

УДК 66.041.491

## ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ БАНДАЖУ ОБЕРТОВОЇ ПЕЧІ ПРИ РЕМОНТНИХ РОБОТАХ

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

*Досліджується напружено-деформований стан обертової печі та бандажів при виконанні ремонтних робіт. Виконані чисельні розрахунки для моделювання роботи пічного агрегату. Встановлено місія встановлення опірних роликів, що дозволяє збільшити запас міцності, підвищити ефективність роботи та продовжити термін експлуатації бандажів.*

**Вступ.** Обертові печі широко використовуються у виробництві чорної і кольорової металургії, будівельних матеріалів, хімічної та інших галузях промисловості. Однак найбільш складними та енергоємними є обертові печі комплексу будівельної індустрії. Робота переважної більшості таких машин відбувається в умовах високих температур, тисків, агресивних середовищ і підвищеної запиленості, що вимагає спеціальних заходів щодо підвищення їхньої надійності, безпеки й довговічності. В зв'язку з розвитком промисловості, зростає значення раціонального використання енергетичних та сировинних ресурсів.

Обов'язковою умовою нормальної роботи обертової печі є надійна та довговічна робота бандажів, які утримують піч на опірних роликах, та задають положення осі обертання. Навіть невеликі недоліки в конструкції бандажів викликають підвищений знос робочих поверхонь як бандажів так і опірних роликів, підшипників і суттєве збільшення витрат енергії на обертання [1]. Також вони прискорюють руйнування вогнетривкої футеровки, металевому корпусу і можуть призвести до аварійної зупинки технологічної лінії.

**Постановка задачі.** У даній роботі, з метою підвищення довговічності печі і зрівноваження навантаження на бандаж, запропонована модернізація опірного механізму [2], що включає змінену посадку і розміщення елементів опірних роликів, для підвищення надійності бандажу. Схема встановлення опірних роликів представлена на рис.1 в поперечному розрізі, який перпендикулярний до осі барабану.

Вказана ціль досягається тим, що з метою підвищення довговічності печі і зрівноваження навантаження на ролики та бандаж, запропонована конструкція опірного механізму обертової печі, що передбачає встановлення оптимальної кількості опірних роликів з кріпленням під відповідним оптимальним кутом до корпусу печі.

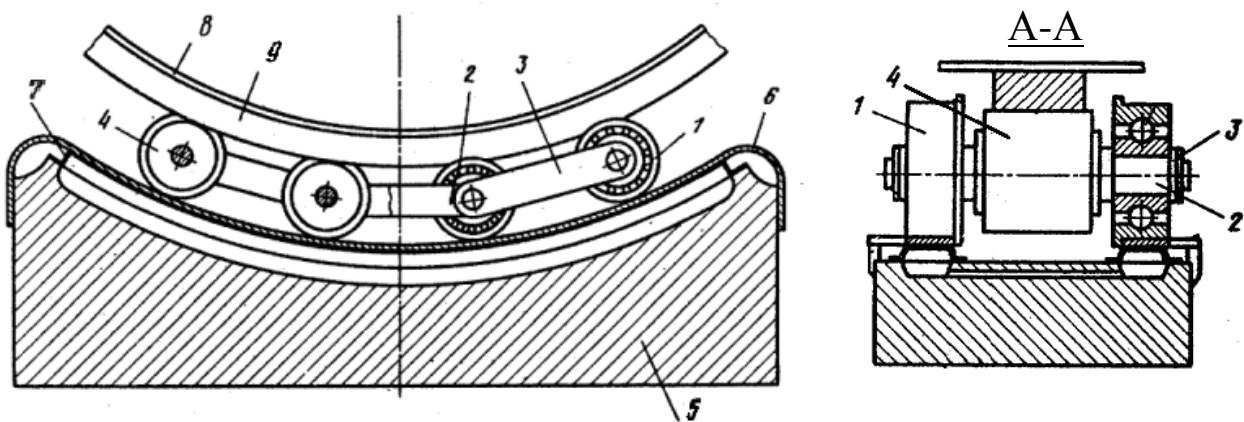


Рис.1 –Розташування опірних роликів

1 – підшипник, 2 – вісь, 3 – бокова пластина, 4 – опірні ролики, 5 – фундаментна рама,  
6 – пружна доріжка, 7 – гідро подушка, 8 – барабан, 9 – бандаж.

Для визначення працездатності опірною механізми потрібно дослідити напружено-деформований стан обертової печі та бандажу при комплексному врахуванні всіх силових факторів навантаження включаючи опірний механізм.

**Математична модель.** Для визначення напружено-деформованого стану печі та зони встановлення опірною механізми використовувалась інтегрована система VESNA, розроблена на кафедрі ХПСМ НТУУ „КПІ” [3]. 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.

Розглядалась обертова піч бандажі якої опираються на опірні ролики що встановлені на ділянці від 0 до 70° відносно осі симетрії.

Розрахункова схема для чисельного моделювання обертової печі розміром 4×60м приведена на рис.2, де обертова піч з опірним механізмом моделюється як 3D конструкція.

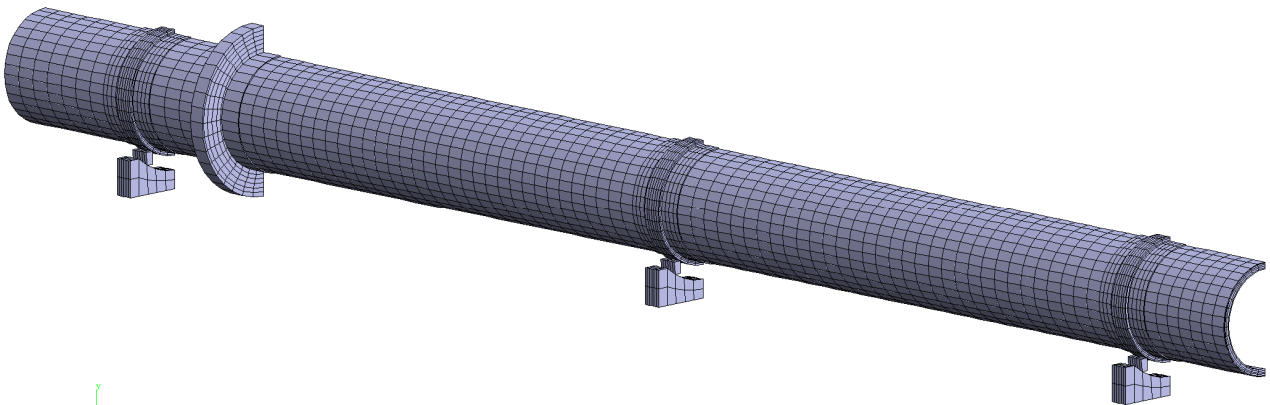


Рис.2 – Розрахункова схема обертової печі 4×60м

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 без врахування температурних полів, тобто при виконанні ремонтних робіт або вимушеній зупинці. Для врахування опірною механізми в розрахунок вводиться додатковий фрагмент, що моделює опору, яка не дає бандажу можливості зміщуватись по нормалі.

Так як конструкція є симетричною, так як оброблюваний матеріал не суттєво впливає на НДС і не враховується, то для зведення до мінімуму машинного часу та розміру матриці жорсткості, розглядається половина агрегату, отримана шляхом поділу вертикальною площиною симетрії. При цьому в скінчених елементах, що знаходяться в площині симетрії, встановлюють зв'язки, перпендикулярні цьому напрямку.

**Аналіз результатів.** Результати розрахунку переміщення, з коефіцієнтом деформації  $K=300$ , приведені на рис.3. З рисунка видно, що максимальний прогин виникає між бандажами де встановлена вінцева шестерня. Величина прогину не перевищує 7.1 мм.

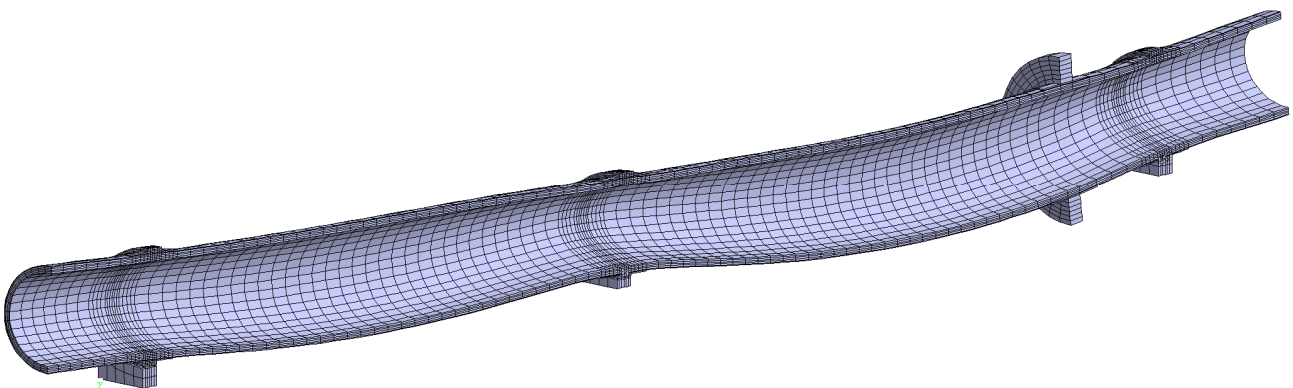


Рис.3 – Переміщення (коефіцієнт  $K=300$ )

Приведені напруження, що виникають в корпусі печі показані на рис.4. Напруження вираховані по енергетичній теорії міцності для пластичних матеріалі. По осі абсцис показані назви скінчених елементів по довжині печі, на вісі ординат приведені напруження в МПа.

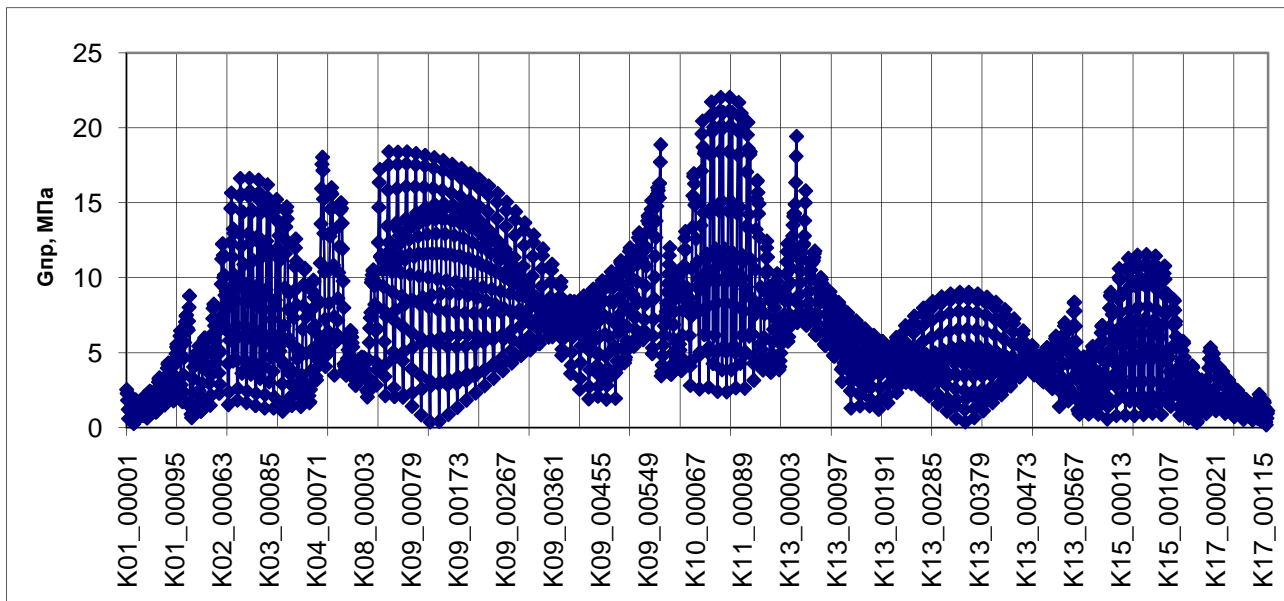


Рис.4 – Переміщення (коефіцієнт К=300)

З графіку видно, що максимальні напруження виникають в зоні встановлення центрального бандажу, і становлять  $G_{пр}=22$  МПа. Напруження у вказаному бандажі представлене на рис. 5.

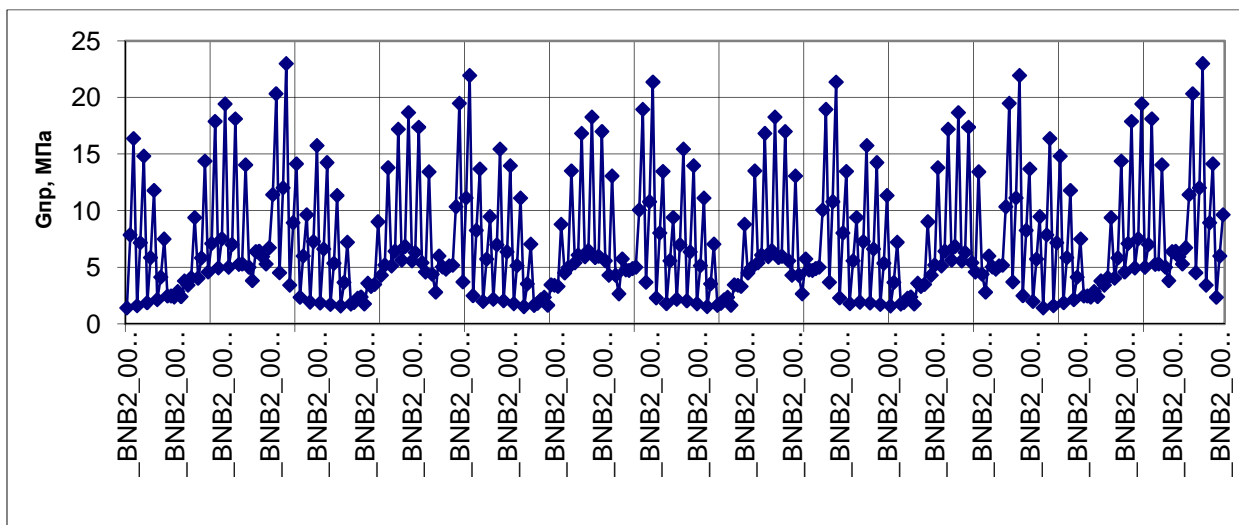


Рис. 5 – Приведені напруження в бандажі базової моделі

Амплітуда та середнє напруження циклу становлять[4]:

$$G_a = \frac{G_{\max} - G_{\min}}{2} = 10 \text{ МПа};$$

$$G_m = \frac{G_{\max} + G_{\min}}{2} = 13 \text{ МПа},$$

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

При встановленні опірних роликів як пропонується в патенті [2] для опірних роликів встановлених під кутом  $\alpha_1=0^\circ - \alpha_2=30^\circ$  отримаємо приведені напруження показані на рис.6

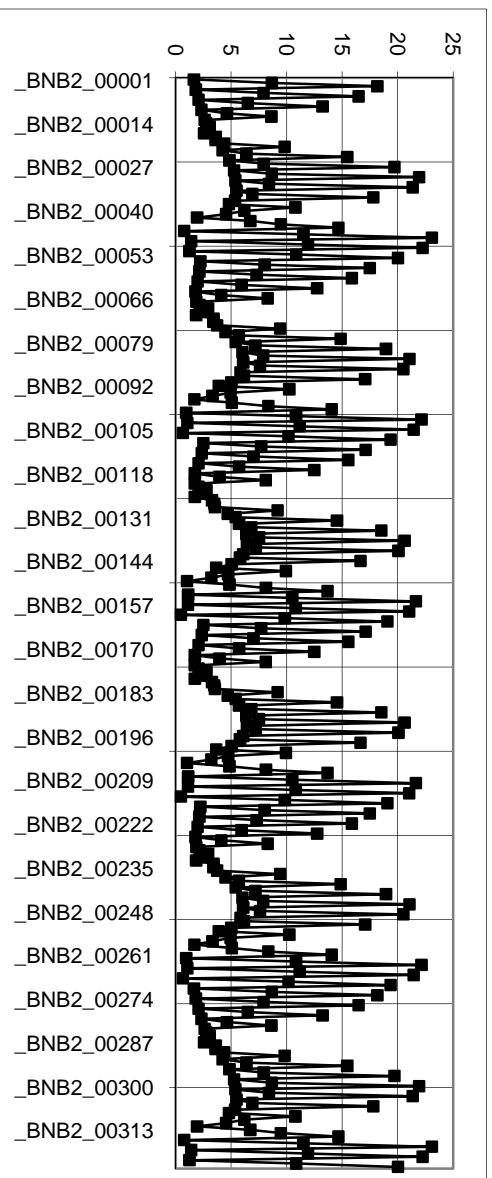


Рис. 6 – Приведені напруження в бандажі для опірних роликів під кутом  $\alpha_1=0^\circ$  –  $\alpha_2=30^\circ$

При встановленні роликів під кутом  $\alpha_1=0^\circ$  –  $\alpha_2=40^\circ$

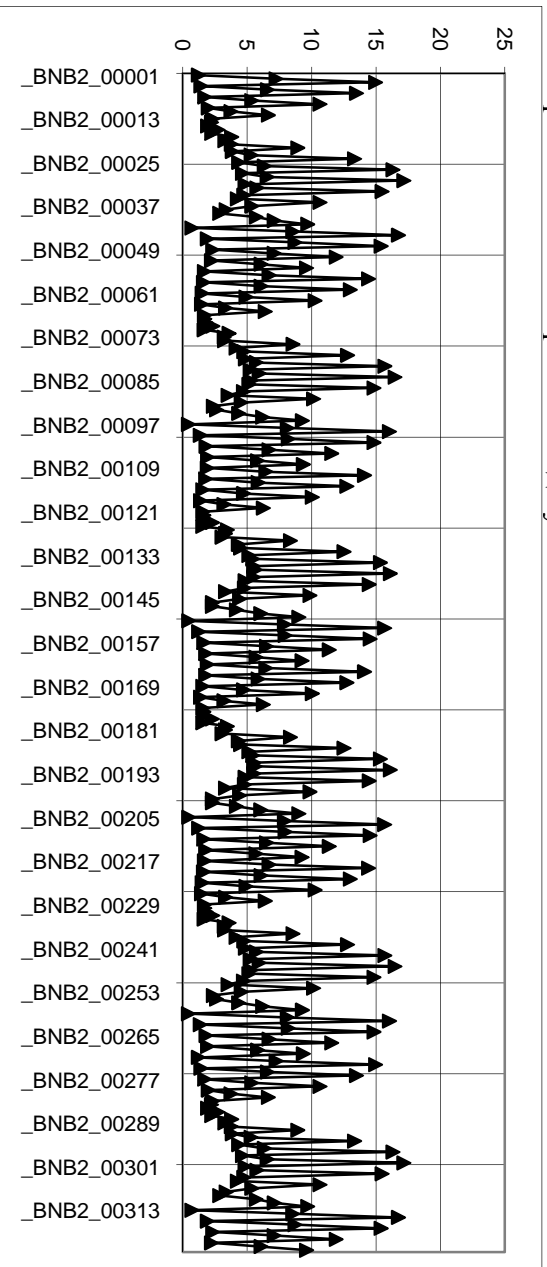


Рис. 7 – Приведені напруження в бандажі для опірних роликів під кутом  $\alpha_1=0^\circ$  –  $\alpha_2=40^\circ$

При встановленні роликів під кутом  $\alpha_1=0^\circ$  –  $\alpha_2=50^\circ$

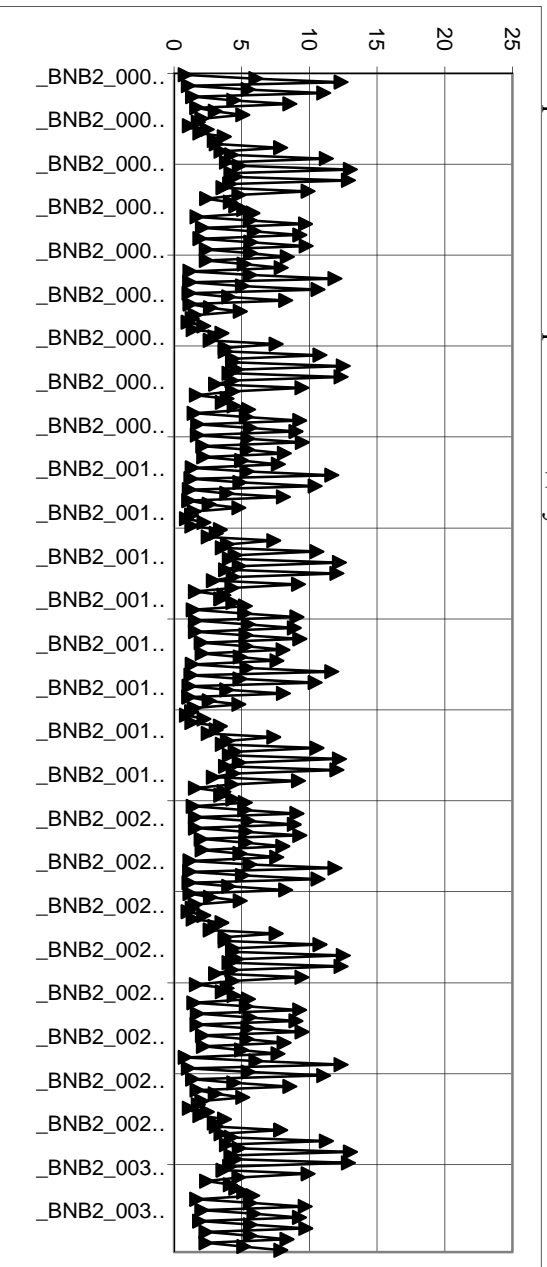


Рис. 8 – Приведені напруження в бандажі для опірних роликів під кутом  $\alpha_1=0^\circ$  –  $\alpha_2=50^\circ$

Отримані значення пояснюються тим, що при визначенні оптимального розташування опірних роликів необхідно враховувати, що деформація бандажу, при відсутності теплових впливів, має вигляд зображений на рис.9. Тому встановлення роликів в зоні під кутом менше  $20^\circ$  не є доцільним.

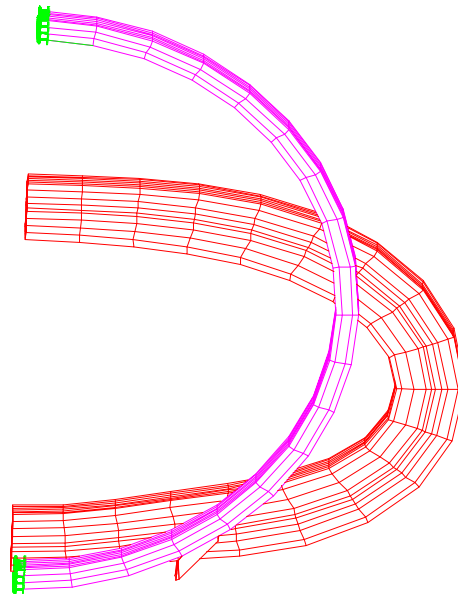


Рис. 9 – Деформація бандажу ( $K=500$ )

При проектуванні опірного пристрою моделювались різні варіанти розташування опірних роликів та досліджувався вплив їхньої кількості та кут встановлення, який змінювався в інтервалі  $0 - 70^\circ$  відносно осі симетрії.

В результаті численних експериментів встановлено, що установка опір на ділянці яка визначається кутом  $0 - 30^\circ$  не дає позитивного результату, так як основні напруження виникають в зоні розташування опірних роликів під кутом  $30^\circ$ .

Доцільно встановлювати опірні ролики під кутом  $20 - 60^\circ$ . Таке розташування призводить до мінімальних напружень в бандажі. У цьому випадку амплітуда напружень складає  $G_a=4.4$  МПа, середнє напруження циклу  $G_m=5.5$  МПа. Результати розрахунку приведені на графіку (рис. 10).

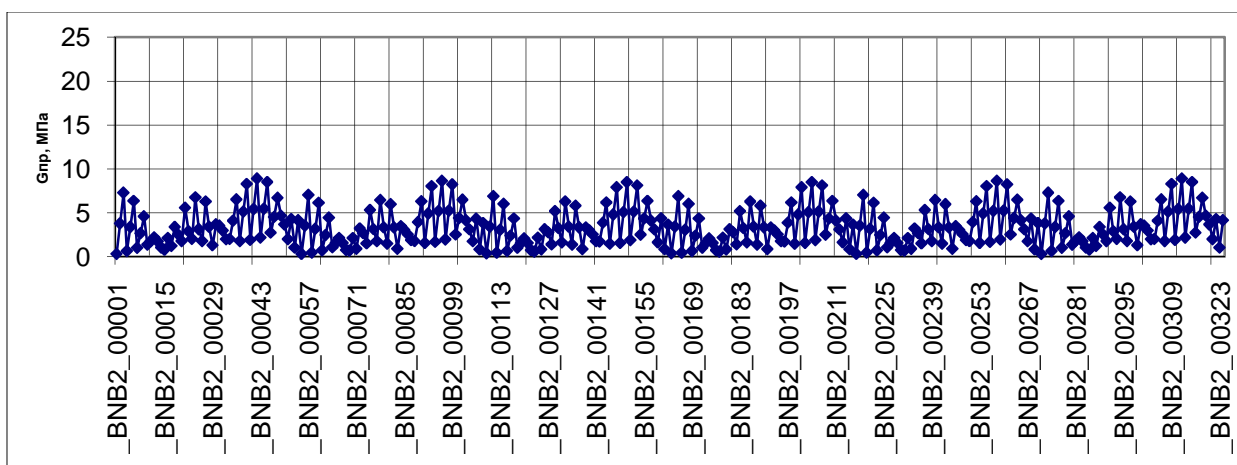


Рис. 10 – Приведені напруження для опірних роликів при куті встановлення  $20-60^\circ$

Як видно з графіків, запропонований варіант розташування опірних роликів зменшує середнє напруження  $G_m$  на 55%, амплітудне  $G_a$  на 56%, що нормалізує і розподіляє їх більш рівномірно між поверхнею бандажу та катками. Також, запропонована модернізація опірного пристрою дозволяє зменшити деформацію барабану, що свідчить про те що опірний механізм і

корпус печі будуть мати більш тривалий строк служби. З огляду на це, конструкцію можна вважати працездатною і пропонувати для роботи в промислових умовах.

Слід зазначити, що дане технічне рішення є ефективним тільки при виконанні ремонтних робіт та при зупинках обертової печі. При роботі печі в експлуатаційному режимі, тобто під дією температур, в бандажі виникають температурні напруження які в декілька разів перевищують напруження що виникають за рахунок дії гравітаційних сил. Тому ефект від встановлення даного опірною механізму буде не вагомим.

**Висновки.** Модернізація опірною механізму дає можливість зменшити напруження в бандажі на 53% за рахунок більш раціонального розташування роликів у опірною механізмі. Встановлення опірних роликів на ділянці 20-60° зменшує навантаження на площу контакту з роликовою опорою, сприяє більш рівномірному і симетричному розподіленню напружень по довжині бандажа, та зменшує викривлення осі барабану.

Таким чином, приведені напруження не перевищують допустимі, підвищуються строки експлуатації обладнання, що дає можливість пропонувати дану конструкцію для модернізації обертової печі.

### 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. 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.
4. Трощенко В. Т. Деформирование и разрушение металлов при многоцикловом нагружении. - Киев: Наук, думка, 1981. - 344 с.