

КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ, ІНФОРМАЦІЙНІ І ВИМІРЮВАЛЬНІ СИСТЕМИ

УДК 666.940.41

І.В. Бельмас

Дніпродзержинський державний технічний університет,
кафедра обладнання переробних і харчових виробництв

РОЗРОБКА СПОСОБУ ДІАГНОСТИКИ ГЕОМЕТРИЧНИХ ДЕФЕКТІВ БАГАТООПОРНОЇ ПЕЧІ

© Бельмас І.В., 2012

Запропоновано методи визначення викривлень осі корпусу обертової печі. Як діагностичний параметр використовується значення сил, що діють на опори. Отримано аналітичні залежності для визначення величин відхилень осі корпусу печі від прямої лінії.

The methods of determination of curvatures of axis of corps of circulating stove are offered in the article. In quality diagnostic a parameter used the values of forces which operate on supports. Analytical dependences are got for determination of sizes of rejections of axis of corps of stove from a straight line.

Постановка проблеми. Особливістю конструкції обертових печей є наявність двох складових, що взаємодіють між собою. Першою складовою є корпус печі; другою – система спірання корпусу. Корпус складається з циліндричної оболонки, системи бандажів та веденого зубчастого вінця. Взаємне розташування усіх перерахованих деталей визначає вісь корпусу печі. Система спірання корпусу складається з окремих роликів з підшипниками, встановленими у корпусах на окремих рамах. Їхнє взаємне розташування, розміри роликів, бандажів визначають вісь, навколо якої і обертається корпус печі. Цю вісь називають віссю обертання корпусу. Корпус сучасної печі випалювання виготовлений з окремих обичайок. Він має діаметр 5 та довжину 185 м. Значні розміри корпусу, його власна маса приводять до того, що контроль осі корпусу як геометричного об'єкта з достатньою точністю в умовах дії земного тяжіння неможливий. Форма осі корпусу визначатиметься розташуванням опорних роликів, на які корпус встановлено. До того ж залежність деформацій фізичних тіл від сил, що на них діють, призводить до того, що тиск корпусу печі на опори викликає їх деформування. Деформування опор призводить до зміни форми осі обертання корпусу печі. У процесі обертання корпусу печі обертається і його вісь. Змінюються навантаження, що діють на опори, на корпус. Змінюються їх деформації. Просторово змінюється і вісь корпусу, і вісь його обертання. Форми вказаних осей впливають на напруження, що виникають у деталях печі і на їх довговічність. Знання форми викривлення корпусу печі надає можливість усунення цього дефекту під час ремонту. Тому встановлення реальної форми осі корпусу печі, характеру розташування опор з урахуванням сумісності їх дії та впливу земного тяжіння – актуальне науково-технічне завдання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У [1] досліджено вплив пружності опор на запас міцності корпусу. У [2, 3] досліджена залежність викривлення осі обертання корпусу та перерозподіл величин реакцій опор та згинальних моментів від деформування окремих елементів опорних вузлів. В [4] запропоновано конструкцію опори для визначення навантаження, що на неї діє. У [5] доведена можливість та доцільність динамометричного контролю осі обертової печі. У ній багатоопорна обертова піч розглядається як нерозрізна, дещо викривлена у просторі балка,

навантажена постійними зовнішніми силами, і така, що обертається на дискретних пружних опорах, встановлених з відхиленнями у вертикальній і горизонтальній площинах.

Реакції проміжних опор у проекціях на вертикальну (в) і горизонтальну (г) площини:

$$\begin{aligned} P_j^e &= p_j^e + (d_{ij})^{-1} [\Delta_{oi}^e + \Delta_{ki}^e \cos(T + b_i)], \\ P_j^z &= p_j^z + (d_{ij})^{-1} [\Delta_{oi}^z + \Delta_{ki}^z \sin(T + b_i)], \end{aligned} \quad (1)$$

де p_j^e, p_j^z – вектори реакцій опор за прямолінійного їх розташування та прямолінійного корпусу; d_{ij} – матриця одиничних переміщень; $\Delta_{oj}^e, \Delta_{oj}^z, \Delta_{kj}^e, \Delta_{kj}^z$ – вектори зміщень опор та відхилень геометричної осі корпусу печі від прямої лінії; T – поточний кут повороту корпусу; b_i – кут нахилу площини викривлення корпусу на i -й опорі.

Матриця одиничних переміщень

$$d_{ij} = \Delta_{ij} + f_{ij} + e_{ij}, \quad (2)$$

де Δ_{ij} – матриця одиничних переміщень корпусу, що спирається на крайні недеформовані опори та не враховує його поперечних деформацій; f_{ij} – матриця впливу деформацій крайніх опор під дією одиничних сил; e_{ij} – діагональна матриця одиничних деформацій проміжних опор.

Відзначимо те, що останні дві матриці включають і поперечні деформації корпусу у районі опор. Визначення дефектів спирання запропоновано здійснювати як під час зупинки, так і під час роботи печі за значеннями опорних реакцій. Водночас різні значення кутів нахилу площин розташування максимальних відхилень осі печі вказують на можливе просторове викривлення корпусу печі. З урахуванням відсутності інформації про значення цих кутів в роботі запропоновано визначати викривлення осі обертання печі шляхом визначення середніх навантажень на опори печі при положеннях корпусу (через 180° його повороту) та не запропонований спосіб визначення форми осі корпусу печі, що унеможливує виправлення дефектів корпусу.

Формулювання мети дослідження. Розробка способу діагностики дефектів багатоопорної печі на основі визначених навантажень на опори багатоопорної обертової трубчастої печі.

Викладення основного матеріалу дослідження. Запропонований у роботі метод діагностики відхилення осі обертання корпусу печі від прямої лінії передбачає заміри опорних реакцій. Залежності (1) для печі, що має n опор, за умов відомих значень опорних реакцій, наявності дефектів лише у вигляді викривлення осі обертання печі та осі корпусу, дає змогу отримати $2(n-1)$ алгебраїчних залежностей:

$$(P_j^e - p_j^e)d_{ij} = \Delta_{oi}^e + \Delta_{ki}^e \cos(T + b_i); \quad (3)$$

$$(P_j^z - p_j^z)d_{ij} = \Delta_{oi}^z + \Delta_{kj}^z \sin(T + b_j). \quad (4)$$

Кожна залежність (3) за відомих значень реакцій j -ї опори (дійсних та тих, що мають бути за відсутності дефектів спирання), має три невідомі сталі $\Delta_{oj}^e, \Delta_{kj}^e, b_j$. Відповідно для їх визначення потрібно знати три значення величин $(P_j^e - p_j^e)d_{ij}$, тобто кількість замірів навантажень, що припадають на опори, не може бути меншою, ніж три. З урахуванням вказаного, прийнявши перше значення кута повороту корпусу печі таким, що дорівнює нулю, та те, що заміри здійснюються через 120° , отримаємо систему рівнянь:

$$\begin{cases} (P_{1j}^e - p_j^e)d_{ij} = \Delta_{oi}^e + \Delta_{ki}^e \cos(b_i), \\ (P_{2j}^e - p_j^e)d_{ij} = \Delta_{oi}^e + \Delta_{ki}^e \cos\left(b_i + \frac{2}{3}p\right), \\ (P_{3j}^e - p_j^e)d_{ij} = \Delta_{oi}^e + \Delta_{ki}^e \cos\left(b_i + \frac{4}{3}p\right). \end{cases} \quad (5)$$

Невідомі дефекти знайдемо, розв'язавши систему (5):

$$\begin{aligned}\Delta_{oi}^e &= \frac{(P_{1j}^e + P_{2j}^e + P_{3j}^e - 3p_j^e)d_{ij}}{3}, \\ b_i &= \arctg \sqrt{3} \frac{(P_{1j}^e - P_{2j}^e)d_{ij}}{(2P_{1j}^e - P_{2j}^e - P_{3j}^e)d_{ij}}, \\ \Delta_{ki}^e &= \frac{(2P_{1j}^e - P_{2j}^e - P_{3j}^e)d_{ij}}{3 \cos b_i}.\end{aligned}\quad (6)$$

Звернемо увагу на те, що розв'язки (6) отримані для векторів викривлень осі печі, кутів нахилу площин розташування екстремальних відхилень осі корпусу від прямої лінії та значень цих відхилень.

Значення викривлень осі корпусу із (6) визначаються як середні відхилення дійсних від проектних опорних реакцій. Оскільки середнє значення може бути визначене і за двома результатами, то запропонований у [6] метод можна вважати доволі обґрунтованим для випадку контролю лише відхилень від прямої лінії осі обертання. Дефекти цієї осі можливо усувати переміщенням опорних роликів як під час стоянки агрегата, так і під час його роботи.

Аналогічні перетворення залежностей (4) дають змогу знайти дефекти і для горизонтальної площини:

$$\begin{aligned}\Delta_{oi}^s &= \frac{(P_{1j}^s + P_{2j}^s + P_{3j}^s - 3p_j^s)d_{ij}}{3}, \\ b_i &= \arctg \sqrt{3} \frac{(P_{1j}^s - P_{2j}^s)d_{ij}}{(2P_{1j}^s - P_{2j}^s - P_{3j}^s)d_{ij}} + \frac{p}{2}, \\ \Delta_{ki}^s &= \frac{(2P_{1j}^s - P_{2j}^s - P_{3j}^s)d_{ij}}{3 \cos \left(b_i + \frac{p}{2} \right)}.\end{aligned}\quad (7)$$

Останні два вирази у системах (6) та (7) визначають одні і ті самі величини – кут нахилу площин розташування екстремальних відхилень осі корпусу від прямої лінії та величини самих відхилень. Це є наслідком того, що кількість даних, які дають змогу визначити викривлення осі корпусу печі, перевищує достатню. Водночас останні результати можуть бути використані для визначення меж можливих похибок визначення форми осі корпусу печі.

Висновки. Для контролю викривлень осі печі в одній площині достатньо двох замірів, здійснених при поворотах корпусу печі на 180° . Для контролю осі корпусу печі треба здійснити не менше трьох замірів навантажень на опори печі – через 180° повороту корпусу печі. Отримані залежності дають можливість визначати кількісні характеристики дефектів спирання та корпусу обертової багатоопорної печі, для якої крайні опори вважаються розташованими на прямій, що задає ось печі, а центри підбандажних обичайок в районі крайніх опор задають вісь корпусу печі. Одним з подальших напрямків розвитку динамометричного контролю осей печі слід вважати розробку пристроїв контролю навантажень, що діють на опори печі та дають змогу контролювати системну похибку – зміщення значення (дрейф) нуля.

1. Дзюбик Л.В. Міцність корпусів обертових агрегатів із врахуванням пружних деформацій опор / Л.В. Дзюбик // Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні. – 2011. – Вип. 45. – С. 44–47. 2. Кузьо І. В., Дзюбик Л. В. Вплив положення геометричної осі на міцність обертових агрегатів / І.В. Кузьо, Л.В. Дзюбик // Вісник НУ "Львівська політехніка" "Динаміка, міцність та проектування машин і приладів". – 2007. – № 588. – С. 53–57. 3. Кузьо І.В., Дзюбик Л.В. Дослідження пружних деформацій опорних вузлів та їх вплив на силові

характеристики оберткових печей / І.В. Кузьо, Л.В. Дзюбик // Вісник НУ "Львівська політехніка" "Оптимізація виробничих процесів і технічний контроль у машинобудуванні та приладобудуванні". – 2008. – № 613. – С. 106–110. 4. А.С. 1476291 СССР, МКИ 27В7/22. Опора вращающегося барабана печи / И.В. Бельмас, В.И. Зинченко, В.К. Березовский. (СССР). – №4189808/31-33; заявл. 02.02.1987, опубл. 30.04.1989. Бюл.№16. 5. Бельмас И.В. Исследование силового взаимодействия опор и корпуса печи магнетизирующего обжига окисленных руд и разработка способа диагностики дефектов опирания: автореф. дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.05.06 «гирничі машини»/ Иван Васильевич Бельмас. – Днепропетровск, 1973 – 21 с.

УДК 528.498

І.В. Кузьо, Г.Т. Шевченко*, Л.В. Дзюбик

Національний університет "Львівська політехніка",
кафедра механіки та автоматизації машинобудування,

*Академія Сухопутних військ ім. гетьмана Петра Сагайдачного,
кафедра інженерної механіки

ДІАГНОСТИКА ФОРМИ ПОПЕРЕЧНОГО ПЕРЕРІЗУ КОРПУСІВ ОБЕРТОВИХ АГРЕГАТИВ БЕЗКОНТАКТНИМИ МЕТОДАМИ

© Кузьо І.В., Шевченко Г.Т., Дзюбик Л.В., 2012

**Запропоновано виконувати контроль форми поперечного перерізу та прямо-
лінійності геометричної осі корпусів оберткових агрегатів електронними приладами. Їх
застосування підвищує оперативність та точність вимірювань.**

**It is proposed to execute control of transverse cutting form and linearity of geometrical
axis of rotary kilns' frame by electronic devices. Use of them enhance operativeness and
accuracy of measurement.**

Постановка проблеми. Корпус оберткової печі – масивна конструкція завдовжки близько 200 м і діаметром до 7 м. В ідеалі це є циліндричної форми труба у поперечному її перерізі. Але на практиці поперечні перерізи корпусів оберткових агрегатів після тривалої роботи набувають форму, далеку від ідеальної, тобто далеку від форми правильного кола. Викривлення корпусу оберткової печі у поперечному її перерізі призводить до нерівномірного навантаження її опорних вузлів та становить загрозу виходу як їх, так і самого корпусу з ладу.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Для діагностики форми поперечного перерізу корпусу оберткової печі (вільної, наприклад, від футерівки) встановлюють пристрій, що дає можливість відображати таку форму. Для цього у корпусі агрегата встановлюють стійку регульованої довжини, нижній кінець якої спирається на корпус. У верхній частині стійка містить поворотний шарнір із механічним щупом, що повертається у площині, перпендикулярній до осі корпусу. Самі щупи обладнані шкалами, згідно з показами яких можна відобразити форму поперечного перерізу. Під час вимірювання щуп повертають по колу з певним кутовим кроком. Поступовим обертанням шарніра із щупами, що знаходиться у верхній частині стійки і вісь якого паралельна до осі корпусу або збігається із нею, будують конхоїду у малому масштабі, яка є відображенням результатів вимірювань. На основі зроблених записів поперечних перерізів роблять висновок щодо подальшої експлуатації (ремонт) агрегата [2, 3].

Формулювання мети дослідження. У процесі вимірювання доводиться стикатися із кількома проблемами, серед яких: великі габарити агрегатів, як вказано вище, неможливість забезпечити