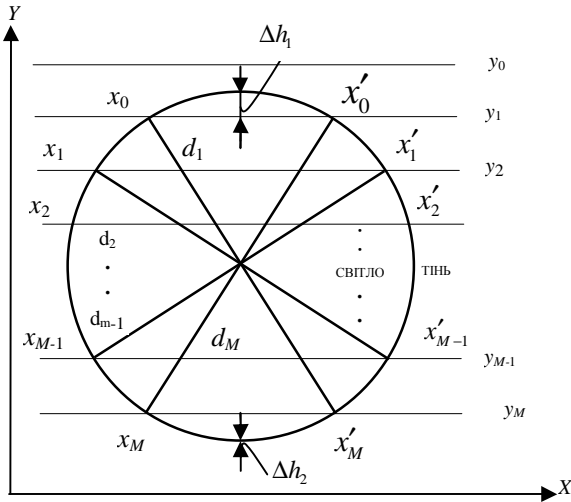


Рис. 1. Зображення торця труби

Кожна  $n$ -а строчка сканування перетинає вимірюване коло в двох точках з координатами  $(x_n, y_n)$  і  $(x'_n, y'_n)$ . Після сканування всього кола в мікроконтролері формується масив даних  $M$ , які являються вихідними для розрахування діаметра:

$$M = \left\{ \begin{array}{cccccc} y_0 & y_1 & y_2 & \dots & y_{M-1} & y_M \\ x_0 & x_1 & x_2 & \dots & x_{M-1} & x_M \\ x'_0 & x'_1 & x'_2 & \dots & x'_{M-1} & x'_M \end{array} \right\}. \quad (1)$$

Діаметрально протилежними точками є пари точок з координатами  $(x_n, y_n)$  і  $(x'_{M-n}, y_{M-n})$ , де  $n$  змінюється від 0 до  $M$ . Масив діаметрів

$$D = \{d_0, d_1, \dots, d_{M-1}, d_M\} \quad (2)$$

або

$$D = \{d_n\},$$

де  $n = \overline{0, M}$  отримується шляхом визначення евклідової відстані між цими точками за формулою

$$d_n = \sqrt{(x'_{M-n} - x_n)^2 + (y_M - y_{M-n})^2}. \quad (3)$$

При розміщенні кола симетрично відносно строчок сканування (при рівності  $\Delta h_1 = \Delta h_2$ ,  $\Delta h_1$  і  $\Delta h_2$  - висоти верхнього і нижнього сегментів) виконуються в силу симетрії наступні рівності:

$$x_n = x_{M-n}; \quad x'_n = x'_{M-n},$$

а строки сканування, що відповідають індексам  $n$  і  $M-n$ , є симетричними відносно центра кола. Тоді формула (2) переписується в наступному вигляді

$$d_n = \sqrt{(x'_n - x_n)^2 + (y_{M-n} - y_n)^2}. \quad (4)$$

Якщо врахувати, що  $x'_n - x_n = l_n$  – довжина  $n$ -ої хорди, утвореної перетином  $n$ -ої строчки сканування з вимірюваним колом, а  $y_{M-n} - y_n = \Delta y_n$  – відстають між хордами, симетричними відносно центра, то розрахунок діаметра кола зводиться до вимірювання довжини хорд і визначення відстані між ними.

При оцінюванні помилок, що виникають в результаті використання даного методу, виявилось, що при вимірюванні хорд, утворених на початку і в кінці сканування зображення кола, помилки оцінок діаметрів мають максимальні значення. Для підвищення точності оцінок доцільно ці хорди не враховувати. Але тоді верхня і нижня частини кола залишаються не дослідженими. Тому даним методом передбачено два етапи вимірювання діаметра.

Розглянемо дві взаємно перпендикулярні лінії  $l$  і  $p$  (рис. 2), розміщені під кутами  $+45^\circ$  і  $-45^\circ$  до осі  $OX$  і строчок сканування. Якщо точка  $O$  перетину цих ліній співпадає з центром кола, то вони ділять це коло на чотири рівновеликих частини – дуги  $AB$ ,  $BC$ ,  $CD$  і  $DA$ . Позначимо ординати точок  $A$  і  $B$  через  $y_k$ , а ординати точок  $C$  і  $D$  через  $y_m$ .

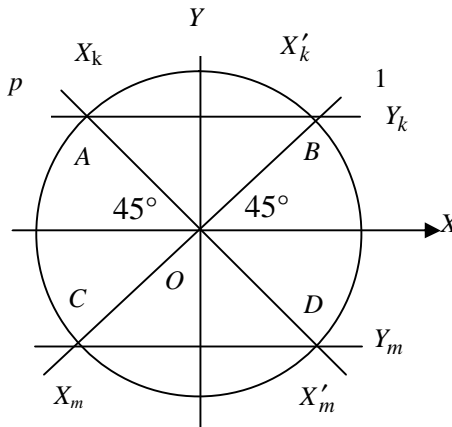


Рис. 2. Сканування зображення в два етапи

На першому етапі вимірювань досліджується частина кола, що складається із дуг  $BC$  і  $DA$ : враховуються тільки хорди в інтервалі

$$y_n \in [y_k, y_m].$$

На другому етапі вимірювань аналогічно досліджується частина кола, що складається із дуг АВ і CD. При цьому вимірювана труба попередньо обертається на кут  $90^\circ$  або на  $90^\circ$  змінюється кут сканування.

На обох етапах вимірювань  $y_k$  і  $y_m$  визначаються за формулами:

$$y_k = y_0 - \frac{2 - \sqrt{2}}{4} (y_0 - y_M), \quad (5)$$

$$y_m = y_0 - \frac{2 + \sqrt{2}}{4} (y_0 - y_M). \quad (6)$$

Так як усі  $y_n$  в інтервалі  $[y_0, y_M]$  приймають дискретні значення, то величини  $y_k, y_m$  необхідно округлити до найближчих дискретних значень  $y_k^{\text{Д}}$  і  $y_m^{\text{Д}}$  відповідно умові:

$$y_k^{\text{Д}} > y_k, y_m^{\text{Д}} < y_m. \quad (7)$$

Виконання умови (7) необхідне для перекриття вимірюваних частин кола на першому і другому етапах. Після першого етапу вимірювань отримується масив діаметрів

$$D_1 = \{d_k, d_{k+1}, \dots, d_{m-1}, d_m\}, \quad (8)$$

що складається із  $(m - k + 1)$  вимірів  $d_n$  діаметра досліджуваного кола. Масив (8) отримується із масиву (3) в результаті відкидання його перших  $K$  і останніх  $(M - m)$  елементів. Аналогічно після другого етапу:

$$D_2 = \{d_k, d_{k+1}, \dots, d_{m'-1}, d_{m'}\}. \quad (9)$$

Таким чином в результаті здійснення повного циклу вимірювань отримується матриця діаметрів одного торця

$$D = \{d_k, \dots, d_m, d_{k'} + d_{m'}\}, \quad (10)$$

що складається із

$$N = (m - K) + (m' - k') + 2$$

відліків діаметрів досліджуваної труби. За цими даними визначають геометричні характеристики труби, що передбачені стандартом на допуски. Так, середнє значення діаметра оцінюється за формулою (11):

$$\bar{D} = (d_k + \dots + d_m + d_{k'} + \dots + d_{m'}) / N, \quad (11)$$

а середньо-квадратична похибка оцінки діаметра – за формулою (12):

$$\Delta \bar{D} = \sqrt{\frac{(\Delta d_k^2 + \dots + \Delta d_m^2 + \Delta d_{k'}^2 + \dots + \Delta d_{m'}^2)}{(N - 1)}}, \quad (12)$$

де  $\Delta d_n = |\bar{D} - d_n|, n = k, m'$ .

Аналогічно вимірюються діаметри з іншого кінця труби після її повороту.

Експериментальна перевірка методу здійснювалася на дослідній установці шляхом вимірювання внутрішнього діаметра полікорових труб, що використовуються для виготовлення пальників газорозрядних ламп. Випромінювання світлодіода через лінзу і стекловолоконний світловод подавалося на вхід труби. Вимірювання величин  $x_n$  і  $x'_n$  виконувалося за допомогою фотодавача, сигнали якого після підсилення поступали на осцилограф, з екрану якого знімалися виміри. Переміщення труби вдовж координатної осі ОУ здійснювалося за допомогою мікрометричного гвинта з кроком 0,3 мм. Величини  $d_n$  масиву діаметрів знаходилися за формулою (2) для значень  $y_n$  від  $y_k$  до  $y_m$  на першому етапі вимірювань і  $y'_k$  до  $y'_m$  на другому етапі, які в свою чергу розраховувалося за формулами (5), (6).

Результати вимірювань (табл. 1) діаметрів  $d_n$  і їх абсолютних похибок  $\Delta d_n$  показують, що діаметр досліджуваної труби  $\bar{D} = 7,47 \pm 0,05$  мм, а розсіювання його значень не підлягає детермінованій закономірності і має випадковий характер, який можна пояснити наявністю сколів матеріала на кінці труби, шумами та іншими перешкодами у вимірювальному каналі.

Табл. 1. Результати вимірювань координат і розрахунку діаметрів

$n$	$y_n$ , мм	$x_n$ , мм	$x'_n$ , мм	$d_n$ , мм	$\Delta d_n$ , мм
1	6,2	2,30	7,75	7,45	0,03
2	6,5	2,05	8,00	7,42	0,06
3	6,8	1,90	8,20	7,40	0,08
4	7,1	1,60	8,35	7,51	0,03
5	7,4	1,50	8,45	7,45	0,03
6	7,7	1,35	8,55	7,40	0,08
7	8,0	1,30	8,65	7,45	0,03
8	8,3	1,25	8,75	7,50	0,02
9	8,6	1,20	8,75	7,55	0,07
10	8,9	1,25	8,75	7,50	0,02
11	9,2	1,25	8,65	7,55	0,07
12	9,5	1,30	8,65	7,50	0,02
13	9,8	1,45	8,50	7,52	0,04
14	10,1	1,60	8,45	7,45	0,03
15	10,4	1,65	8,35	7,60	0,12
16	10,7	1,80	8,15	7,50	0,02
17	11,0	2,05	8,00	7,46	0,02
18	11,3	2,25	7,75	7,50	0,02
19	5,2	1,30	6,80	7,45	0,02
20	5,5	1,05	7,00	7,42	0,02
21	5,8	0,80	7,20	7,46	0,01

22	6,1	0,55	7,30	7,58	0,11
23	6,4	0,50	7,45	7,45	0,02
24	6,7	0,40	7,60	7,43	0,04
25	7,0	0,35	7,65	7,40	0,07
26	7,3	0,25	7,75	7,52	0,05
27	7,6	0,20	7,75	7,55	0,08
28	7,9	0,25	7,75	7,54	0,07
29	8,2	0,25	7,65	7,56	0,09
30	8,5	0,30	7,60	7,51	0,04
31	8,8	0,45	7,50	7,45	0,02
32	9,1	0,65	7,35	7,40	0,07
33	9,4	0,65	7,35	7,40	0,07
34	9,7	0,80	7,15	7,45	0,02
35	10	1,05	6,95	7,46	0,01
36	10,3	1,25	6,75	7,40	0,07

За отриманою інформацією про діаметри труб легко визначаються інші геометричні характеристики, наприклад, овальність – через різницю максимального і мінімального діаметрів на торці труби або конусність - через різницю максимального і мінімального діаметрів протилежних торців труби. Необхідно відмітити, що для визначення геометричних характеристик нами розроблені різної складності алгоритми, що відрізняються швидкістю і точністю оцінок.

**Висновки.** Розроблений метод оснований на аналізі координат діаметрів оптичних зображень торців труб дозволяє з достатньою точністю вимірювати геометричні характеристики сітлових, скляних, полікорових ті інших труб, до характеристик яких, як до елементів складніших виробів, ставляться досить жорсткі вимоги.

**Список літератури:** 1. Гейн А.Л., Девятьяров В.П. Прибор контроля геометрических параметров ампул // Механизация и автоматизация производства.-1991.-№8. –С.7. 2. Галай В.М., Сільвестров А.М., Шефер О.В. Ноніусна адаптивна високоточна система стабілізації стохастичних технологічних процесів // Системні дослідження та інформаційні технології.-2003.-№1. – С.135-142. 3. Рохлин Г.Н. Разрядные источники света. -2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат., 1991. – –710с. 4. Nitran D., Barroit C., Cheeseman P. Use of sensors in robot systems // Proc. Intern. Conf. on advanced Robotics, Tokyo,12-13 September 1983. – P. 123-132. 5. Комплект технологической документации на типовой технологический процесс изготовления трубок керамических. –М.: Министерство электротехнической промышленности , 1987. – 108с.

*Поступила в редколлегию 13.11. 2008 г.*