

Список посилань

1. Вибухові боеприпаси. Посібник для України. 2-ге видання / Ролі Еванс, Боб Седдон, Йована Чарапіч. — Київ: Вид. дім «Професіонал», 2023. – 224 с.

УДК 621.78

Білоус О.І., канд. техн. наук, професор

Танцура Г.І., канд. техн. наук

Рябенко Є.С., здобувач другого (магістерського) рівня освіти

Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське, [bilouselena66@gmail.com](mailto:bilouselena66@gmail.com)

ДОСЛІДЖЕННЯ РОЗПОДІЛУ СИЛ ПОМІЖ ОПОРАМИ ПЕЧІ  
ВІДПАЛЮВАННЯ РУДИ

Піч відпалювання залізної руди складається із циліндричного корпусу та трьох пар опорних роликів, тобто становить собою статично невизначувану систему. Дефекти встановлення роликів викривлення осі корпусу печі впливають на розподіл сил поміж роликами. Точність геодезичного визначення вказаних дефектів не забезпечує розподіл навантажень поміж роликами в ладаних межах.

Для якісної оцінки впливу окремо взятих чинників і особливостей об'єкту в цілому сформулюємо спрощену модель. Корпус агрегату змодельуємо нерозрізною балкою. Балку будемо вважати, жорсткою в поперечному перерізі і не навантаженою в осьовому напрямку та такою що має незначні відхилення від прямолінійності. При цьому недеформована вісь балки збігається з викривленою геометричною віссю умовно невагомого корпусу. Податливості опор цієї балки складаються з податливостей в радіальному напрямку бандажів, підбандажних обичайок, податливостей опорних роликів на згин, фундаменти і їх підстав на стискання. В розрахунковій схемі будемо також вважати, що опори розташовані з відхиленнями від місць розташування передбачених проектом.

Корпус сучасної агрегату виготовлено з окремих обичайок. Значні розміри корпусу, його власна маса призводять до того, що контроль осі корпусу, як геометричного об'єкту з достатньою точністю в умовах дії земного тяжіння неможливий. Форма осі корпусу буде визначатися розташуванням опорних роликів на які корпус встановлено.

Разом з цим, залежність деформацій фізичних тіл від сил, що на них діють призводить до того, що тиск корпусу агрегату на опори викликає їх деформування. Деформування опор призводить до зміни форми осі обертання корпусу агрегату.

В процесі обертання змінюються навантаження, що діють на опори, на корпус. Змінюються їх деформації. Просторово змінюється і вісь корпусу, і вісь його обертання. Форми вказаних геометричних об'єктів впливають на напруження, що виникають в деталях агрегату. Знання форми викривлення корпусу агрегату надає можливість усунення цього дефекту під час ремонту. Тому встановлення реальної форми осі корпусу агрегату, характеру розташування опор з урахуванням сумісності їх дії та впливу земного тяжіння актуальна науково-технічна задача.

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

$$P_j^g = p_j^g + (\delta_{ij})^{-1} [\Delta_{oi}^g + \Delta_{ki}^g \cos(T + \beta_i)], \quad (1)$$

$$P_j^z = p_j^z + (\delta_{ij})^{-1} [\Delta_{oi}^z + \Delta_{ki}^z \sin(T + \beta_i)],$$

де  $p_j^g$ ,  $p_j^z$  – вектори реакцій опор при прямолінійному їх розташуванні та прямолінійному корпусі;

$\delta_{ij}$  – матриця одиничних переміщень;

$\Delta_{oj}^g$ ,  $\Delta_{oj}^z$ ,  $\Delta_{kj}^g$ ,  $\Delta_{kj}^z$  – вектори зміщень опор та відхилень геометричної осі корпусу агрегату

від прямої лінії;

$T$  – поточний кут повороту корпусу;

$\beta_i$  – кут нахилу площини викривлення корпусу на  $i$ -тій опорі.

Матриця одиничних переміщень:

$$\delta_{ij} = \Delta_{ij} + f_{ij} + \varepsilon_{ij}, \quad (2)$$

де  $\Delta_{ij}$  – 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;

$\varepsilon_{ij}$  – діагональна матриця одиничних деформацій проміжних опор.

Останні дві матриці включають і поперечні деформації корпусу в районі опор, і деформації опорних роликів. Застосування гумованих роликів збільшує їх деформації. Відповідно зростають значення самої матриці. Входження цієї матриці у вираз визначення зусиль (1) з від'ємним знаком у степені вказує на те, що зростання пружних деформацій опор веде до зменшення відхилень навантажень від проектних. При цьому таке зменшення відбувається як при застосуванні пружних крайніх та і середньої опор.

Визначення дефектів спірання запропоновано здійснювати як під час зупинки так і під час роботи агрегату за значеннями опорних реакцій. Водночас, різні значення кутів нахилу площин розташування максимальних відхилень осі агрегату вказують на можливе просторове викривлення корпусу агрегату. З урахуванням відсутності інформації про значення цих кутів, в роботі запропоновано визначати викривлення осі обертання агрегату шляхом визначення середніх навантажень на опори агрегату при положеннях корпусу (через  $180^\circ$  його повороту).

Для балки на дискретних пружних опорах матриця одиничних переміщень опор:

$$\delta_{ij} = k_{ij} + f_{ij} + e_{ij} \quad (3)$$

де  $k_{ij}$  – матриця одиничних переміщень корпусу, без урахування його поперечних деформацій в районі опор та за умови, що крайні опори абсолютно жорсткі;

$f_{ij}$  – матриця впливу деформацій крайніх опор;

$e_{ij}$  – діагональна матриця пружних деформацій проміжних опор.

Матриця одиничних переміщень корпусу як оболонки постійного поперечного перерізу за умови відсутності викривлення плоских поперечних перерізів над опорами

$$k_{ij} = \frac{L - y_i}{\pi EhL} \left\{ \left[ 2[1 + \mu] \frac{y_j}{R} + \frac{1}{3} \left( \frac{y_j}{R} \right)^3 \right] \frac{L - y_j}{L} - \left[ 2[1 + \mu] \frac{L - y_j}{R} + \frac{1}{3} \left( \frac{L - y_j}{R} \right)^3 \right] \frac{y_j}{L} \right\} +$$

$$+ \frac{y_j}{\pi EhL} \left[ 2[1 + \mu] \frac{L - y_i}{R} - \frac{1}{3} \left( \frac{L - y_i}{R} \right)^3 \right] -$$

$$- \frac{L - y_j}{\pi EhL} \left[ 2[1 + \mu] \frac{y_j - y_i}{R} - \frac{1}{3} \left( \frac{y_j - y_i}{R} \right)^3 \right] - \frac{(L - y_i) y_j (y_j - y_i)^2}{\pi EhLR \left( \frac{y_j - y_i}{R} \right)^2}$$

де  $L$  – відстань поміж крайніми опорами;

$y_j, y_i$  – відстань поміж нульовою та відповідно  $i$ -тою та  $j$ -тою опорами;

$E, \mu$  – модуль пружності та коефіцієнт Пуансона матеріалу корпусу агрегату;

$R, h$  – радіус та товщина оболонки корпусу агрегату.

Наведені залежні показують зв'язок поміж навантаженнями на опори, відхиленнями осі корпусу печі від прямої лінії та похибок встановлення роликів опор. Таким чином контроль навантажень дозволяє з більшою точністю визначати дефекти спірання багато опорної печі.