

УДК 66.041.491

ПІДВИЩЕННЯ РЕСУРСУ РОБОТИ БАНДАЖІВ ОБЕРТОВОЇ ПЕЧІ

Дегодя Т.В., студентка, Бичковський Ю.О., студент, В.Ю. Щербина, к.т.н., доцент
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ

В роботі досліджується конструкція опірною механізму для підвищення ресурсоспроможності бандажів обертової печі випалювання. Проведений чисельний експеримент для різних варіантів розміщення роликів опор та виконаний аналіз результатів розрахунку. Вибране запропоноване технічне рішення, що дозволяє зменшити величину напружень, підвищити ресурс роботи, надійність бандажу, корпусу, футерівки та збільшити термін їх експлуатації.

Вступ. Обертові теплові агрегати барабанного типу - обертові печі, знайшли широке застосування в багатьох галузях промисловості, де вони використовуються як основні пристрої в процесі обробки сировинного матеріалу. Однак найбільше поширення отримали в будівельній промисловості, де у переважній більшості випадків є основними машинами в технологічній лінії [1].

Ефективність застосування обертових печей в значній мірі залежить від раціонального використання палива і правильного вибору конструктивних елементів, які повинні забезпечувати надійну роботу теплового агрегату. Важливим показниками якості роботи печі є надійність та довговічність роботи опірною механізму та бандажу, які сприймають все навантаження від маси барабана що досягає декількох тисяч тон. В зв'язку з розвитком промисловості, зростає значення раціонального використання енергетичних та сировинних ресурсів, що вимагає спеціальних заходів відносно підвищення їх надійності, безпеки і довговічності. Тому робота по розробці опірною механізму зі збільшенням ресурсу його роботи є вкрай актуальною.

Для вирішення питань їх ефективного застосування необхідно проведення серії експериментальних досліджень. Однак проведення фізичного експерименту на реальному об'єкті обмежені або трудомісткі, що пояснюється великою вартістю експериментальних досліджень, а також труднощами проведення експериментів, що виходять за рамки штатного функціонування печі. Найбільш доцільно проводити дослідження при використанні більш повних математичних моделей та сучасних обчислювальних комплексів, що дає можливість реалізувати в чисельному експерименті системний підхід до аналізу поведінки машин і апаратів в різних експлуатаційних режимах і зробити вибір раціональних технологічних і конструктивних параметрів їх роботи.

Метою даної роботи є зменшення викривлення повздожньої осі барабану при зміні напрямку навантаження на упорний пристрій, покращення теплової ефективності, підвищення ресурсу роботи, надійності бандажа, корпусу, футерівки та збільшення терміну експлуатації. Для цього пропонується змінити опірною механізм, ефективність якого вище від існуючих, що відкриває широкі перспективи для його впровадження в технологічний процес.

Постановка задачі. На сучасних обертових печах часто використовуються бандажі уварені в корпус, так як це істотно спрощує налагодження та ремонт, але підвищує експлуатаційні вимоги, та як недотримання їх призводить до підвищеного зносу і може стати причиною аварійної зупинки печі.

Конструкція опірною механізму та бандажа з підвищеною надійністю в експлуатації приведено на рис.1. Зниження величини внутрішніх напружень і забезпечення рівномірного їх розподілу досягається за рахунок встановлення теплоізоляційного шару на торцевих поверхнях бандажа, що зменшує температурні напруження та раціонального встановлення опірних роликів, що забезпечує їх рівномірність.

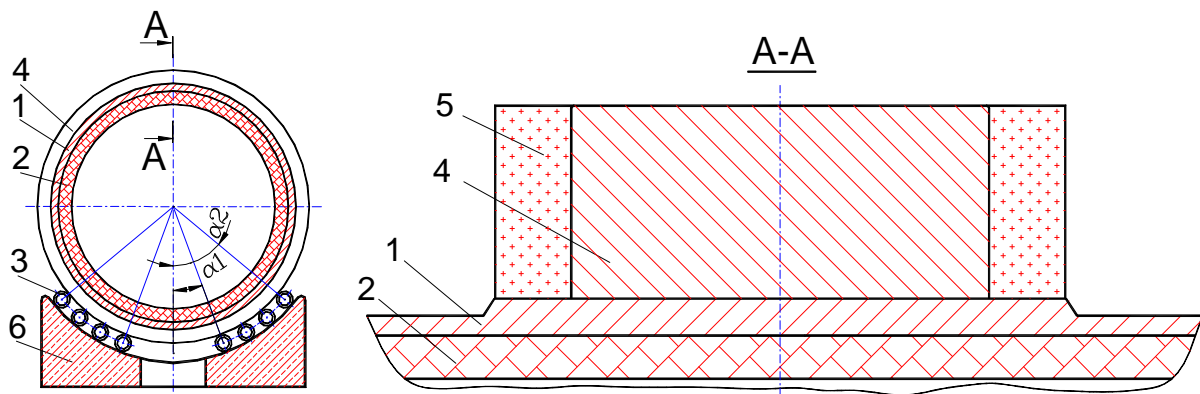


Рис.1 – Розташування опірних роликів

1 – катки, 2 – вісь, 3 – бокова пластина, 4 – опірні ролики, 6 – фундаментна рама, 7 – пружна доріжка, 8 – гідро подушка, 12 – барабан, 13 – бандаж

Вказана ціль досягається тим, що з метою підвищення довговічності печі, зрівноваження навантаження на ролики і бандаж, покращення теплової ефективності, запропоноване комплексне удосконалення існуючого обладнання, що передбачає модернізацію опірною механізму [1] шляхом встановлення оптимальної кількості опірних роликів з кріпленням під відповідним кутом до корпусу печі, що визначається α_1 та α_2 (рис.1), а також додатково теплоізоляцією торцевих поверхонь бандажів.

Для визначення працездатності запропонованого опірною механізму та доцільності додаткової теплоізоляції, необхідно дослідити напружено-деформований стан при одночасному врахуванні всіх силових факторів навантаження обертової печі, включаючи опірний механізм та футерівку; провести тепловий та механічний розрахунок базової та модернізованої конструкції; визначити приведені, теплові та механічні напруження; чисельно обґрунтувати важливість модернізації з точки зору ресурс- та енергоефективності.

Математична модель. Для вирішення задачі використовувалась інтегрована система VESNA, розроблена на кафедрі ХПСМ НТУУ „КПІ” [4]. Процесор системи VESNA дозволяє виконувати розрахунки на міцність та моделювати гідродинамічні та теплові процеси. При обчислюванні використовуються алгоритми що базуються на скінченого-елементному аналізі конструкції.

Обертова піч з опірною механізмом моделюється як 3D конструкція. Вона включає обичайку корпусу печі, бандажі, вінцеву шестерню та футерівку, виконану з вогнетривів з урахуванням силових навантажень, викликаних дією масових сил. Задача вирішувалась в статичній постановці.

В даній роботі розглядається обертова піч 4,0х60м Криворізьського цементного заводу с ввареним бандажем. Розрахункова модель включає обичайку корпусу печі, бандажі, вінцеву шестерню та футерівку, виконану з вогнетривів з урахуванням силових навантажень, викликаних дією гравітаційних сил. Задача вирішувалась в статичній постановці з врахуванням поля температур. Для врахування опірною механізму в розрахунок вводиться додатковий фрагмент, що моделює опору, яка не дає бандажу можливості зміщуватись по нормалі.

Конструктивні елементи печі, приведені на рис.2. Для врахування температурного стану використовувались експериментальні дані відносно температур футерівки всередині печі. Коефіцієнт тепловіддачі в зовнішнє середовище від корпусу и бандажів визначається по емпіричній залежності [1] $\alpha_{o.c.} = 3.5 + 0.062t_K$.

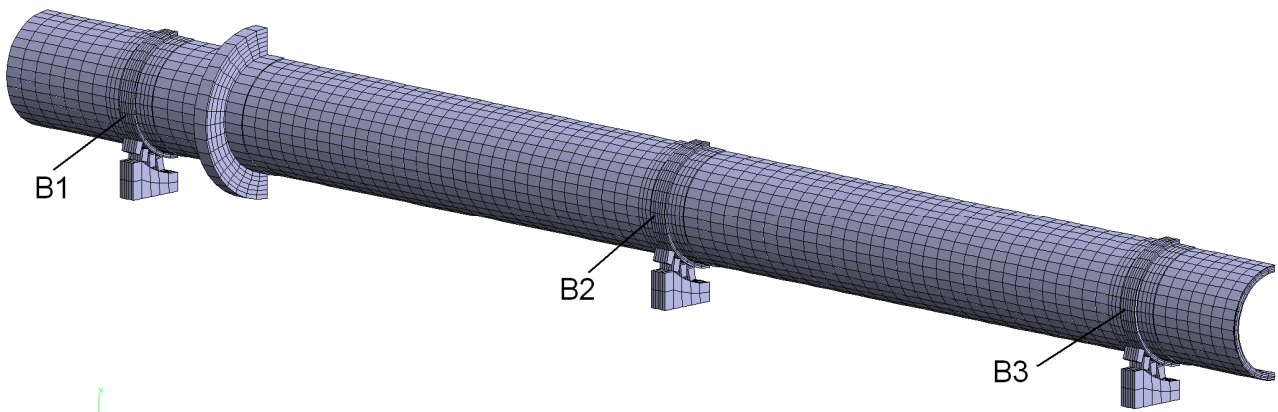


Рис.2 – Розрахункова модель
B1, B2, B3 – бандажі обертової печі

Аналіз результатів. Результати розрахунку переміщення, з коефіцієнтом деформації $K=200$, приведені на рис.3. Максимальний прогин по вертикальному перерізу становить 13.5 мм, в поздовжньому 130.8 мм.

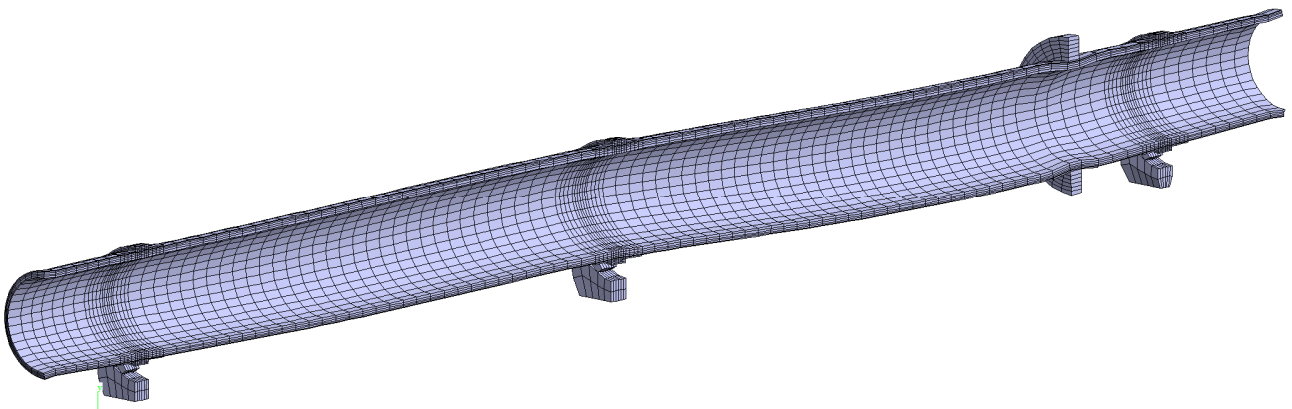


Рис.3 – Переміщення ($K=200$)

Для аналізу працездатності, по енергетичній теорії міцності визначались приведені напруження, які показані на рис.4.

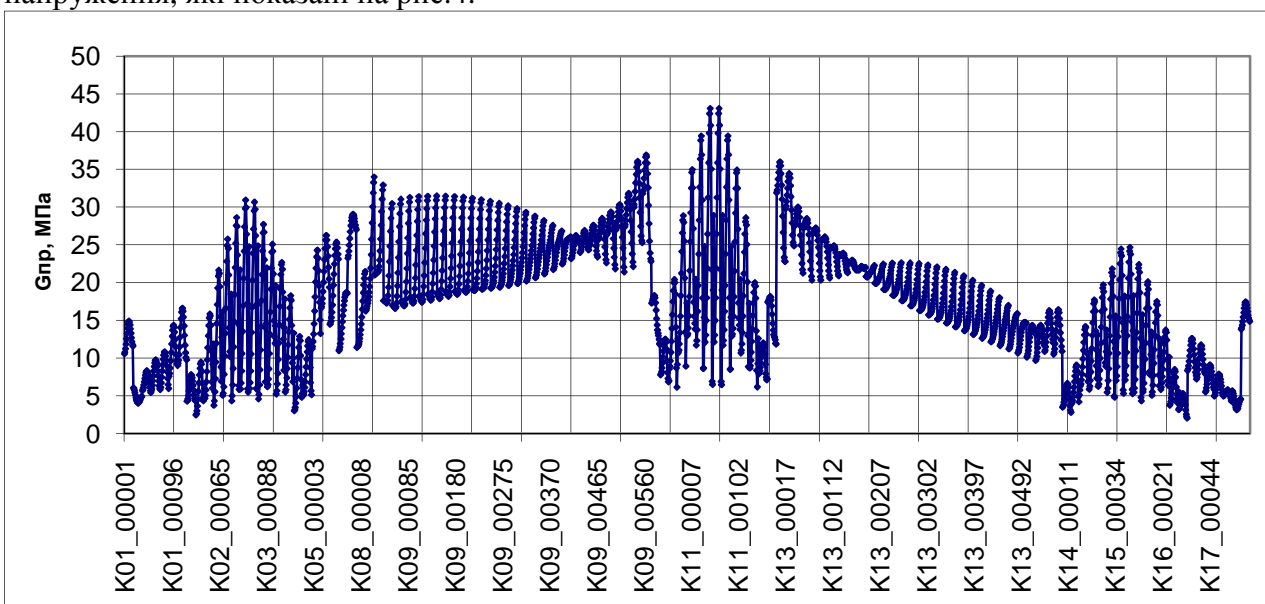


Рис.4 – Приведені напруження корпусу обертової печі

З графіку видно, що максимальні локальні напруження виникають в зоні встановлення бандажів. Максимальні приведені напруження на перевищують допустимих, які становлять для корпусу обертової печі $[G]=65$ МПа.

Напруження в бандажах показані на рис.5. Максимальні приведені напруження в бандажі В1 становлять 43.4 МПа, в В2 – 59.3 МПа, В3 – 36.4 МПа.

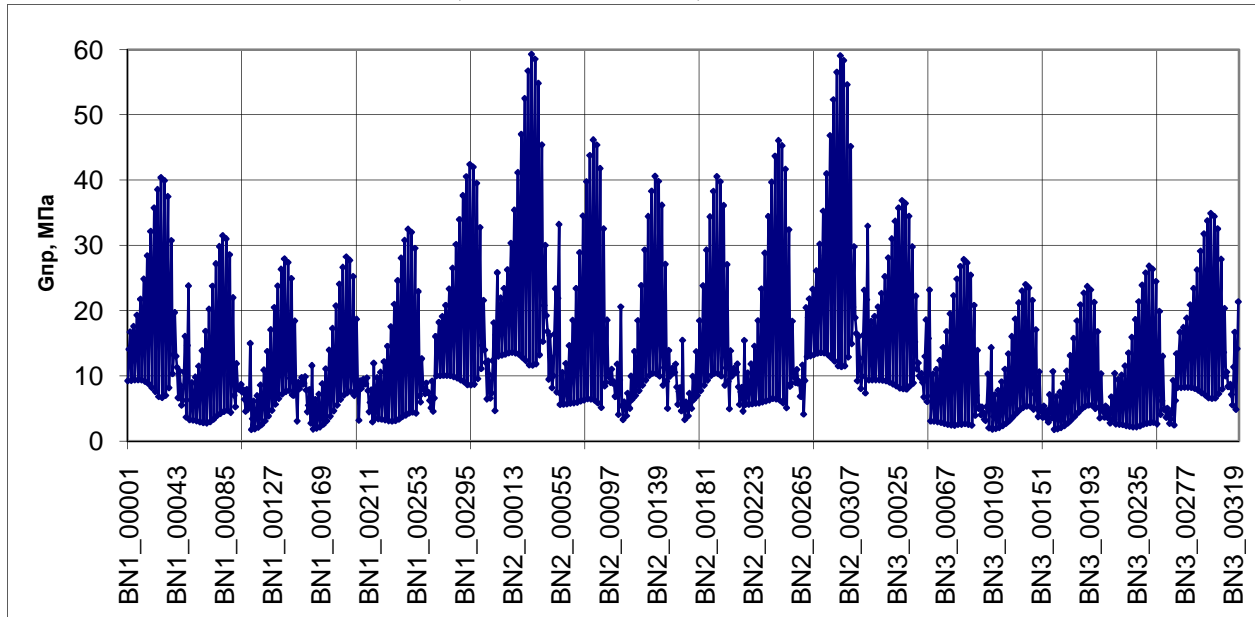
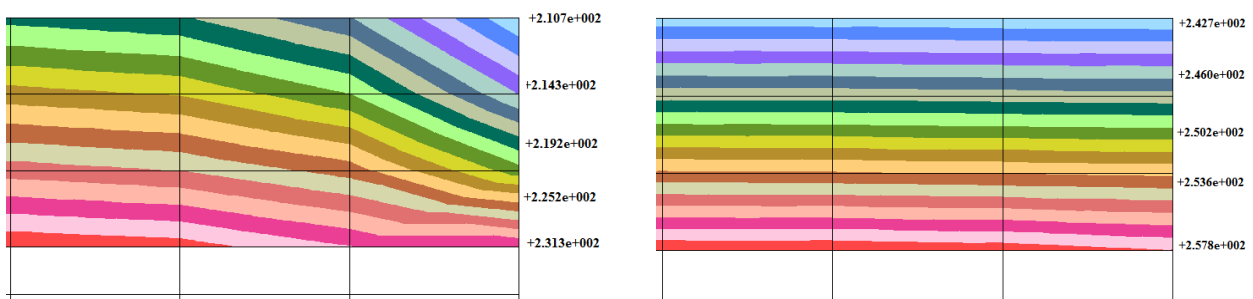


Рис.5 – Приведені напруження бандажів обертової печі

Слід зазначити, що в роботі було моделювались різні варіанти розташування опірних роликів та досліджувався вплив їхньої кількості та кут встановлення, який змінювався в інтервалі від $\alpha_1=0^\circ$ до $\alpha_2=70^\circ$, вказаних на рис.1. Однак встановлення тільки опірних роликів, не дозволило суттєво зменшити напружено-деформований стан бандажу. Це пояснюється тим, що температурні напруження суттєво перевищують напруження викликані дією гравітаційних сил.

Значні температурні напруження в бандажі викликані великим градієнтом температур, що виникають за рахунок його інтенсивного охолодження навколишнім середовищем. На рис. ба показані температурні поля в перетині стандартного бандажу, на рис. бб в бандажі з теплоізованими торцевими поверхнями.



а) – стандартний бандаж

б) – бандаж з теплоізованими поверхнями

Рис.6 – Розподілення температур в перетині бандажу

З рисунків видно, що температура розподіляється більш рівномірно в тілі бандажу, що дає підстави стверджувати про забезпечення більш рівномірного напружено-деформованого стану.

При проведенні чисельного експерименту для опірної пристрою моделювались різні варіанти розташування опірних роликів, досліджувався вплив їхньої кількості та кут кріплення, по відношенню до бандажів. В результаті розрахунків, було встановлено, що найменші приведені напруження спостерігаються при встановленні опірних роликів під кутом $\alpha_1=20^\circ$ до кута $\alpha_2=50^\circ$. Для цього випадку графік приведених напружень для бандажів показано на рис. 7.

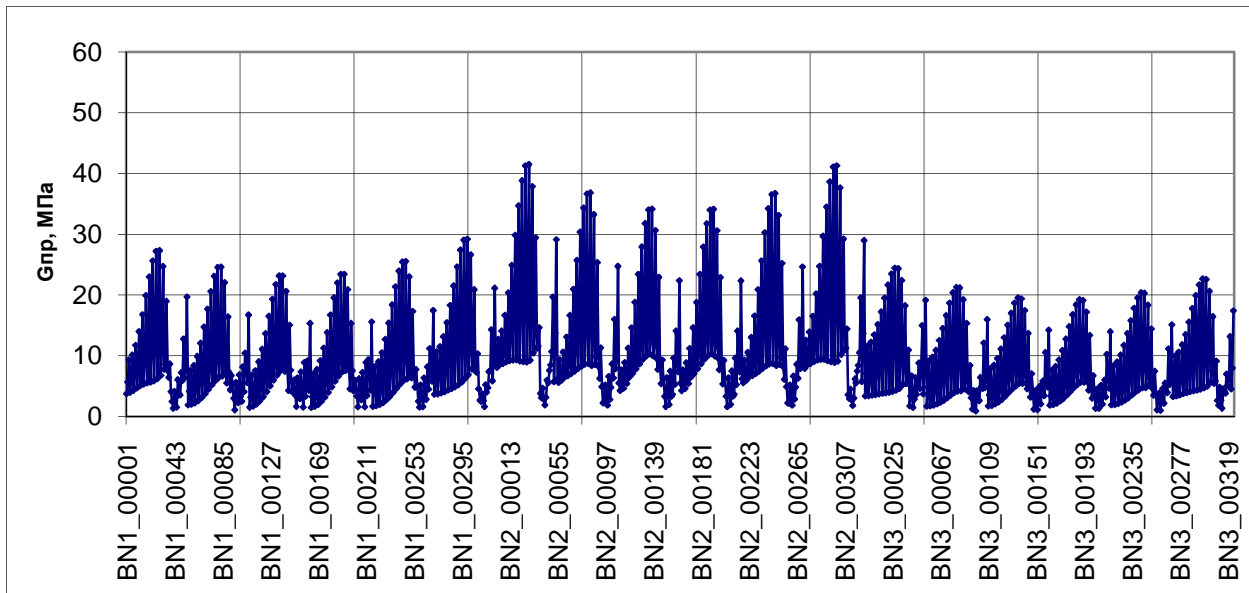


Рис. 7 – Приведені напруження в бандажах ($\alpha_1=20^\circ$, $\alpha_2=50^\circ$)

Як слідує з результатів розрахунку запропонований варіант розташування опорних роликів та теплоізоляція торцевої поверхні бандажу зменшує максимальні напруження, нормалізує і розподіляє їх більш рівномірно між поверхнею бандажу та роликами. Отримані дані свідчать про доцільність запропонованої комбінованої модернізації.

Для визначення ресурсоспроможності бандажів будемо враховувати, що так як границя міцності матеріалу бандажу істотно вища допустимих напружень $[G_v]=380-420$ МПа, то визначати ресурс роботи можемо з точки зору малоциклової втоми. Для цього скористаємось відомою залежністю [5]:

$$G_a N^\mu = const,$$

де G_a – амплітуда напружень; μ – показник ступеню; N – число циклів до руйнування.

Значення μ та $const$ визначаються по характеристикам матеріалу. Показник ступеню $\mu=1/2$ для більшості матеріалів [5]. Якщо врахувати, що матеріал бандажу не змінюється то можна записати:

$$G_{1a} \cdot N_1^\mu = G_{2a} \cdot N_2^\mu,$$

або

$$N_2 = N_1 \left(\frac{G_{1a}}{G_{2a}} \right)^{\frac{1}{\mu}},$$

Амплітуда та середнє напруження циклу визначаються з залежностей [6]:

$$G_a = \frac{G_{\max} - G_{\min}}{2}; \quad G_m = \frac{G_{\max} + G_{\min}}{2},$$

де G_{\max} , G_{\min} – максимальне та мінімальне напруження циклу.

Ресурс роботи звичайного бандажу складає 15 років, що відповідає кількості циклів (обертів печі), $N_1=4800000$ обертів.

Ресурс роботи визначається з врахуванням зовнішніх, середніх та внутрішніх волокон бандажу. Результати розрахунку представлені в таблиці.

Таблиця – Ресурс роботи бандажу обертової печі після комплексної модернізації

Бандаж	G_a (бз)	G_m (бз)	G_a (мд)	G_m (мд)	$\left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2$	Ресурс (бз=15 років)	Δ Ресурс
B1_зовнішній	36,17	65,17	29,32	52,05	1,52	22,82	7,82
B1_середній	58,94	114,54	45,97	64,94	1,64	24,65	9,65
B1_внутрішній	134,45	197,35	111,33	135,10	1,46	21,88	6,88
B2_зовнішній	38,55	93,92	27,56	70,98	1,96	29,35	14,35
B2_середній	88,10	163,13	72,29	96,74	1,49	22,28	7,28
B2_внутрішній	200,82	276,18	173,11	194,64	1,35	20,19	5,19
B3_зовнішній	22,45	53,03	17,04	42,27	1,74	26,04	11,04
B3_середній	49,43	103,62	35,44	62,97	1,95	29,19	14,19
B3_внутрішній	118,42	166,35	94,42	130,88	1,57	23,59	8,59

За результатами розрахунку, які приведені в таблиці, передбачається збільшення строку експлуатації щонайменше на 6.9 років для бандажу B1 (рис.2), 5.2 років для бандажу B2 та 8.6 років для бандажу B3. Отримані дані підтверджують ресурсоефективність впровадження запропонованих модернізацій.

Висновки

Використана методика і алгоритми розрахунку дозволяють визначати напружено-деформований стан обертових печей з урахуванням, дії як гравітаційних сил, так і термосилових навантажень в комплексній постановці, що дає можливість детального моделювання та дослідження обертової печі в процесі роботи.

Модернізація опорного механізму шляхом встановленні опірних роликів під кутом $\alpha_1=20^\circ$ до кута $\alpha_2=50^\circ$ та теплоізоляції торцевих поверхонь дозволила зменшити максимальне напруження циклу в бандажі на 30%. За рахунок оптимального розміщення опорних роликів, зменшена викривлення осі барабану (зменшився прогин на 6.5%), при більш рівномірному і симетричному розподіленню напружень по ширині бандажа.

В свою чергу, додаткова теплоізоляція торцевих поверхонь бандажів забезпечила вирівнювання градієнту температур в тілі бандажа, що підвищило теплову ефективність, експлуатації та надійності роботи конструкції в цілому.

Таким чином, запропоноване технічне рішення дозволяє зменшити напруження в опірному вузлі та збільшити ресурс використання бандажа на 5.2 – 8.6 років, що дає можливість пропонувати дану конструкцію для модернізації обертової печі.

В подальшому планується дослідити можливості роботи бандажів при зміні товщини футерівки за рахунок її зношення при роботі теплового агрегату.

Література

1. Лисиенко В. Г. Вращающиеся печи: теплотехника, управление и экология / В.Г. Лисиенко, Я.М. Щелоков, М.Г. Ладыгичев. М.: Теплотехник, В 2-х книгах. Книга 1, 2004. 688 с.
2. Патент Російська Федерація, № 977911, Опорное устройство вращающегося барабана.
3. Богданов А.И. Механическое оборудование цементных заводов. М.: Машгиз, 1961, с.269.
4. О. С. Сахаров, В. Ю. Щербина, О. В. Гондляр, В. І. Сівецький. САПР. Інтегрована система моделювання технологічних процесів і розрахунку обладнання хімічної промисловості: Навчальний посібник – К.: ТОВ “Поліграф Консалтинг”, 2006. – 156 с.
5. Г.С. Писаренко, Сопротивление материалов / Писаренко Г.С. Агаев В.А Квитка А.Л., Попков В.Г. Уманский Э.С., Учебник. – 4-е изд., перераб. и доп. – Киев: Вища школа, 1979. - 696 с.
- 6.Трощенко В. Т. Деформирование и разрушение металлов при многоцикловом нагружении. - Киев: Наук, думка, 1981. - 344 с.