

ЩЕРБИНА В. Ю., к.т.н., доц.; ДЕГОДЯ Т. В., бак.; НОВОХАТСЬКА Ю. М., асп.
 Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

ПІДВИЩЕННЯ РЕСУРСУ РОБОТИ БАНДАЖІВ ОБЕРТОВИХ ПЕЧЕЙ

Описано розрахункову модель обертової печі, що дозволяє визначити напружено-деформований стан і розподіл температур у конструктивних елементах із різними фізико-механічними властивостями. Змодельовані різні варіанти встановлення бандажа та опорних механізмів. Запропоновано технічне рішення, що дозволяє зменшити напруження в опорних вузлах і збільшити ресурс бандажа на 35...57 %. Завдяки оптимальному розташуванню опорних роликів зменшується викривлення осі барабана печі, що підвищує надійність бандажа й позитивно впливає на роботу корпусу й футерування.

Ключові слова: обертова піч, бандаж, опорний механізм, ресурс роботи.

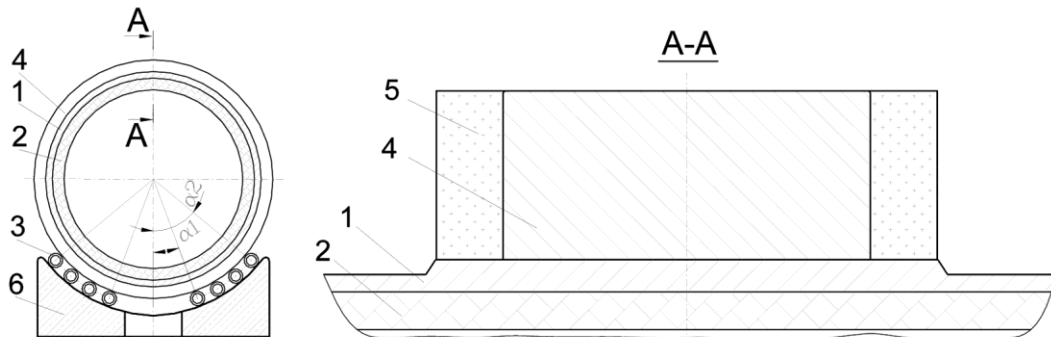
© Щербина В. Ю., Дегодя Т. В., Новохатська Ю. М., 2016.

Постановка проблеми. Обертові теплові агрегати барабанного типу – обертові печі – широко застосовують у багатьох галузях промисловості, зокрема в будівельній, де в більшості випадків вони є основними машинами технологічної лінії [1]. Важливими показниками якості печі є надійність і довговічність роботи опорного механізму й бандажу, які сприймають навантаження багатотонного барабана. Щоб забезпечити ці показники, слід змодельовувати поведінку печі за різних експлуатаційних режимів і вибрати раціональні технологічні й конструктивні параметри.

Метою статті є розроблення моделі обертової печі, що дозволяє визначити напружено-деформований стан і розподіл температур у конструктивних елементах із різними фізико-механічними властивостями, й запропонувати технічне рішення, що дозволяє зменшити напруження в опорних вузлах і збільшити ресурс бандажа.

Виклад основного матеріалу. На сучасних обертових печах часто використовують уварені в корпус бандажі, оскільки це істотно спрощує налагодження й ремонт, хоча й підвищує експлуатаційні вимоги, недотримання яких може призвести до підвищеного зносу і стати причиною аварійної зупинки печі [2].

Зменшити внутрішні напруження і забезпечити їхній рівномірний розподіл можна, установивши теплоізоляційний шар на торцевих поверхнях бандажа й рівномірно розподіливши опорні ролики за довжиною печі й закріпленням під кутами α_1 і α_2 до її корпусу (рис. 1).



1 – катки; 2 – вісь; 3 – бічна пластина; 4 – опорні ролики; 6 – рама

Рис. 1 – Розташування опорних роликів

Щоб визначити працездатність запропонованого опорного механізму й доцільність додаткового теплоізолювання, автори змодельовали напружено-деформований стан (НДС) обертової печі за допомогою системи VESNA [3]. Для моделювання використовували загальні співвідношення механіки деформованого твердого тіла [4].

Моделювання НДС виконували в два етапи. На першому розв'язували задачу теплопровідності, на другому – обчислювали деформації й напруження в рамках задачі термопружності.

Досліджували обертову піч 4,0×60 м Криворізьського цементного заводу із увареним бандажем. Її основними навантаженнями є вага корпусу, футерування, бандажів, зубчастого колеса (рис. 2).

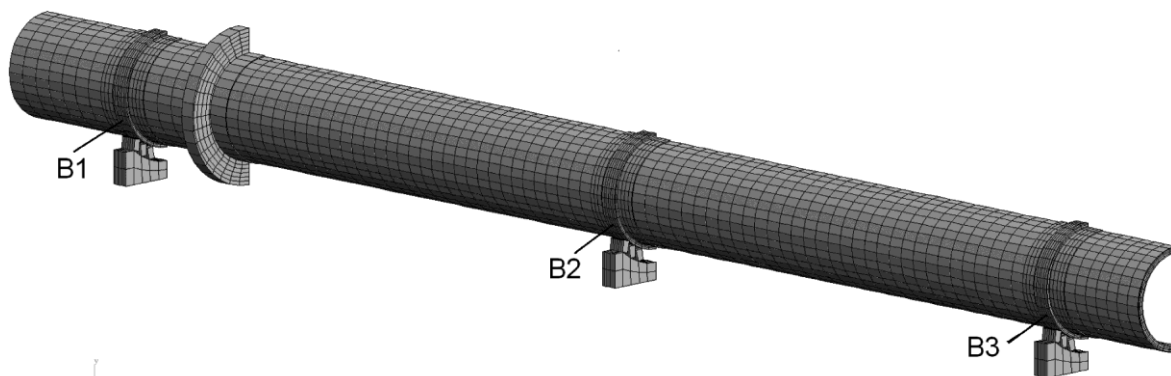


Рис. 2 – Розрахункова модель обертової печі (B1, B2, B3 – бандажі)

Вагою матеріалу, що становить 4...5 % від ваги печі, під час моделювання знехтували, проте врахували, що піч є не лише навантаженою конструкцією, але й тепловим агрегатом, в якому від впливом нерівномірних температурних полів виникають термомеханічні напруження. Для врахування наявності опорного механізму в розрахунок уведено додатковий фрагмент.

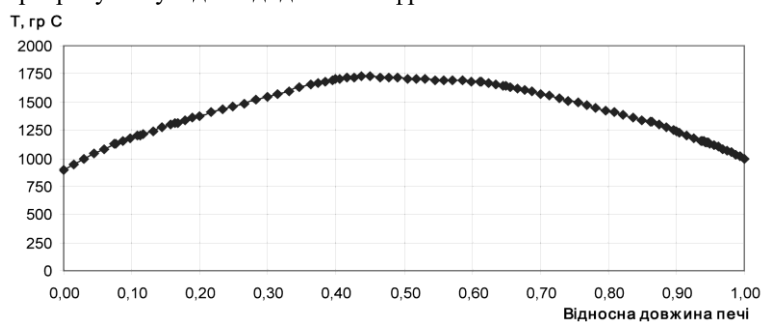


Рис. 3 – Температура газového потоку

зведені напруження виникають у зоні встановлення бандажів і не перевищують допустимі 65 МПа (рис. 5). Максимальна температура становить 266 °С (рис. 6). Відповідна точка перебуває в зоні обпалу печі. Найменшу температуру має бандаж B3 (193 °С). Максимальні зведені напруження на бандажах B1-B3 становлять відповідно 43,4; 59,3 і 36,4 МПа (рис. 7). Таку відмінність можна пояснюється різними температурними режимами роботи.

Температуру газového потоку в печі задавали за експериментальними даними (рис. 3). Коефіцієнт тепловіддачі від корпусу й бандажів у навколишнє середовище визначали за формулою $\alpha = 3,5 + 0,062t$ [2].

Моделювання дозволило встановити, що максимальний прогин печі у вертикальному перерізі становить 13,5 мм, у поздовжньому – 130,8 мм (рис. 4). Максимальні

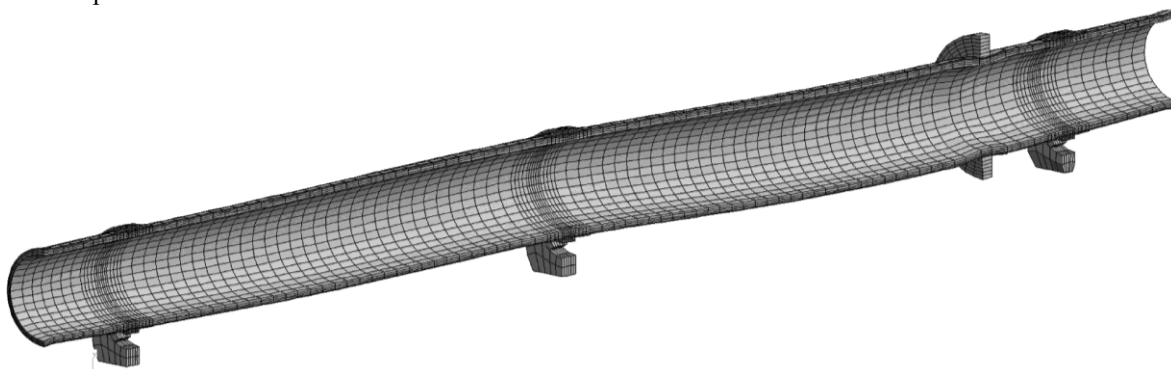


Рис. 4 – Схема переміщення (коефіцієнт деформації $K = 200$)

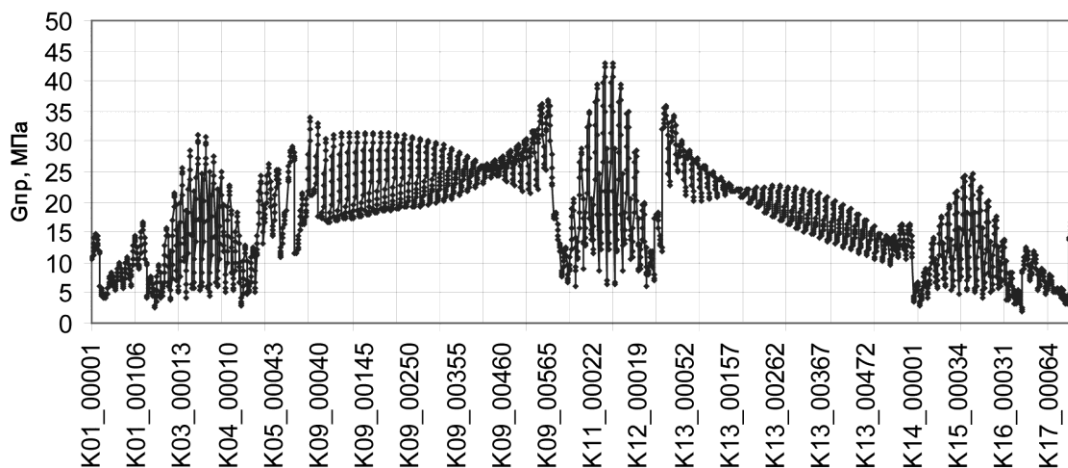


Рис. 5 – Графік зведених напружень корпусу

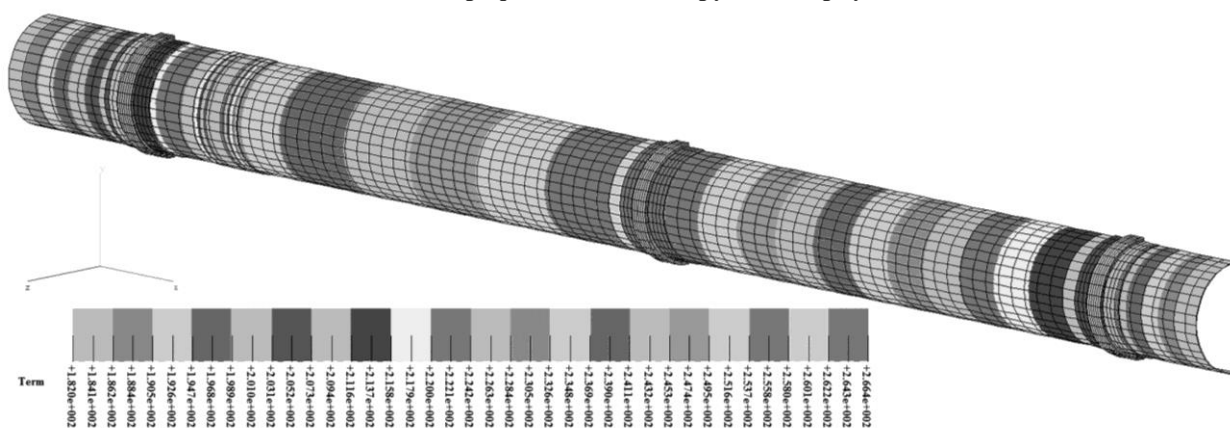


Рис. 6 – Температурне поле корпусу

Моделювали різні варіанти розташування опорних роликів та досліджували вплив їхньої кількості й кута встановлення, який змінювали від $\alpha_1 = 0^\circ$ до $\alpha_2 = 70^\circ$ (див. рис. 1). Установлено, що найменші зведені напруження спостерігаються в разі розташування роликів під кутами $\alpha_1 = 20^\circ$ і $\alpha_2 = 50^\circ$ (рис. 8).

Проте встановлення лише опорних роликів не дозволяє суттєво зменшити напруження в бандажі. Це пояснюється тим, що температурні напруження суттєво перевищують напруження від дії гравітаційних сил.

Температурні напруження в бандажі спричинені великим градієнтом температур, що виникає внаслідок контакту з навколишнім середовищем. Щоб їх зменшити, торцеві поверхні бандажа теплоізолювали, що забезпечило більш рівномірний напружено-деформований стан (рис. 9). Теплоізолювання зменшило торцевий прогин у місцях кріплення бандажів В1-В3 на 5,6; 6,4 і 4,5 %.

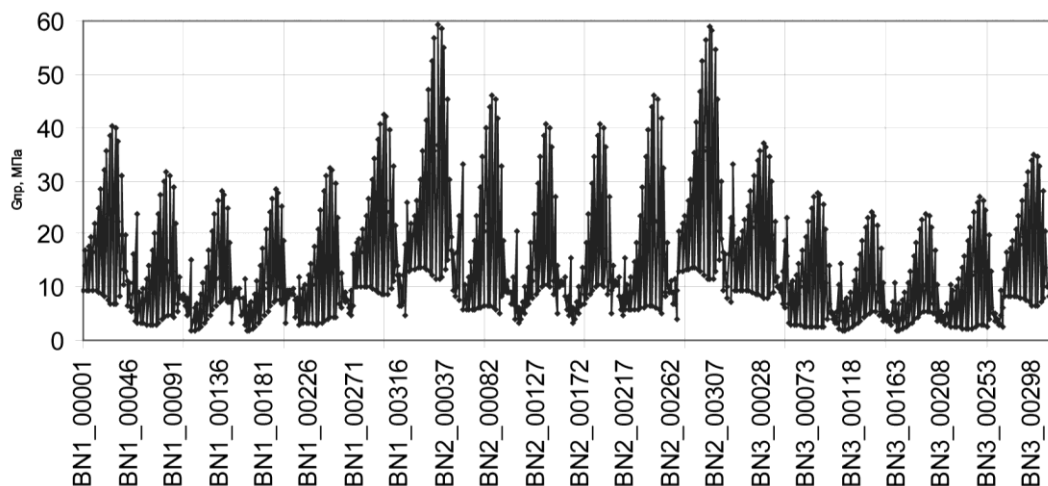


Рис. 7 – Зведені напруження в бандажах

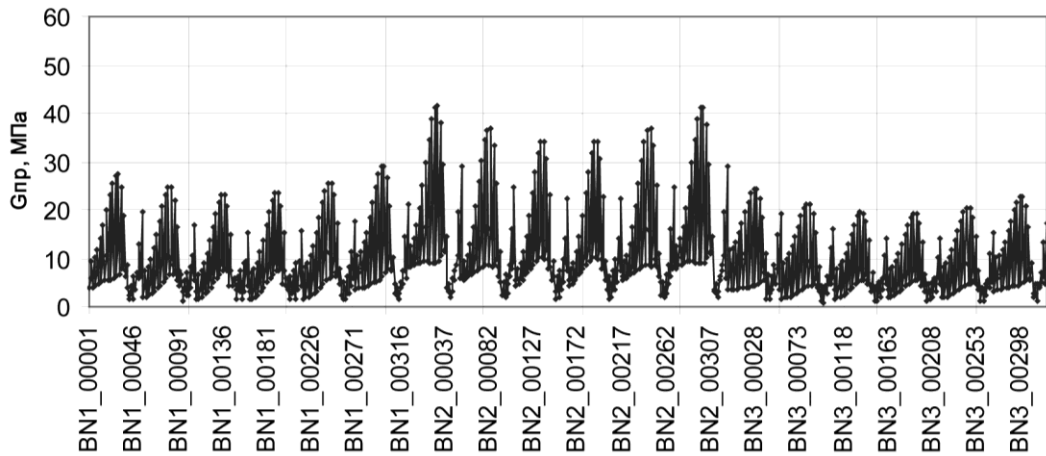


Рис. 8 – Зведені напруження в бандажах, коли $\alpha_1 = 20^\circ$, $\alpha_2 = 50^\circ$ (див. рис. 1)

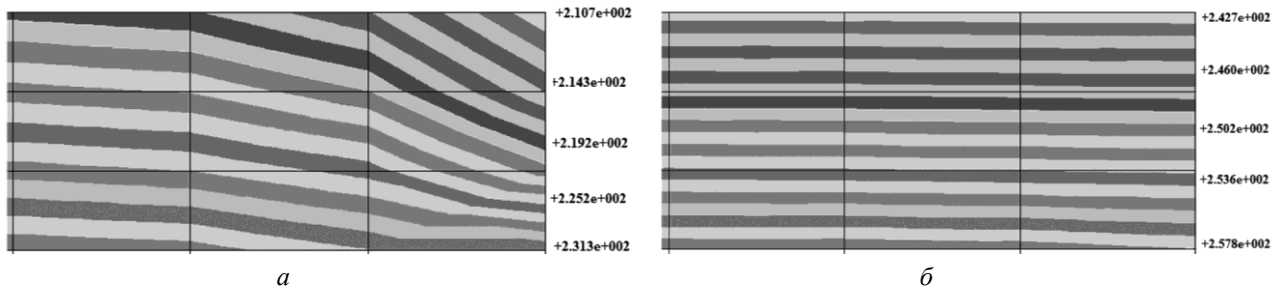


Рис. 9 – Розподіл температури в перерізі бандажа без (а) і з термоізоляцією (б)

Запропоноване розташування опорних роликів і теплоізолювання торцевої поверхні зменшують максимальні напруження, нормалізують і розподіляють їх більш рівномірно.

Ресурсоспроможність бандажів оцінювали за методами малоциклової втоми [5]: $G_a N^{\mu} = \text{const}$, де $G_a = (G_{\max} - G_{\min})/2$ – амплітуда напружень; G_{\max} , G_{\min} – максимальне й мінімальне напруження циклу; $\mu = 0,5$ – показник степеня; N – кількість циклів до руйнування, звідки $N_2 = N_1 (G_a^6 / G_a^y)^{1/\mu}$, де індекси б та у стосуються базової та вдосконаленої моделей. Середнє напруження циклу при цьому $G_m = (G_{\max} + G_{\min})/2$.

Оскільки ресурс роботи визначається з врахуванням напружень у зовнішніх, середніх і внутрішніх волокнах бандажів, а для базової моделі становить 15 років, то його приріст для вдосконаленої моделі становитиме 5,19...14,35 років, зокрема щонайменше на 6,9 років для бандажу В1, 5,2 років для бандажу В2 і 8,6 років для бандажу В3. (табл. 1).

Таблиця 1 – Ресурс роботи бандажів

Бандаж	Напруження, МПа				Ресурс роботи	Приріст ресурсу
	G_a^6	G_m^6	G_a^y	G_m^y		
В1, зовнішній	36,17	65,17	29,32	52,05	22,8	7,8
В1, середній	58,94	114,54	45,97	64,94	24,7	9,7
В1, внутрішній	134,45	197,35	111,33	135,10	21,9	6,9
В2, зовнішній	38,55	93,92	27,56	70,98	29,4	14,4
В2, середній	88,10	163,13	72,29	96,74	22,3	7,3
В2, внутрішній	200,82	276,18	173,11	194,64	20,2	5,2
В3, зовнішній	22,45	53,03	17,04	42,27	26,0	11,0
В3, середній	49,43	103,62	35,44	62,97	29,2	14,2
В3, внутрішній	118,42	166,35	94,42	130,88	23,6	8,6

Важливим фактором є також аналіз середнього напруження циклу, оскільки піч працює неперервно, з річним коефіцієнтом використання 0,94...0,96, зазнаючи 500 тис. знакозмінних циклів деформацій щорічно. Відносне зменшення середнього напруження в базовому та вдосконаленому бандажах $100(1 - \sum G_m^y / \sum G_m^6)$ становить для В1 – 33,1; В2 – 32,0; В3 – 26,1 %.

Висновки. Описано напружено-деформований стан обертової печі з врахуванням гравітаційних і термосилових навантажень. Установлення опорних роликів під кутами $\alpha_1 = 20^\circ$ і $\alpha_2 = 50^\circ$ дозволила зменшити максимальне напруження циклу в бандажах на 30 % й прогин осі барабана на 6,5 % за більш рівномірного розподілу напружень за шириною бандажа. Установлення додаткової теплоізоляції на торцевих поверхнях

бандажів забезпечила вирівнювання градієнта температур, що підвищило теплову ефективність, термін експлуатації та надійність роботи конструкції. Ресурс використання бандажа збільшився порівняно з базовим варіантом на 5,2...8,6 років.

У подальшому передбачається встановити залежність ресурсу роботи бандажів від товщини футерування.

Список використаної літератури

1. *Лисиенко В. Г.* Вращающиеся печи: теплотехника, управление и экология : в 2 кн. / В. Г. Лисиенко, Я. М. Ще-локов, М. Г. Ладыгичев. – М. : Теплотехник, 2004. – Кн. 1. – 688 с.
2. *Богданов А. И.* Механическое оборудование цементных заводов / А. И. Богданов. – М. : Машгиз, 1961. – 269 с.
3. САПР. Інтегрована система моделювання технологічних процесів і розрахунку обладнання хімічної промисловості : навч. посіб. / О. С. Сахаров, В. Ю. Щербина, О. В. Гондляр, В. І. Сівецький. – К. : Поліграф Консалтинг, 2006. – 156 с.
4. Дослідження термомеханічних навантажень в обертовій печі з вихровим теплообмінником / В. Ю. Щербина, О. С. Сахаров, Ю. Н. Самilenко, В. В. Бобах / Наук. вісті НТУУ «КПІ». – 2009. – № 6. – С. 26-33.
5. Сопротивление материалов / под. ред. Г. С. Писаренко. – К. : Вища шк., 1979. – 696 с.

Надійшла до редакції 25.09.2015