

ВРАХУВАННЯ ПРУЖНИХ ДЕФОРМАЦІЙ ОПОР ОБЕРТОВИХ ПЕЧЕЙ ПІД ЧАС МОНТАЖНО-НАЛАГОДЖУВАЛЬНИХ РОБІТ

© Кузьо І.В., Дзюбик Л.В., 2009

Досліджено вплив пружних деформацій опорних вузлів обертової печі на положення її осі обертання. Розглянуто випадки ремонтного видалення опор із визначенням переміщень та діючих навантажень на корпус. Показано, що неврахування пружності опор призводить до неточності у визначеннях положення опорних вузлів обертових печей під час монтажно-налагоджувальних робіт. Запропоновано підхід для визначення положення осі обертання за пружними деформаціями опор.

Investigational influence of resilient deformations of supporting knots of circulating stoves on position of its ax of rotation. The cases of repair delete of supports are considered with determination of moving and operating here loadings on a corps. It is retained that the not account of resiliency of supports results in inaccuracy in position-finding supporting knots of circulating stoves at editing-adjusting works. Approach is offered for position-finding ax of rotation after resilient deformations of supports.

Актуальність теми. Безвідмовна експлуатація обертових печей, яка потребує значних енергетичних та трудових ресурсів, безпосередньо визначається якістю монтажно-налагоджувальних робіт. Неточності встановлення просторового положення опорних вузлів збільшують матеріальні затрати та не завжди вчасно усуваються. Тому застосування методик, що якнайповніше враховують їхні конструктивні особливості, є своєчасним та раціональним.

Постановка проблеми та аналіз останніх досягнень і публікацій. Під час капітального ремонту обертових печей часто виникає необхідність часткового або повного демонтажу деталей опорного вузла [1, 2]. Важливим є врахування пружних деформацій несучих елементів решти опорних вузлів [3, 4]. Досвід показує, що вони, залежно від навантаження, можуть істотно змінювати просторове положення осі обертання корпусу печі та впливати на його залишкову міцність загалом [5, 6]. Тому для забезпечення необхідних експлуатаційних характеристик конструкції, усунення можливих похибок під час встановлення її масивних елементів, а також підвищення продуктивності і економічності ремонтних робіт потрібно застосовувати методи уточненого попереднього розрахунку.

Мета роботи. Визначення положення опорних вузлів із врахуванням пружних деформацій решти опор обертової печі під час виконання монтажно-налагоджувальних робіт.

Основний матеріал. Застосуємо запропонований в роботі [4] метод умовного поділу на окремі елементи опорного вузла та вивчення їх взаємодії із переміщеннями під дією одиничної сили. Це дасть змогу визначити пружні характеристики опор і величину зміщення осі обертання від дії прикладеного навантаження. Для цього визначимо відповідні коефіцієнти жорсткості ґрунту, фундаменту, опорної рами, корпусу підшипника опорного вузла, контактної взаємодії підшипника і посадочного місця, осі опорного ролика з підшипником, підшипника, ролика з віссю, бандажа з опорним роликом, а також жорсткість бандажа та контактної взаємодії бандажа із корпусом. Величину прикладеного до вузла навантаження (Q) вибираємо в діапазоні від 1200 КН до 10000 КН. Прийняті

значення типові для більшості обертових печей, що використовуються в промисловості [1, 4]. У результаті аналізу прийнятих коефіцієнтів та можливих переміщень під дією зовнішніх сил можна виділити діапазон мінімальних $K_{z \min}=8.7591234 \cdot 10^8$, Н/м та максимальних $K_{z \max}=12.367663 \cdot 10^8$, Н/м значень приведеної жорсткості вузла.

Дослідження впливу пружних деформацій на положення осі обертання виконувалося на прикладі восьмиопорної обертової печі. Для розрахунку була прийнята модель нерозрізної балки на жорстких та пружних опорах. Довжина прогонів, їх переріз, діючі навантаження та пружні характеристики опор є відомими. Величину діючих у опорному вузлі та корпусі печі зусиль, моментів і переміщень визначали за допомогою спеціально розробленого програмного забезпечення [3].

Результати обчислень наведено в табл. 1. Тут R_n , z_n , – реакція та зміщення відповідної n -ї опори корпусу; M_n – опорний момент; $K_{z=\infty}$ – для випадку абсолютно жорстких опор (поперечний переріз корпусу також не деформується).

Таблиця 1

Переміщення та навантаження опор корпусу печі

Опора, n		1	2	3	4	5	6	7	8
$R_n \cdot 10^6$, Н	$K_{z=\infty}$	2,897	4,070	3,653	3,947	4,266	3,665	5,426	3,687
	$K_{z \max}$	2,939	3,984	3,734	3,949	4,174	3,924	5,178	3,766
	$K_{z \min}$	2,929	3,959	3,756	3,946	4,124	3,986	5,112	3,789
$M_n \cdot 10^6$, Н·м	$K_{z=\infty}$	-5,010	-7,863	-5,860	-5,764	-8,234	-5,512	-11,240	-2,121
	$K_{z \max}$	-5,010	-7,022	-6,416	-5,782	-7,555	-7,163	-9,177	-2,121
	$K_{z \min}$	-5,010	-6,761	-6,555	-5,774	-7,443	-7,541	-8,594	-2,121
z_n , мм	$K_{z \max}$	-2,37	-3,22	-3,02	-3,19	-3,35	-3,17	-4,19	-3,05
	$K_{z \min}$	-3,36	-4,52	-4,29	-4,51	-4,71	-4,55	-5,84	-4,33

Аналіз наведених результатів показує, що наявність пружних деформацій в перерізі опори приводить до перерозподілу силових навантажень на обертову піч. Зменшення приведеної жорсткості опорного вузла спричиняє зменшення пікових навантажень опорних моментів та деякого “вирівнювання” величини реакції опор. Причому опорні моменти змінюються істотніше, як реакції на відповідних опорах: зміна опорних моментів становить до 25 %, а реакцій опор до 10 %.

Під час монтажу і ремонту корпусів обертових агрегатів можливе видалення однієї з опор обертової печі. Важливо знати величину провисання корпусу, яка може характеризувати ймовірність його руйнування. Також це важливо для виконання робіт із заміни зношених внаслідок експлуатації ділянок печі. Нижче наведено результати обчислень випадку жорстких та пружних опор (табл. 2). Тут $R_n = 0$ – відсутність реакції, тобто усунення n -ї опори, Z_n – вертикальне переміщення опори.

Таблиця 2

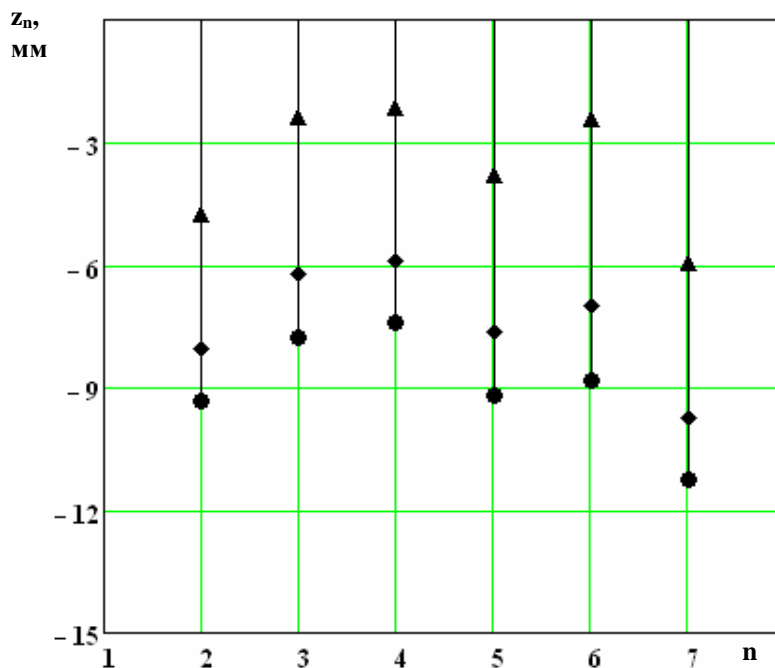
Величина провисання корпусу у разі видалення опори

Опора, n		1	2	3	4	5	6	7	8
Z_n , мм	$K_{z=\infty}$	-104,73	-23,04	-10,37	-10,11	-14,70	-12,03	-24,45	-124,43
	$K_{z \max}$	-125,79	-30,09	-16,75	-16,54	-22,05	-19,38	-32,09	-156,12
	$K_{z \min}$	-133,24	-32,65	-19,28	-19,03	-24,83	-22,29	-35,01	-167,03

Аналіз результатів показує, що врахування пружних властивостей елементів опорних вузлів печей істотно збільшує величину провисання корпусу печі. Залежно від приведеного коефіцієнта жорсткості та прикладеного навантаження воно може бути більшим на величину до 70 % порівняно із даними для абсолютно жорстких опор. Найбільший прогин корпусу спостерігається у разі

усунення крайніх опор. Зменшення приведенного коефіцієнта жорсткості опорного вузла збільшує величину провисання та навпаки, різниця становить до 20–30 %. Порівняльний аналіз із даними табл. 2 показує, що зміна висотного положення є найвідчутнішою на двох сусідніх опорах та знижується із віддаленням. У разі видалення крайніх опор характерним є виникнення значного згинного моменту, що може розвантажувати інші опорні вузли із вигинання корпусу догори.

Відомо [3], що під час ремонтної заміни частини корпусу необхідно його опустити на задану величину для отримання паралельності торцевих перерізів вирізаної частини. Тоді під час обертання печі у місцях зварювання не виникатимуть різнознакові напруження, вісь обертання стане плавною кривою. Величина опускання опори визначається рівністю нулеві опорного згинального моменту. Результати обчислення необхідних вертикальних переміщень наведено на рисунку. Значення для крайніх опор (через наявність консолі) є відсутні.



Вертикальні переміщення опор для $M_n=0$:

n – номер опори; z_n – переміщення n -ї опори при $K_z = \text{¥} (\cdot)$, $K_{z\max} (")$, $K_{z\min} (\blacktriangle)$.

Як бачимо, неврахування пружних властивостей елементів опорних вузлів призводить до недостатньо повного встановлення паралельності торців корпусу печі. Враховуючи значні розміри зварюваної деталі (діаметр 5 м, товщина 30–50 мм) це призводить до значних перевитрат зварювальних матеріалів та зниження продуктивності ремонту. Також подальша експлуатація, внаслідок локальних збурень напруженого стану, значно знижуватиме залишковий ресурс корпусу. Різниця між вертикальними переміщеннями печі на жорстких та пружних опорах є достатньо значна та становить до 70 % залежно від прикладеного навантаження.

Величина вертикальних переміщень залежить від приведенної жорсткості опор. Якщо зміна пружних властивостей задається однаковою для усіх опор, то спостерігається відповідна лінійна залежність переміщень. У цьому випадку вона перебуває в межах від 3 до 6 мм, що впливає на визначення реальної осі обертання. Відповідно до теоретичних положень про нерозрізну балку на пружних опорах зміна пружної лінії на n -й опорі викликається опорними моментами на двох сусідніх опорах та зовнішнім навантаженням. Такий взаємний вплив приводить до нелінійності зміни отримуваних значень опорних моментів та реакцій. Отже, для отримання прямолінійної осі обертання необхідно виконати вертикальне регулювання положення опор печі. Необхідні переміщення становлять до 5,5 мм максимально. Запропоновано підхід до визначення осі обертання

печі із врахуванням пружних деформацій її опор. Зокрема для зменшення регулюючих переміщень необхідним є паралельне зміщення (h , мм) осі донизу відносно вихідного значення. Його величина визначається як середнє значення усіх пружних деформацій. Залежно від прийнятих значень приведеної жорсткості воно становитиме в такому разі 3,19 мм для $K_z \max$ та 4,51 мм для $K_z \min$ відповідно. Тоді величина регулюючих переміщень для кожної з опор становитиме значно менше значення: до 1,5 мм в розглядуваному випадку. Як бачимо, встановлення нової осі обертання зменшує обсяг робіт для отримання прямолінійної осі обертання.

Висновки. Під час виконання ремонтно-налагоджувальних робіт обов'язково потрібно враховувати пружні властивості елементів опорних вузлів. Величина приведеної жорсткості є достатньою для перерозподілу діючих в корпусі та на опори обертової печі силових навантажень: опорні моменти змінюються на величину до 25 %, а реакції опор до 10 %. Прогнозована величина провисання корпусу під час видалення опор зростає, у разі врахування їхніх пружних властивостей, на величину до 70 %. Найбільший прогин корпусу спостерігається під час усунення крайніх опор. Зменшення приведеного коефіцієнта жорсткості опорного вузла збільшує величину провисання та навпаки (зміна до 20–30 %). Неврахування пружності опор у разі ремонтної заміни окремих ділянок корпусу призводить до зростання матеріальних витрат та зниження продуктивності зварювального процесу. Зміна висотного положення є найвідчутнішою на двох сусідніх опорах та знижується із віддаленням. Під час видалення крайніх опор характерним є виникнення значного згинного моменту, що може розвантажувати інші опорні вузли із вигинання корпусу догори. Запропоновано підхід до визначення осі обертання печі із врахуванням пружних деформацій її опор, що істотно зменшує обсяг робіт регулюючих переміщень. У такому разі при величині зміщення осі на 4,51 мм, регулюючі переміщення становитимуть до 1,5 мм максимально.

1. Бездробний О.И. и др. *Обслуживание наземного цементировочного оборудования: Справочник.* – М.: Недра, 1996. – 480 с. 2. Кузьо И.В., Микольский Ю.Н., Шевченко Т.Г. *Современные методы контроля оборудования.* – Львов: Вища шк., 1982. – 143 с. 3. Кузьо І.В., Дзюбик Л.В. *Вплив положення геометричної осі на міцність обертових агрегатів // Вісн. Нац. ун-ту “Львівська політехніка”.* – 2007. – № 588: Динаміка, міцність та проектування машин і приладів. – С. 53–57. 4. Кузьо І.В., Дзюбик Л.В. *Дослідження пружних деформацій опорних вузлів та їх вплив на силові характеристики обертових печей // Вісн. Нац. ун-ту “Львівська політехніка”.* – 2008. – № 613: Оптимізація виробничих процесів і технічний контроль у машинобудуванні та приладобудуванні. – С. 106–110. 5. Дзюбик Л.В. *Автоматизація процесу технічного контролю агрегатів із нахиленою віссю обертання // Зб. наук. праць міжнар. конф. “Теорія та практика раціонального проектування, виготовлення і експлуатації машинобудівних конструкцій”.* – Львів: КІНПАТPI ЛТД, 2008. – С. 212–214. 6. Кузьо І.В., Романуха В.М., Дзюбик Л.В. *Прогнозування залишкової міцності корпусів обертових агрегатів неперервної дії // Машинознавство.* – 2008. – № 7. – С. 41–45.