

wiarygodność danych pozyskiwanych w oparciu o Małopolski System Pozycjonowania Satelitarnego (MSPS). System ten stał się początkiem budowy wielofunkcyjnego systemu precyzyjnego pozycjonowania satelitarnego ASG/EUPOS, który obejmie swoim zasięgiem całą Polskę, a jego uruchomienie przewidziane jest na początek roku 2008.

1. Antosiewicz Maciej 2007. Sieć nie tylko dla Małopolski. Geodeta Nawi luty 2007 Warszawa. 2. Januszewski Jacek Systemy satelitarne GPS, Galileo i inne PWN Warszawa. 3. Śledziński Janusz 2005 Alfabet GPS. Miesięcznik Nawi 1(3), 2(4), 5(7) Warszawa. 4. Siejka Zbigniew 2005. Dokładność wyznaczenia współrzędnych punktów geodezyjnych nawiązywanych do systemu stacji referencyjnych ASG-PL w aspekcie badań empirycznych. I Ogólnopolska Konferencja Naukowo-Techniczna Rzeszów - Polańczyk 2005.

Artykuł recenzowany przez: dr hab. inż. Urszulę Litwin

УДК 528.498

І.В.Кузьо, Т.Г.Шевченко, О.І.Мороз, О.Д.Кубрак
Національний університет “Львівська політехніка”

КОНТРОЛЬ ПОЛОЖЕННЯ ОПОРНИХ РОЛИКІВ ОБЕРТОВОЇ ПЕЧІ ЕЛЕКТРОННИМИ ТАХЕОМЕТРАМИ

© Кузьо І.В., Шевченко Т.Г., Мороз О.І., Кубрак О.Д.

Розвиток сучасної техніки створив передумови створення досконалих способів визначення геометричних параметрів великогабаритних оберткових печей. Пропонується спосіб контролю положення опорних роликів оберткових печей електронними тахеометрами. Показано, що використання електронних тахеометрів дає можливість підвищити ефективність експлуатації такого обладнання.

The development of modern technique has led to the improved methods for the determination of geometric parameters of the big-sized rotary kilns. There is method the measuring of the rotary kilns rollers by total station. It is shown, that use total station allow provide effective operation of this equipment.

Постановка проблеми. Останнім часом промисловість нашої держави має скерування на впровадження і удосконалення енерго- та ресурсощадних технологій. Це потребує жорсткого дотримання вимог до точності встановлення великогабаритних металомістких агрегатів таких як, наприклад, оберткові печі. Головними умовами безаварійної та енергозберігаючої експлуатації оберткових печей є прямолінійність осі обертання печі та правильність розташування опорних роликів [1,2,4,5,6].

Допуски на встановлення оберткових печей призначають, виходячи з міцності та технічних можливостей її деталей та вузлів, а також можливостей виготовлення їх. Діаметри корпусів оберткових печей сягають 7 м., довжина може перевищувати 200 м., а діаметри опорних роликів – 1, 5...2 м. Допустимі відхилення осі обертання печі від прямолінійності ± 3 мм, а непаралельність осей опорних роликів плановій проекції осі обертання ± 2 мм [4,5,6]. Досягнення необхідної точності встановлення вузлів оберткових печей згідно з вимогами з огляду на їхні габаритні розміри пов'язано з певними труднощами.

Зв'язок із важливими науковими й практичними завданнями. Дотримання вимог точності встановлення великогабаритного обладнання дає можливість підвищити його працездатність і надійність, подовжити міжремонтні періоди. Контроль встановлення обладнання сучасними електронними приладами дає можливість підвищити оперативність прийняття рішень щодо регулювань та експлуатації обладнання.

Аналіз останніх досліджень та публікацій, присвячених вирішенню цієї проблеми. Під час встановлення великогабаритного обладнання, зокрема обертових печей, звичайно застосовують створні вимірювання, які рекомендовані у поширених методиках контролю [2,3,4], а також у методиках офіційних документів [5,6]. За рекомендаціями згаданих методик положення опорних роликів обертової печі визначають, вимірюючи відстані від поверхні роликів, до створу рейками [5,6], прокомпарованими лінійками [2,4,7,8], або рухомими марками [1,5]. Останнім часом з'явилися публікації щодо використання електронних тахеометрів для контролю встановлення обертових печей [9,10], проте в них описані окремі випадки контролю положення опорних роликів.

Невирішені частині загальної проблеми. Дотепер контроль розташування вузлів обертових печей рекомендується виконувати оптично-механічними засобами вимірювань. Застосування електронної геодезичної техніки дасть можливість виконувати вимірювання із необхідною точністю і значно оперативніше.

Постановка завдання. Метою дослідження є розроблення способів контролю положення опорних роликів обертової печі електронними тахеометрами.

Виклад основного матеріалу. Положення осей опорних роликів у плані визначають відносно створу або створів, які в ідеальному випадку мали би бути паралельні плановій проекції осі обертання печі, а як звичайно паралельні прямій, що з'єднує дві точки планової проекції осі. Цю лінію рекомендується закріплювати на опорах. Віддалі від неї до осей опорних роликів у перерізі опорного вузла (рис. 1) можна визначити згідно із залежностями

$$B_{i\Pi} = \sqrt{\left(\frac{D_i + d_{i\Pi}}{2}\right)^2 - (H_i - h_{i\Pi})^2} - \frac{K_i}{2\operatorname{tg}\beta'}; \quad (1)$$

$$B_{i\text{Л}} = \sqrt{\left(\frac{D_i + d_{i\text{Л}}}{2}\right)^2 - (H_i - h_{i\text{Л}})^2} - \frac{K_i}{2\operatorname{tg}\beta''}, \quad (2)$$

де D_i - діаметр бандажа; $d_{i\Pi}$ та $d_{i\text{Л}}$ - діаметри правого і лівого ролика відповідно; H_i - віддалі від осі обертання печі до площини опираючих роликів; $h_{i\Pi}$ і $h_{i\text{Л}}$ - висоти осей опорних роликів від площини опираючих корпусів підшипників правої та лівої роликів відповідно; K_i - підбандажний зазор (для печей із вільною насадкою бандажа на корпусі); β' - права частина кута опираючого бандажа; β'' - ліва частина кута опираючого бандажа.

Залежності (1) і (2) застосовують у випадках, коли відомі значення H_i та h_i . У загальному випадку для визначення $B_{i\Pi}$ та $B_{i\text{Л}}$ доцільніше і практичніше використовувати такі залежності [2]

$$B_{i\Pi} = \frac{L_i}{2} + \frac{d_{i\Pi}^2 - d_{i\text{Л}}^2 + 2D_i(d_{i\Pi} - d_{i\text{Л}})}{8L_i}, \quad (3)$$

$$B_{iЛ} = \frac{L_i}{2} + \frac{d_{iЛ}^2 - d_{iП}^2 + 2D_i(d_{iЛ} - d_{iП})}{8L_i}, \quad (4)$$

де L_i - віддаль між осями роликів. Літера "П" стосується елементів конструкції, деталей та вузлів, що розташовані праворуч від осі обертання печі; "Л" – тих самих об'єктів, що розташовані ліворуч від осі обертання печі відносно напрямку руху обпалюваного матеріалу у печі.

Сучасними вимірювальними засобами, наприклад, електронними тахеометрами серій GTS-230, GTS-720 (Торсон, Японія), серії TPS 1200, TC 2002 (Leica, Швейцарія) можна виконати такі самі інженерно-геодезичні вимірювання для визначення положення опорних роликів з точністю до 1 мм безконтактним способом. Точність побудови створу названими електронними тахеометрами така сама і вища від точності побудови створів точними оптичними теодолітами, які рекомендовані для цієї мети згаданими методиками. Програмне забезпечення електронних тахеометрів дає можливість розв'язувати інженерно-геодезичні задачі, не вдаючись до залучення для цього будь-яких інших засобів вимірювань.

У роботах [9] і [10] розглянуто окремі випадки визначення положення опорних роликів обертової печі електронними тахеометрами. Звичайно на практиці обидва випадки поєднуються, тому доцільно вдатися до розгляду саме такої ситуації.

Прийнято, що номери опор обертової печі 1... n (1...4 на рис. 2) зростають за напрямком руху обпалюваного матеріалу у печі, тобто від її холодного до гарячого кінця. Розміри, позначені штрихами, відносяться до сторін деталей, розташованих до гарячого кінця печі. Під час роботи агрегату опорні ролики досить інтенсивно зношуються, тому на момент вимірювань їхні діаметри, а також віддаль між осями роликів можуть істотно відрізнятись від таких, які були виміряні під час попередньої перевірки печі. Крім того проекція осі обертання печі на опорах також може бути не закріплена. У такому випадку на n -ій опорі, наприклад, з гарячого кінця печі будь-якими доступними способами вимірюють діаметри опорних роликів $d'_{nП}$, $d'_{nЛ}$, віддаль між їхніми осями L'_n , а також діаметр бандажа D_n , або, у крайньому випадку, використовують результати вимірювань попередньої перевірки. Згідно із залежностями (3) і (4) обчислюють $B'_{nП}$ і $B'_{nЛ}$. На опорі позначають проекцію осі обертання печі на основі обчислених $B'_{nП}$ і $B'_{nЛ}$, вимірюючи віддалі, наприклад, від твірних роликів. Від позначеної проекції осі обертання по можливості перпендикулярно до неї відкладають, наприклад, за правий ролик відрізок S'_n такої довжини, щоб з його кінця була видимість уздовж всієї печі. Такі самі дії і за таких самих умов виконують на першій опорі з холодного кінця печі (відкладають за правий ролик відрізок S_1 ($S_1 = S'_n$)), а також з лівого боку печі. Якщо видимість уздовж печі з одного боку перекривається приводом печі, проекцію створа намічають, наприклад, на редукторі, використовуючи будь-яку з опор, яка розташована якнайдалі від однієї із крайніх. Крім того, з кінця відрізка S'_n на n -ій опорі (S_1 на першій опорі) із встановленого над ним електронного тахеометра має бути пряма видимість на кінці горизонтальних діаметрів торців роликів з гарячого кінця печі або, принаймні, на їхні праві сторони. Точку N приймають за одну з кінцевих точок проекції створу NM_2 , (точка M_2 – інша кінцева точка проекції створу, побудована на першій опорі за тими самими вимогами). N_1M_1 – така сама проекція створу з лівого боку печі.

Віддаль від планової проекції осі обертання до точок N і N_1 звичайно буде неоднаковою. Проте, лінія NN_1 повинна бути перпендикулярною до планової проекції осі обертання, принаймні, відхилення від перпендикулярності мають бути мінімальними. Цього можна досягти, побудувавши лінію NN_1 паралельно до будь-якої лінії, що може бути приблизно перпендикулярною до планової проекції осі обертання печі, наприклад, навіть краю рами опорних роликів, або площини їхніх торців.

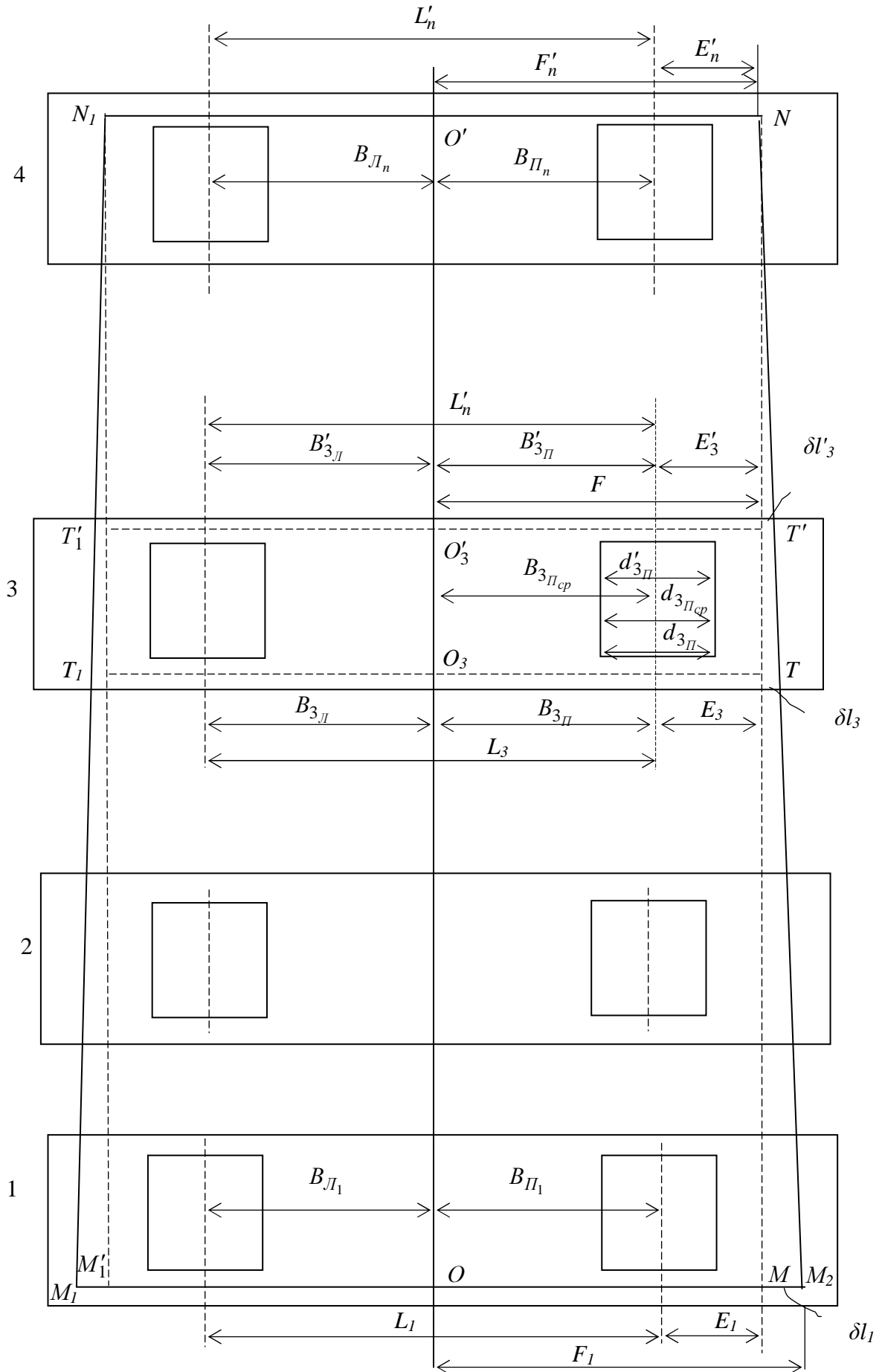


Рис. 2. Схема визначення положення опорних роликів

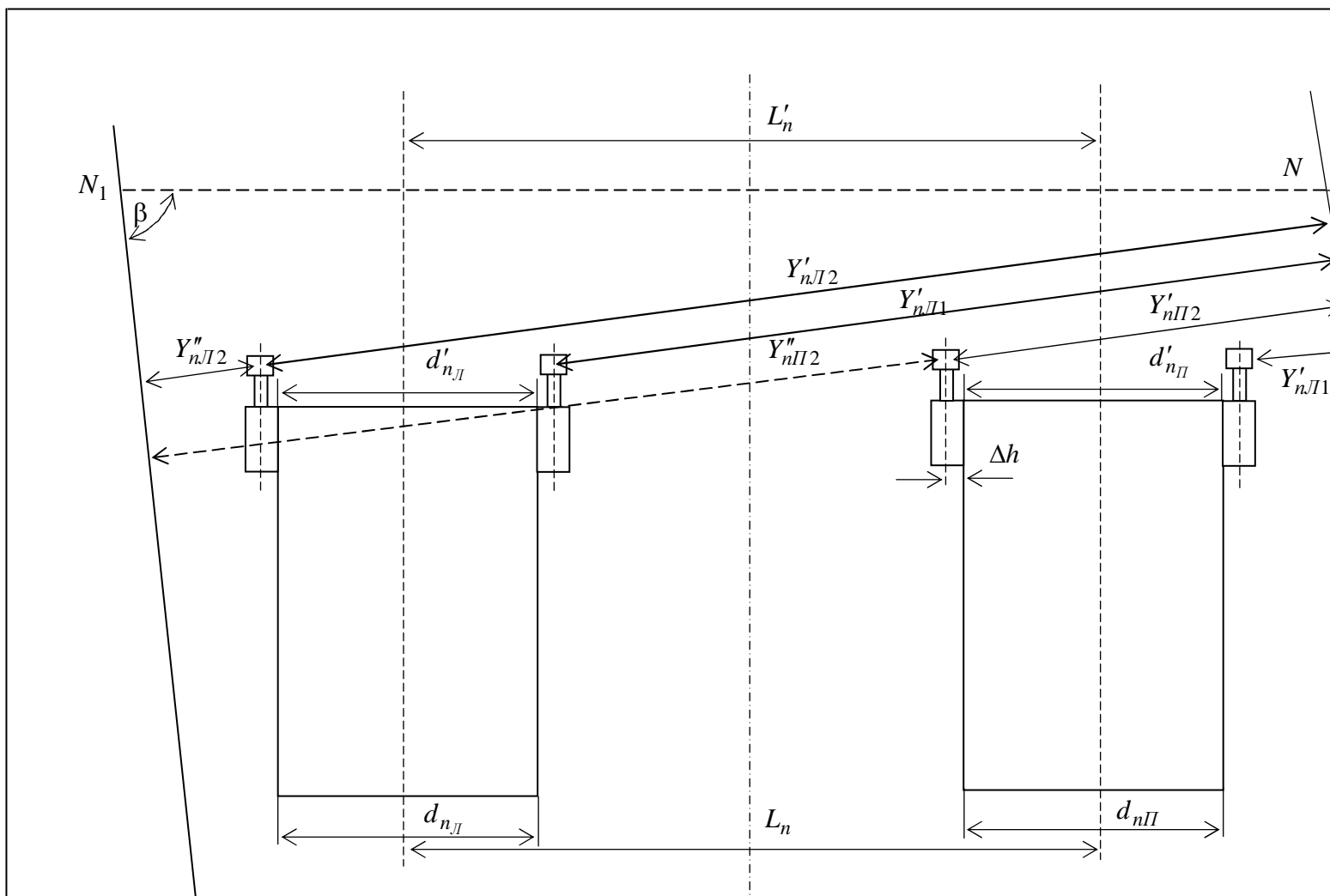


Рис. 3. Схема вимірювання діаметрів роликів

Електронний тахеометр встановлюють, наприклад, у точці N . У місцях розташування горизонтальних діаметрів роликів встановлюють пристрій для закріплення відбивача так, щоб у площині цих діаметрів розташувався центр відбивача. Віддаль від торця ролика до центра відбивача стала. Пристрій з відбивачем приставляють до правого боку зовнішньої поверхні правого ролика. Тахеометр орієнтують на точку M_2 , визначають горизонтальне прокладення NM_2 , потім наводять на відбивач і визначають координати X'_{nII1} і Y'_{nII1} (рис. 3). Напрямок створу NM_2 приймають за вісь OX . За такої самої орієнтації приставляють пристрій з відбивачем до протилежної поверхні правого ролика і визначають координати X'_{nII2} і Y'_{nII2} . Так само приставляють пристрій з відбивачем до лівого ролика і визначають координати X'_{nI1} і Y'_{nI1} , X'_{nI2} і Y'_{nI2} . Діаметри роликів є дещо спотвореними внаслідок непаралельності створу NM_2 до проекції осі обертання OO' .

Проте це спотворення є настільки незначним порівняно із вимогами до точності вимірювання, що ним можна знехтувати. Наприклад, для обертової печі, що має чотири опори (це найкоротші обертові печі, для яких спотворення найбільше) довжину створу, враховуючи віддалі між опорами, можна для наочності прийняти 40 м ($NM_2 = 40$ м). Нехай непаралельність створу до планової проекції осі обертання на першій опорі становить, наприклад, 200 мм ($NM_2 = 200$ мм), що, принаймні, утричі перевищує реальну непаралельність під час вимірювань. Це може відповідати випадку, коли увесь агрегат перемістити у плані, наприклад, на 100 мм, що звичайно, нереально. Тоді величина найдовшої координати $Y'_n - Y'_{nII2}$, враховуючи габаритні розміри агрегату, зокрема діаметри роликів і віддалі між ними, буде відрізнятися від такої самої координати, виміряної перпендикулярно до планової проекції осі обертання печі, не більше, ніж на 0,1 мм. Діаметри опорних роликів буде визначено із середньою квадратичною похибкою 0,14 мм, а віддаль між осями опорних роликів – 0,2 мм. У реальних умовах ці похибки складуть соті частки міліметра.

Діаметри роликів дорівнюють

$$d'_{nII} = Y'_{nII2} - Y'_{nII1} - 2\Delta h, \quad (5)$$

$$d'_{nI} = Y'_{nI2} - Y'_{nI1} - 2\Delta h, \quad (6)$$

де Δh - віддаль центра відбивача над твірною ролика, яка з'єднує кінці його горизонтальних діаметрів.

Віддаль між осями роликів

$$L'_n = (Y'_{nI2} - Y'_{nI1} - 2\Delta h) - \left(\frac{d'_{nII}}{2} + \frac{d'_{nI}}{2} \right) = \frac{Y'_{nI2} - Y'_{nII1} - Y'_{nII2} + Y'_{nI1}}{2}. \quad (7)$$

Конструкція роликів опор може бути такою, що не буде видимості на відбивачі, встановлювані з лівих боків роликів, а щоб видимість була, точку N потрібно розташувати за межами опори. Тахеометр встановлюють у точці N_1 , вимірюють віддаль N_1N (горизонтальне прокладення) і задають йому орієнтирний напрямок, паралельний створу NM_2 . Для цього під час стояння тахеометра у точці N потрібно виміряти кут β між напрямками NN_1 і NM_2 . Після встановлення тахеометра у точці N_1 будують кут β від напрямку N_1N , задаючи тим самим орієнтирний напрямок паралельний створу NM_2 . Визначають з точки N_1 координати X''_{nI2} , Y''_{nI2} і X''_{nII2} , Y''_{nII2} , приставляючи пристрій з відбивачем до лівих боків обох роликів. За такого орієнтирного напрямку тахеометра віддалі Y''_{nI2} і Y''_{nII2} визначають за таких самих умов, що й Y'_{nII1} і Y'_{nI1} . З координат Y'_{nII1} та Y'_{nI1} , що визначені з точки N , та координат Y''_{nI2} і Y''_{nII2} , що визначені з точки N_1 , а також віддалі NN_1 визначають діаметри роликів і віддаль між їхніми осями L'_n

$$d'_{nII} = NN_1 - Y'_{nII1} - Y''_{nII2} - 2\Delta h \quad (8)$$

$$d'_{nI} = NN_1 - Y''_{nI2} - Y'_{nI1} - 2\Delta h \quad (9)$$

$$L'_n = N_1N - \left(Y''_{nI2} + \frac{d'_{nI}}{2} + \Delta h + Y'_{nI1} + \frac{d'_{nI}}{2} + \Delta h \right) = \frac{Y'_{nI1} + Y''_{nI2} - Y''_{nI2} - Y'_{nI1}}{2}. \quad (10)$$

Такі самі вимірювання як з точки N виконують, встановивши тахеометр у точці M_2 на першій опорі, а за необхідністю і у точці M_1 . Під час стояння у точці M_2 вимірюють віддаль M_2N , а під час стояння у точці M_1 віддаль M_1N_1 . Згідно із залежностями (5), (6), (7) або (8), (9), (10) визначають діаметри роликів і віддаль між їхніми осями. Згідно із залежностями (3) і (4) визначають B_{nII} і B_{1II} , а також B_{nI} і B_{1I} . Відрізок M_2M є величиною непаралельності створу NM_2 до планової проекції обертання печі. Для визначення положення опорних роликів та відхилень від прямолінійності осі обертання непаралельність слід знати на віддалі між площинами вимірювання діаметрів роликів d'_n на “ n – й” опорі та d_I на першій опорі. Віддаль між цими площинами Q_nQ_I

$$Q_nQ_I = NM_2 - (X'_{nII} + X_{1II}), \quad (11)$$

де X_{1II} – така сама координата для першої опорі, що й X'_{nII} для “ n -ої опорі.

Означена вище непаралельність створа на віддалі Q_nQ_I , буде такою

$$\delta l_1 = F_1 - F'_n, \quad (12)$$

де

$$F_1 = B_{1II} + \frac{d_{1II}}{2} + \Delta h + Y_{1II}; \quad (13)$$

$$F'_n = B'_{nII} + \frac{d'_{nII}}{2} + \Delta h + Y'_{nII}. \quad (14)$$

У залежності (13) Y_{1II} – віддаль від створу до правого боку правого ролика першої опорі. За необхідності такі самі вимірювання і обчислення виконують для створу, розташованого з лівої сторони печі.

Непаралельність у будь-якій точці створу NM_2 до планової проекції осі обертання печі

$$\delta l_i = Q_nQ_i \varepsilon, \quad (15)$$

де Q_nQ_i – віддаль від площини вимірювання діаметрів роликів на “ n – й” опорі до “ i – тої” точки створу, тобто до площини вимірювання діаметрів роликів на “ i – тій” опорі $\varepsilon = \frac{\delta l_1}{Q_nQ_I}$.

Щоб визначити положення опорних роликів будь-якої опорі печі, наприклад, третьої, тахеометр центрують у точці T (рис. 2) проекції створу NM_2 і вимірюють віддаль TN . Подальші вимірювання зводяться до таких самих, які були описані вище, тобто до вимірювання діаметрів роликів та віддалей між їхніми осями. Діаметри роликів d_{3II} , d_{3I} визначають згідно із залежностями (5) і (6) або (8) і (9), а віддалі між осями роликів – (7) або (10) відповідно.

Віддаль E_{3CT} від осі правого ролика з краю, спрямованого до холодного кінця печі, до проекції створу

$$E_{3CT} = Y_{3II} + \Delta h + \frac{d_{3II}}{2}. \quad (16)$$

Тахеометр встановлюють у точку T' проекції створу, вимірюють віддаль $T'N$ і виконують такі самі вимірювання з краю ролика, спрямованого до гарячого кінця печі. Віддаль від осі ролика до проекції створу

$$E'_{3CT} = Y'_{3II} + \Delta h + \frac{d'_{3II}}{2}. \quad (17)$$

Щоб отримати дійсне положення осей роликів, слід врахувати величину непаралельності створу NM_2 до планової проекції осі обертання у площинах вимірювання діаметрів роликів

$$\delta l_3 = [TN - (X'_{nIII} + X_{3III})]\epsilon; \quad (18)$$

$$\delta l'_3 = (T'N - X'_{nIII} + X'_{3III})\epsilon. \quad (19)$$

Віддаль від кінців осі правого ролика до створу, паралельного плановій проекції осі обертання печі

$$E_3 = E_{3CT} - \delta l_3; \quad (20)$$

$$E'_3 = E'_{3CT} - \delta l'_3. \quad (21)$$

Віддаль E_{3cp} від цього створу до середини осі правого ролика

$$E_{3cp} = \frac{E_3 + E'_3}{2}. \quad (22)$$

Непаралельність δ_{II} і δ'_{II} осі правого ролика проекції осі обертання

$$\delta_{II} = E_{3cp} - E_3; \quad (23)$$

$$\delta'_{II} = E_{3cp} - E'_3. \quad (24)$$

Таку саму непаралельність δ_{LI} і δ'_{LI} осі лівого ролика визначають так

$$\delta_{LI} = E_{3cp} + L_{3cp} - (E_3 + L_3); \quad (25)$$

$$\delta'_{LI} = E_{3cp} + L_{3cp} - (E'_3 + L'_3). \quad (26)$$

У залежностях (25) і (26)

$$L_{3cp} = \frac{L_3 + L'_3}{2}. \quad (27)$$

Відхилення планової проекції осі обертання печі від прямолінійності на третій опорі

$$\Delta_3 = E_{3T} - E_{cp}, \quad (28)$$

де

$$E_{3T} = F - B_{3IIcp}, \quad (29)$$

$$F = F_1 - \delta l_1. \quad (30)$$

$$B_{3IIcp} = \frac{B_{3II} + B'_{3II}}{2}. \quad (31)$$

Середнє значення $B_{i_{cp}}$ обчислюють у тому випадку, коли є велика розбіжність діаметрів країв ролика d_i і d'_i , наприклад, 5 мм.

Теоретична віддаль P_{LIT} середини лівого ролика від створу MN

$$P_{LIT} = E_{3T} + B_{3IIcp} + B_{3Lcp} \quad (32)$$

Незбіг m_{LI} дійсного положення середини осі лівого ролика з його теоретичним положенням

$$m_{LI} = P_{LIT} - (E_{3cp} + L_{3cp}). \quad (33)$$

За необхідності положення осі лівого ролика можна визначити, виконуючи такі самі вимірювання, що й для правого ролика, встановивши тахеометр над проекцією створу $N'M'$, наприклад у точках T_1 і T_1' .

Висновки. Запропонована методика визначення положення опорних роликів обертових печей розроблена у Національному університеті “Львівська політехніка”. З усіх існуючих її можна вважати найдосконалішою як технічно, так і за точністю вимірювань. Застосування методики має істотні переваги порівняно з існуючими – всі вимірювання гранично спрощені і їх виконують одним єдиним приладом – електронним тахеометром. Це, окрім спрощення, скорочує час вимірювань. Щоб виконати такі самі вимірювання за будь-якою із існуючих методик, необхідно застосувати один або два оптичні теодоліти, лінійки, рейки, рулетки або прилади для вимірювання довжин ліній, а також бригаду - не менше чотирьох осіб. Очевидно, що часу на вимірювання необхідно значно більше, ніж запропонованою методикою. Запропонована методика фактично означає перехід від трудомістких контактних способів контролю за допомогою оптично-механічних приладів та пристроїв до сучасних оперативних безконтактних способів контролю за допомогою електронних приладів.

1. Асташенков Г.Г. *Геодезические работы при эксплуатации крупногабаритного промышленного оборудования.* – М.: Недра, 1986. – 151 с. 2. Кузьо И.В., Шевченко Т.Г. *Расчет и контроль установки агрегатов непрерывного производства.* – Львов: Вища.шк. Изд-во при Львов. Ун-те, 1987. – 176 с. 3. Рубинов А.Д. *Контроль больших размеров в машиностроении. Справочник.* – Л.: Машиностроение, 1982. – 215 с. 4. *Руководство по выверке технологического оборудования металлургической промышленности.* – М.: Министерство металлургии СССР, 1991. – 214 с. 5. *Руководство по геодезическому обеспечению монтажа и эксплуатации технологического оборудования цементной промышленности /ГУГК СССР.* – М.: Недра, 1983. – 112 с. 6. *Система технического обслуживания и ремонта технологического оборудования предприятий промышленности строительных материалов. Цементная промышленность. Ч.1.* – М.: МПСМ, Оргпроектцемент, 1987. – Вып. 1. – 249 с. 7. Шевченко Т.Г. *Еволюція геодезичного контролю встановлення великогабаритного обладнання // Геодезія, картографія і аерофотознімання.* – 2003. - № 64. – с. 104-106. 8. Т.Г.Шевченко, О.І.Мороз, С.Г.Хропот. *Методика інженерно-геодезичних робіт при визначенні положення роликів обертових печей // Вісник геодезії та картографії.* – 1996. - № 2 (6). – с. 45-52. 9. Шевченко Т.Г., Мороз О.І., Зазуляк П.М., Кубрак О.Д. *Контроль положення опорних роликів обертової печі електронними тахеометрами // Новітні досягнення геодезії, геоінформатики та землевпорядкування. Зб. наук. праць. Чернігів.* – 2006. - №2. – с. 75-80. 10. Шевченко Т.Г., Мороз О.І., Скриль В.А., Кубрак О.Д. *Застосування електронних тахеометрів до визначення положення опорних роликів обертової печі // Збірник тез XI міжнародного науково-технічного симпозіуму: Геодезичний моніторинг навколишнього середовища GPS і GIS технології: Алушта (Крим), Львів.* – 2006. – с. 79-83.