

І.В. Кузьо, О.І. Мороз, Т.Г. Шевченко
Національний університет "Львівська політехніка"

КОНТРОЛЬ ОСНОВНИХ ОСЕЙ ОБЕРТОВИХ ПЕЧЕЙ ЕЛЕКТРОННИМИ ТАХЕОМЕТРАМИ

© Кузьо І.В., Мороз О.І., Шевченко Т.Г., 2007

Розвиток досконалої техніки сприяє створенню сучасних способів вимірювання геометричних параметрів великогабаритних обертових печей. Запропоновано способи контролю осей обертових печей. Показано, що використання електронних тахеометрів дає можливість підвищити ефективність експлуатації 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 are methods measuring of the rotary kilns axes. It is shown, that use total station allow provide effective operation of this equipment.

Постановка проблеми. Більше 50-ти років тому Аполлінарій Львович Островський, тоді ще не професор, виконував інженерно-геодезичні роботи із встановлення обертових печей на Миколаївському цементно-гірничому комбінаті. За більше як 50 років, що минули з тих часів, конструкція цього великогабаритного металомісткого обладнання практично не змінилася, а проблем із його встановленням побільшало.

Вимоги до точності встановлення обертових печей доволі жорсткі. Відхилення від прямолінійності осі обертання печі, тобто лінії, що з'єднує центри поперечних перерізів підбандажних обичайок, не повинні перевищувати ± 3 мм. Такі самі вимоги до відхилень і геометричної осі корпусу – лінії, що з'єднує центри ваг контурних кривих поперечних перерізів, з тією лише різницею, що відхилення у прогонах можуть сягати ± 10 мм. Відхилення осей опорних роликів не повинні перевищувати $\pm 0,5$ мм на один метр довжини осі ролика. Офіційно запропоновані [7, 8, 9] та найбільше поширені способи контролю прямолінійності осі обертання печі та положення опорних роликів [1, 2, 3, 12] ґрунтуються на створних вимірюваннях. Віддалі від створів до поверхонь деталей, положення яких визначають, найчастіше опорних роликів та бандажів, рекомендується вимірювати лінійками, рейками або рулетками. Рулетками ж вимірюють віддалі між створами та осями роликів.

Досягти потрібної точності вимірювань, застосовуючи перелічені механічні засоби вимірювань, вкрай складно, а найчастіше неможливо. Наприклад, рейку потрібно приставити до поверхні бандажа так, щоб вона стала продовженням його горизонтального діаметра на висоті до 4 м і відлічити її на віддалі від 40 м до 150 м.

Зв'язок із важливими науковими і практичними завданнями. Забезпечення вимог точності встановлення вузлів обертової печі, зокрема відхилень прямолінійності осі обертання і геометричної осі корпусу печі, сприяють підвищенню надійності і довговічності експлуатації агрегатів.

Аналіз останніх досліджень та публікацій, присвячених вирішенню цієї проблеми. Ще донедавна оптично-механічні та механічні засоби вимірювань під час контролю встановлення обертових печей були єдиними і широко розповсюдженими. Можливості нової геодезичної техніки, зокрема електронної, дозволяють удосконалити способи контролю встановлення обертових печей. У деяких останніх публікаціях пропонується використовувати для інженерно-геодезичних

вимірювань під час встановлення обертових печей електронні тахеометри [4,5,10,11]. Кожний з описаних способів контролю призначений для визначення положення окремих вузлів агрегату.

Невирішені частини загальної проблеми. Досягти необхідної точності вимірювань під час встановлення обертових печей можна застосуванням електронної геодезичної техніки.

Постановка завдання. Метою дослідження є створення системи способів контролю встановлення обертових печей електронними геодезичними приладами.

Виклад основного матеріалу. Основні операції інженерно-геодезичних вимірювань під час вивірки обертових печей передбачають контроль прямолінійності осі обертання печі, прямолінійності геометричної осі корпусу і визначення положення опорних роликів. Проконтролювати прямолінійність геометричної осі корпусу можна, виконуючи вимірювання безпосередньо всередині самого корпусу, а прямолінійність осі обертання визначають, взявши за базові деталі бандажі, або опорні ролики.

Недотримання технологій монтажу, реконструкцій, ремонту та експлуатації приводять до того, що геометрична вісь корпусу та вісь обертання печі можуть не збігатися навіть у підбандажних перерізах, позаяк переважна більшість обертових печей мають вільно посаджені бандажі на корпус печі. Тому у складних ремонтних ситуаціях, коли, наприклад, під час обертання печі деякі бандажі періодично відриваються від опорних роликів, а піч зупинена для виправлення недоліків експлуатації, необхідно виконувати максимальний обсяг інженерно-геодезичних вимірювань. Вони містять контроль прямолінійності осі обертання печі, положення опорних роликів і прямолінійності осі корпусу печі. Результати контрольних вимірювань слугують вихідними даними для переміщення опорних роликів з метою встановлення осі обертання прямолінійно, а також для спрямлення корпусу. Корпус спрямляють розрізанням і вирізанням його частин клиноподібної форми. Місця розрізання і розміри клиноподібних частин обчислюють на основі результатів контролю прямолінійності геометричної осі корпусу печі. Операції з контролю прямолінійності осі корпусу печі є прямими вимірюваннями. Вимірювання прямолінійності осі обертання та положення опорних роликів є посередніми.

Вище вказано, що для контролю прямолінійності осі обертання печі та положення опорних роликів застосовують створні вимірювання. Вихідними даними для контролю слугують діаметри бандажів і опорних роликів, а також віддалі між осями опорних роликів. Діаметри бандажів та опорних роликів рекомендовано визначати на основі оперізування їх рулеткою [2,6,9]. На перший погляд вимірювання прості і доступні. Проте, потрібно зауважити, що діаметри бандажів можуть сягати шести і навіть восьми метрів, а роликів до півтора метра. Прилягання бандажів до роликів може бути таким, що оперізувати як перший, так і другий буде неможливо. Щоб виміряти віддалі між осями роликів, необхідно зняти кришки їхніх підшипників. Все це робить, здавалося б, прості вимірювання проблематичними, деколи навіть неможливими.

Способи вимірювань, які описуються нижче (власне, осі обертання печі, положення опорних роликів і геометричної осі корпусу) реалізуються електронними геодезичними приладами, зокрема електронними тахеометрами відповідної точності, точніші, ефективніші та менше трудомісткі від існуючих традиційних. Електронними тахеометрами серій GTS-230 і GTS-720 (Торсон, Японія), серії TPS-1200, TC 2002 (Leica, Швейцарія) можна виконати означені вище вимірювання з більшою точністю, простіше і безконтактним способом. Далі буде показано, що за декількох встановлень електронного тахеометра без будь-яких додаткових засобів вимірювань можна виміряти діаметри роликів, бандажів і визначити відхилення осі обертання печі від прямолінійності, принаймні, у проекції на горизонтальну площину. Позаяк діаметри бандажів будуть відомі, визначити відхилення осі обертання у проекції на вертикальну площину не становить труднощів [3,7].

На рис. 1 показано схему визначення положення опорних роликів з попереднім вимірюванням їхніх діаметрів. На рис. 2 зображено схему визначення відхилень від прямолінійності планової проекції осі обертання печі і вимірювання діаметрів бандажів. Операції з вимірювання діаметрів бандажів та роликів і контрольні операції з визначення відхилень осі суміщуються. Крім того, доцільно сумістити визначення положення опорних роликів і безпосередній контроль планової проекції осі обертання. Позаяк проекція осі обертання на опорах печі не закріплена, побудувати поздовжні створи паралельно до лінії, що з'єднує дві точки осі обертання неможливо. Тому такі створи є приблизно паралельні до згаданої лінії. Значень діаметрів опорних роликів, віддалей між їхніми осями і діаметрів бандажів з попередніх перевірок печі достатньо, щоб найбільша непаралельність кожного із створів до лінії, що з'єднує дві точки планової проекції осі обертання, не перевищувала 100 мм.

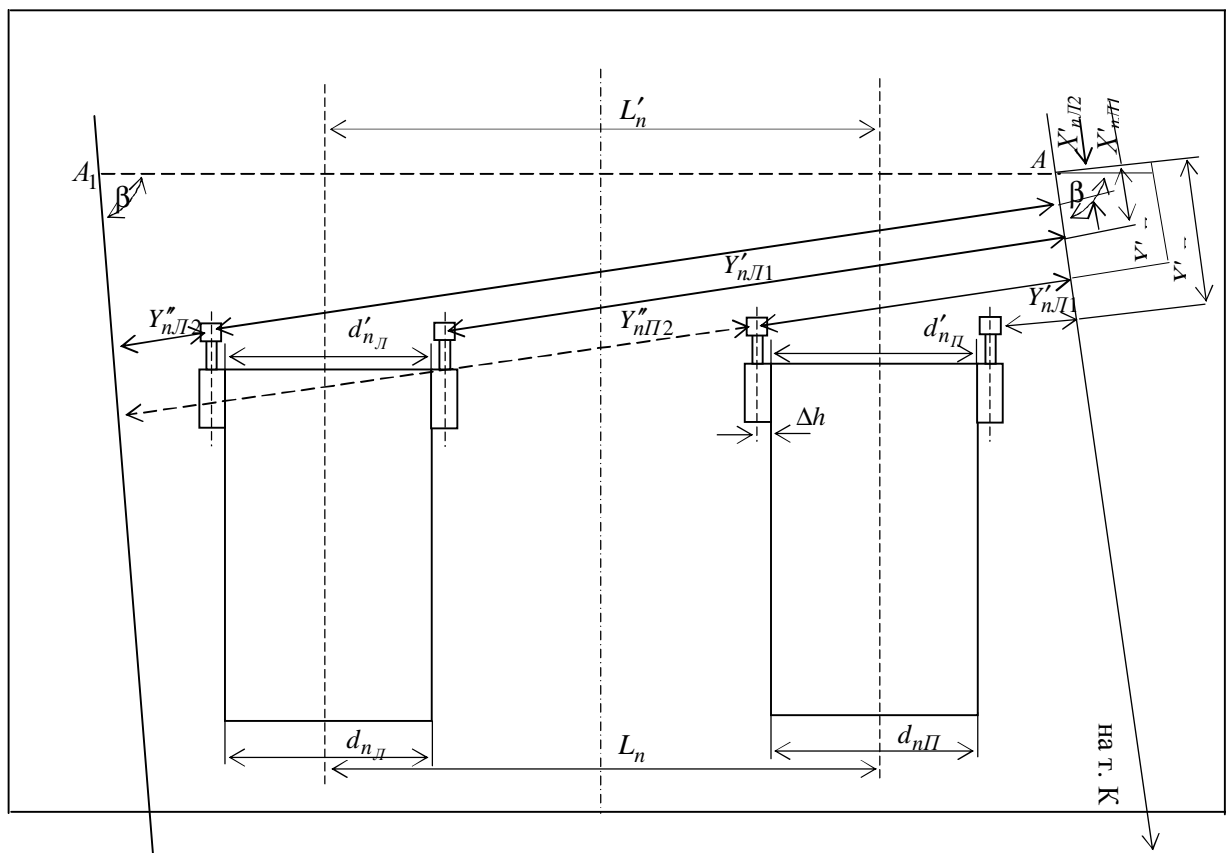


Рис. 1. Схема вимірювання діаметрів опорних роликів

На крайній опорі печі, наприклад, n -ій за напрямком руху випалюваного матеріалу у печі за роликками та бандажем у точці A проекції створу (рис. 1) встановлюють електронний тахеометр. На іншій крайній опорі, наприклад, 1 -ій, за тих самих умов, вибирають точку K (рис. 2) так, щоб уздовж всієї печі була пряма видимість. Крім того, з точки A має бути видимість на кінці горизонтальних діаметрів торців роликів або, принаймні, на їхні праві сторони. Точки A і K є кінцевими точками створу з одного боку печі. З іншого боку печі, за тих самих умов, кінцевими точками створу є A_1 і K_1 . Відхилення лінії AA_1 від перпендикулярності до осі обертання печі мають бути мінімальними. Тому її будують хоча б паралельною до краю фундаментної рами, або до площин торців роликів. Точку K_1 , кінцеву точку проекції створу A_1K_1 , будують на іншій крайній опорі за таких самих умов, що й точку A_1 , поставивши тахеометр у точці K . Вимірюють горизонтальні проекції ліній AA_1 , AK і KK_1 . Якщо з точки A немає видимості на ліві кінці горизонтальних діаметрів торців роликів через кришки підшипників роликів, вимірюють кут β між напрямками AK і AA_1 (рис. 1). У місцях

розташування горизонтальних діаметрів роликів встановлюють пристрій з відбивачем так, щоб центр відбивача розташовувався у площині горизонтальних діаметрів роликів. Орієнтують тахеометр за напрямком створу AK і, працюючи у програмі вимірювання прямокутних координат, визначають координати $X'_{n\Pi1}, Y'_{n\Pi1}, X'_{n\Pi2}, Y'_{n\Pi2}, X'_{nЛ1}, Y'_{nЛ1}, X'_{nЛ2}, Y'_{nЛ2}$.

Діаметр правого, відносно осі обертання печі, ролика за напрямком руху випалюваного матеріалу

$$d'_{n\Pi} = Y'_{n\Pi2} - Y'_{n\Pi1} - 2\Delta h, \quad (1)$$

лівого ролика

$$d'_{nЛ} = Y'_{nЛ2} - Y'_{nЛ1} - 2\Delta h. \quad (2)$$

У залежностях (1) і (2) Δh – віддаль від центра відбивача до твірної ролика, яка з'єднує кінці його горизонтальних діаметрів.

Віддаль між осями роликів

$$L'_n = \frac{Y'_{nЛ2} - Y'_{n\Pi1} - Y'_{n\Pi2} + Y'_{nЛ1}}{2}. \quad (3)$$

Якщо з точки A можна визначити тільки координати $Y'_{n\Pi1}$ і $Y'_{nЛ1}$, тахеометр переставляють у точку A_1 і визначають координати $X''_{nЛ2}, Y''_{nЛ2}, X''_{n\Pi2}, Y''_{n\Pi2}$, побудувавши кут β від напрямку A_1A , задаючи тим самим орієнтирний напрямок, паралельний створу AK . Вимірюють також горизонтальну проекцію лінії A_1K_1 . Діаметри роликів і віддаль між їхніми осями визначають згідно із залежностями

$$d'_{n\Pi} = AA_1 - Y'_{n\Pi1} - Y''_{n\Pi2} - 2\Delta h; \quad (4)$$

$$d'_{nЛ} = AA_1 - Y'_{nЛ2} - Y''_{nЛ1} - 2\Delta h; \quad (5)$$

$$L'_n = \frac{Y'_{nЛ1} + Y''_{n\Pi2} - Y''_{nЛ2} - Y'_{n\Pi1}}{2}. \quad (6)$$

Щоб виміряти діаметр бандажа на цій самій опорі, тахеометр встановлюють у точці F (рис. 2), що є точкою перетину площини серединного поперечного перерізу бандажа з проекцією створу AK . Вимірюють горизонтальні проекції FF_1 і FA . Точки F_1 і E_1 є кінцями горизонтального діаметра бандажа у його серединному поперечному перерізі. Відбивач встановлюють у точці дотику нитки виска до поверхні бандажа. Такі самі дії виконують з іншого боку печі. Встановлюють тахеометр у точці E , що є точкою перетину площини серединного поперечного перерізу бандажа з проекцією створу A_1K_1 вимірюють горизонтальні проекції ліній EE_1 і EA_1 . Діаметр бандажа D_4 визначають згідно із залежністю

$$D_4 = AA_1 - \frac{AF(KK_1 - AA_1)}{AK} - (EE_1 + FF_1). \quad (7)$$

У такий самий спосіб визначають діаметр бандажа D_1 на першій опорі

$$D_1 = KK_1 - \frac{AN(KK_1 - AA_1)}{AK} - (NN_1 - MM_1). \quad (8)$$

Для вимірювання діаметрів бандажів використовуються зафіксовані на опорах поздовжні створи, тому стає відомим планове положення лінії O_1O_4 , що з'єднує дві точки осі обертання печі. Щоб мати відхилення осі обертання і осей роликів відносно лінії O_1O_4 , визначають величину непаралельності її та одного із створів, наприклад, AK у кожній з площин вимірювання діаметрів роликів та бандажів.

Для визначення відхилень осі обертання печі від прямолінійності вимірюють діаметри решти бандажів так само, як діаметри першого та останнього бандажа. Наприклад, відхилення від прямолінійності планової проекції осі обертання на третій опорі

$$\Delta_3 = \left(PP_1 + \frac{D_3}{2} \right) - PQ_3 - \left(FF_1 + \frac{D_4}{2} \right), \quad (9)$$

де $PQ_3 = \frac{Q_1N \cdot PF}{NF}$; $NF = PF + PN$;

Q_2N – величина непаралельності створу AK лінії O_2O_4 у площині вимірювання діаметра першого бандажа D_1 ; $Q_2N = \left(NN_1 + \frac{D_1}{2} \right) - Q_1O_1$, а $Q_1O_1 = FF_1 + \frac{D}{2}$.

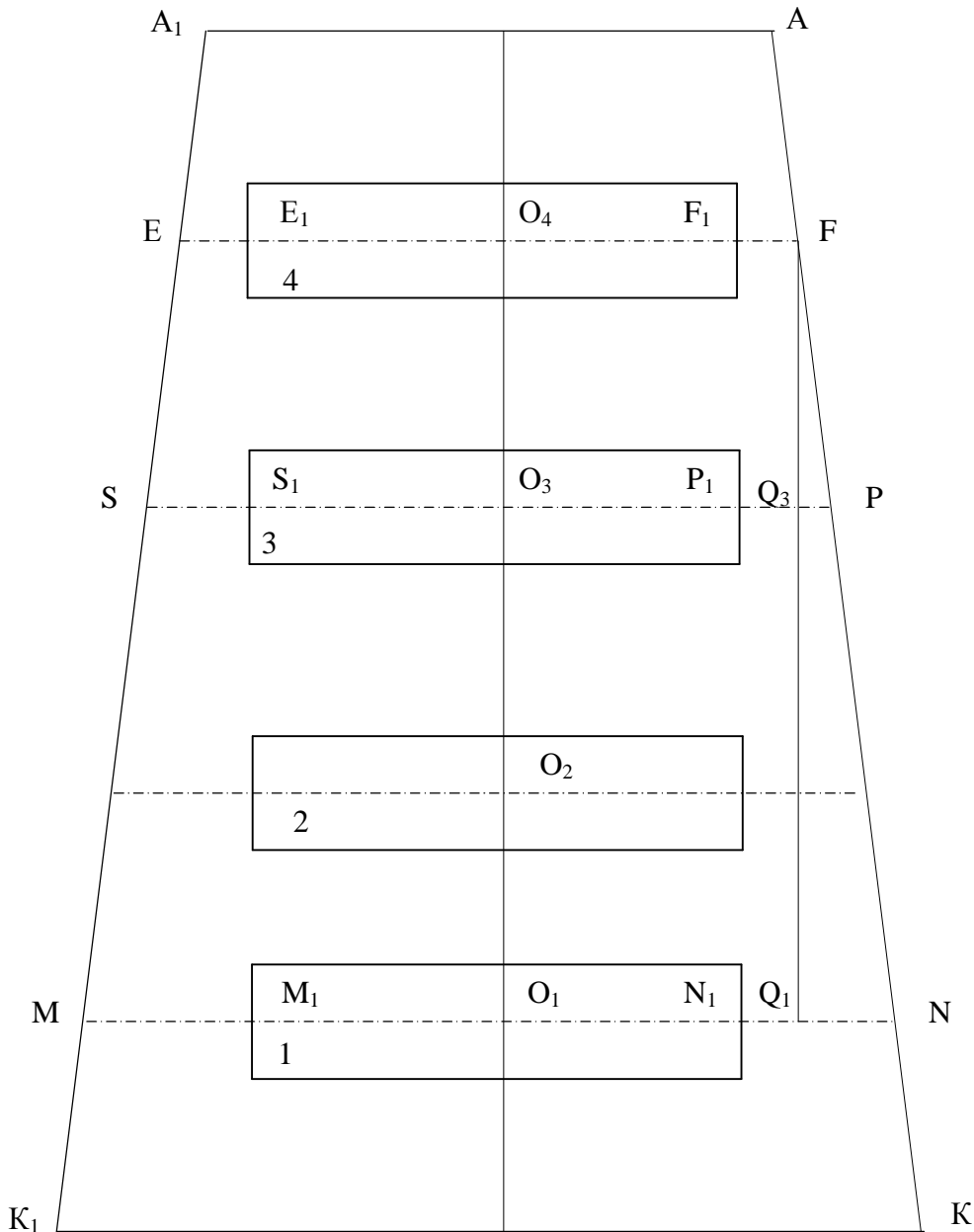


Рис. 2. Схема визначення відхилень від прямолінійності

Щоб визначити положення кожної пари опорних роликів, тахеометр встановлюють за протилежними торцями тих самих роликів (рис. 1) так, як це було описано, вимірюють їхні

діаметри $d_{nП}$ і $d_{nЛ}$, а також віддалі між осями L_n . Позаяк віддаль від створу AK до поверхонь і осей роликів відома, не складно визначити розташування осей роликів відносно лінії O_1O_4 [4,10].

Отже, щонайбільше шестиразовим, а можливо чотириразовим встановленням тахеометра на кожній опорі визначають відхилення від прямолінійності осі обертання печі, а також розташування осей опорних роликів одночасно з попереднім вимірюванням діаметрів бандажів, роликів і віддалей між осями роликів.

Позаяк поздовжні створи (AK і A_1K_1) непаралельні плановій проекції осі обертання печі, а вимірювання тахеометром виконують за програмою прямокутних координат, діаметри бандажів і роликів, а також віддалі до них є дещо спотвореними. Проте, це спотворення є настільки незначним порівняно з вимогами до точності вимірювань, що ним можна нехтувати. Для найкоротшої чотирьохопорної оберткової печі, де такі спотворення найбільші, за довжини створу до 40 м непаралельність його до проекції осі обертання становить щонайбільше 100 мм. Похибки вимірювань тахеометром становлять соті частки міліметра.

Контроль прямолінійності осі корпусу оберткової печі полягає у визначенні відхилень центрів поперечних перерізів корпусу відносно прямої, що проходить через центри двох поперечних перерізів [2,3,7]. Центром поперечного перерізу корпусу є центр ваги контурної кривої, що описує переріз. За таку криву приймають контурограму-конхоїду, що являє собою криву перерізу у зменшеному масштабі. Конхоїду будують, прийнявши за номінальний діаметр корпусу, наприклад, 100–200 мм і відкладаючи від нього дійсні відхилення корпусу від номінального діаметра як зміну радіус-вектора через рівні кутові проміжки, наприклад, через 15° .

Для визначення форми перерізу звичайно застосовують контактні щупи, вимірюючи віддалі між приблизно діаметрально протилежними точками перерізу. Знаходять центри двох поперечних перерізів (центри ваги контурних кривих), встановлюють в одному з них теодоліт, а в іншому марку так, щоб візирна вісь зорової труби теодоліта проходила через центри перерізів. Відхилення геометричної осі від прямолінійності відшуковують як відхилення решти центрів перерізів від прямої, якою є візирний промінь.

Під час визначення непрямолінійності геометричної осі електронним тахеометром його встановлюють у поперечному перерізі за одним із крайніх місць опирання корпусу так, щоб вісь випромінювання тахеометра розташувалася чим ближче до центра перерізу, а віддаль до місця опирання корпусу до тахеометра була більшою від найменшої віддалі візування. Другий, n -й поперечний переріз вибирають з іншого краю корпусу у крайньому місці його опирання. Поблизу центра n -го попереднього перерізу, звичайно найближче до нього, встановлюють відбивач і вимірюють віддаль l_{1-n} від тахеометра до площини перерізу. Замість відбивача встановлюють пристрій, що змінює напрямок випромінювання тахеометра на 90° , наприклад, поворотну пентапризму, вісь обертання якої збігається з віссю випромінювання, і яка може повертатися на 360° . Вимірюють віддалі від тахеометра до поверхні корпусу у площині перерізу у точках, що розташовані рівномірно за периметром перерізу, повертаючи пентапризму, наприклад, через 15° . За зміною віддалі від тахеометра до точок корпусу у n -му перерізі будують його конхоїду і визначають координати центра ваги контурної кривої перерізу відносно осі випромінювання тахеометра.

Перший поперечний переріз вибирають у місці опирання корпусу, найближчого до перерізу, де встановлено тахеометр. У ньому виконують такі самі вимірювання, що й у n -му, будують його конхоїду і визначають координати центра першого перерізу відносно осі випромінювання. Визначають величину непаралельності осі випромінювання тахеометра прямій, що проходить через центри двох поперечних перерізів: 1-го і n -го. Після цього, у такий самий спосіб, визначають відхилення центра будь-якого контрольованого перерізу від осі випромінювання, враховуючи величину непаралельності у площині перерізу.

Висновки. Запропоновано способи контролю встановлення основних вузлів оберткових печей сучасною електронною геодезичною технікою. Контроль прямолінійності осі обертання

обертової печі, геометричної осі корпусу та положення опорних роликів виконують одним приладом – електронним тахеометром відповідної точності без залучення інших вимірювальних засобів. Запропоновані способи менш трудомісткі, оперативніші та точніші від існуючих контактних оптично-механічних способів.

1. Астащенко Г.Г. Геодезические работы при эксплуатации крупногабаритного промышленного оборудования. – М.: Недра, 1986. – 151 с. 2. Кузьо И.В., Микольский Ю.Н., Шевченко Т.Г. Современные методы контроля установки оборудования. – Львов: Вища школа. Изд-во при Львов. ун-те, 1982. – 143 с. 3. 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. 4. Кузьо И.В., Шевченко Т.Г., Мороз О.И., Кубрак О.Д. Контроль положения опорных роликов обертової печі електронними тахеометрами // Геодезія, картографія і аерофотознімання. 2007. – №. С. 96–104. 5. Мороз О., Проданюк М., Шевченко Т., Марченков О. Контроль прямолінійності осі корпусу обертової печі електронними тахеометрами // Збірник тез XII міжнар. наук.-техн. симпозиуму: Геодезичний моніторинг навколишнього середовища: GPS і GIS технології: Алушта (Крим), Львів. – 2007. – С. 147–151. 6. Рубинов А.Д. Контроль больших размеров в машиностроении: Справочник. – Л.: Машиностроение, 1982. – 215 с. 7. Руководство по выверке технологического оборудования металлургической промышленности. – М.: Мин-во металлургич. промышл. СССР. 1991. – 214 с. 8. Руководство по геодезическому обеспечению монтажа технологического оборудования цементной промышленности / ГУГК СССР. – М.: Недра, 1983. – 112 с. 9. Система технического обслуживания и ремонта технологического оборудования предприятий промышленности строительных материалов // Цементная промышленность. Ч.1. – М.: МПСМ, Оргпроектцемент, 1987. – Вып. 1. – 249 с. 10. Шевченко Т.Г., Мороз О.И., Скриль В.А., Кубрак О.Д. Застосування електронних тахеометрів до визначення положення опорних роликів обертової печі // Збірник тез XI міжнар. наук.-техн. симпозиуму: Геодезичний моніторинг навколишнього середовища: GPS і GIS технології: Алушта (Крим), Львів. – 2006. – С. 79–83. 11. Шевченко Т., Мороз О., Смірнова О., Кубрак О. Визначення відхилень від прямолінійності планової проєкції осі обертання обертової печі електронними тахеометрами // Новітні досягнення геодезії, геоінформатики та землепорядкування. Зб. наук. праць. Чернігів. – 2007. - № 2. – с. 24–27. 12. Шевченко Т.Г., Мороз О.И., Хропот С.Г. Методика інженерно-геодезичних робіт при визначенні положення опорних роликів обертових печей // Вісник геодезії та картографії. – 1996. – № 2(6). – С. 45–52.