

Шасси автомобиля: Элементы подвески. – М.: Машиностроение, 1987. – 288 с. 3. Говоруценко И.Я. Основы теории эксплуатации автомобилей. – К.: Вища шк., 1971. – 232 с. 4. Сенник П.М. Про Ateb-функції // Доп. АН УРСР. – 1968. – № 1.- С. 23–26. 5. Сенник П.М. Обернення неповної Beta-функції // Укр. мат. журн. – 1969. – 21, № 3. – С. 325–333.

УДК 666.940.41, 539.3

І.В. Кузьо, Л.В. Дзюбик

Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра теоретичної механіки

ВПЛИВ ПОЛОЖЕННЯ ГЕОМЕТРИЧНОЇ ОСІ НА МІЦНІСТЬ ОБЕРТОВИХ АГРЕГАТІВ

© Кузьо І.В., Дзюбик Л.В., 2007

Описано методику дослідження міцності обертових агрегатів неперервної дії із застосуванням стандартних математичних редакторів. Зокрема подано структурно-логічну схему розрахунку силових навантажень та діючих напружень. Визначено величину опорних моментів, реакцій та діючих у корпусі семиопорної печі напружень при вертикальних переміщеннях опор.

The method of research of durability of circulating aggregates of continuous action is presented with application of standard mathematical editors. The structurally-logical chart of calculation of the power loadings and operating tensions is given in particular. Results are got for a seven supporting stove at the vertical moving of supports.

Постановка проблеми та аналіз останніх досягнень і публікацій. У переважній більшості в промисловості будівельних матеріалів, чорної та кольорової металургії, хімічних виробництвах переробляють дрібнодисперсні сипкі матеріали зі специфічними властивостями. Вибираючи обладнання для переробки таких матеріалів після аналізу функціональних, економічних, екологічних та інших критеріїв, перевагу надають обертовим агрегатам неперервної дії, зокрема таким, як обертові печі, сушильні барабани, гранулятори, млини тощо.

На сучасному етапі значну увагу приділено як проблемі підвищення якості, надійності та довговічності створюваних машин і обладнання, так і питанням покращання показників призначення, які характеризують функціональні властивості обладнання (продуктивність, енергомісткість, паливна ощадливість тощо). Підтвердженням цьому є зростання виробництва будівельних матеріалів за останні кілька років. Створюються нові і модернізуються старі технологічні лінії. Це вимагає нових сучасних підходів до проектування, розрахунку та технічної діагностики обладнання. Відповідні теоретичні і експериментальні дослідження обертових агрегатів [1–5] проводили відповідно до вимог системи технічного обслуговування планово-попереджувальних ремонтів [6, 7]. Існуюче програмне забезпечення, що частково реалізує теоретичні напрацювання [8, 9], не відповідає сучасним вимогам і не дає змоги комплексно охопити та вирішити проблеми, які виникають з експлуатацією обладнання в сучасних умовах.

Постановка задачі. Метою статті є розробка сучасної методики розрахунку на міцність корпусів обертових агрегатів з відповідним програмним забезпеченням, а отримані під час обчислень результати подати не лише у текстовому, а й у графічному вигляді. Рекомендаційним є створення відповідного банку даних, що містить інформацію про існуючі в промисловості реальні обертові агрегати.

Основний матеріал. Для розв’язання поставленого завдання застосовано програмне забезпечення, яке побудоване на об’єктно-орієнтовному принципі. Це дає змогу на інтуїтивному рівні

працювати із системою та отримувати необхідні результати наочно та швидко. При цьому важливим є розуміння фізичного змісту функціонування програми загалом, вміння правильно задати вхідну інформацію. Важливим є не стільки глибоке знання математичного апарата, як його функціональних можливостей.

Комплексна методика дослідження міцності обертових агрегатів побудована у вигляді спеціальної програми з використанням положень класичних теорій міцності, пружності та пластичності, напівмоментної теорії оболонки, а також з врахуванням вимог [2–5]. При тому, для реалізації числових розрахунків, використовували універсальний математичний редактор Mathcad.

Програма, принципова схема якої зображена на рис. 1, побудована на модульному принципі. Тут виконання окремих модулів забезпечує отримання необхідної довідкової інформації про обертовий агрегат (вихідні дані для розрахунку, згинальні та опорні моменти, реакції опор тощо), а також інформацію для виконання інших модулів. Оптимізація отриманих результатів здійснюється за визначеними наперед параметрами.

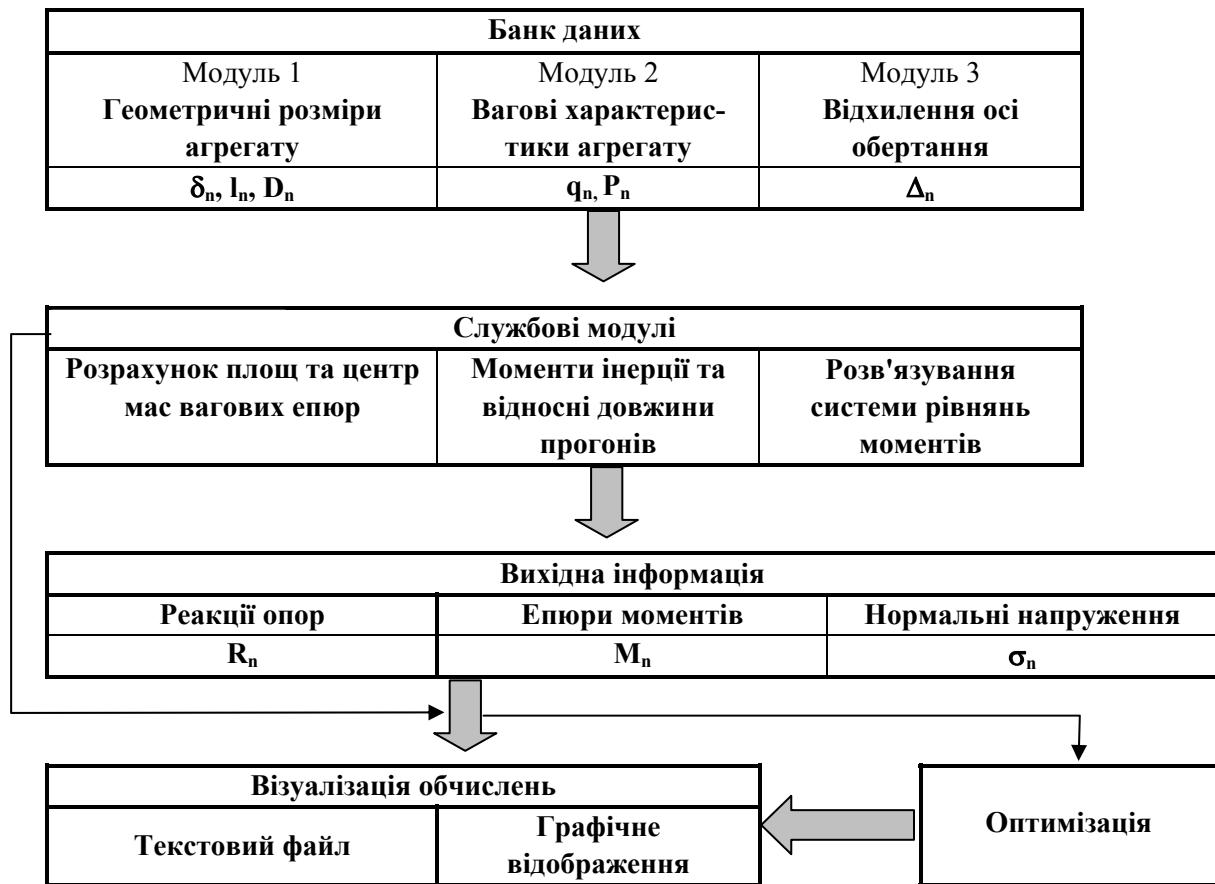


Рис. 1. Блок-схема програми розрахунку на міцність обертових агрегатів

При розрахунках корпус печі розглядають як багатоопорну нерозрізну балку, що вільно опирається на n опор та має i прогонів. Для визначення опорних моментів (M_i) складають $n-2$ рівнянь [3]:

$$\lambda_i M_{i-1} + 2(\lambda_i + \lambda_{i+1}) M_i + \lambda_{i+1} M_{i+1} + 6 \left(\frac{\omega_i a_i I_0}{l_i I_i} + \frac{\omega_{i+1} b_{i+1} I_0}{l_{i+1} I_{i+1}} \right) + 6EI_0 \left(\frac{\Delta_{i+1} - \Delta_i}{l_{i+1}} + \frac{\Delta_{i-1} - \Delta_i}{l_i} \right) = 0 \quad (1)$$

де $\lambda_i = l_i \frac{I_0}{I_i}$ – приведена довжина i -го прогону довжиною l_i ; I_i – моменти інерції перерізів в прогонах; ω_i – площа вантажної епюри у відповідному прогоні; a_i, b_i – відповідно відстань від центра вантажної епюри до лівої і правої опори; Δ_{i-1} та Δ_i – величини зміщення опор від прямої лінії.

За знайденими опорними моментами відомими методами [3, 10] визначають навантаження на опори та згинальні моменти в прогонах.

Корпус печі, що обертається, належить до виду замкнутих циліндричних оболонок середньої довжини. Деформуючись під час роботи в поперечному перерізі як багатопрогонна нерозрізна балка, кільцева оболонка одержує три види напружень, за якими визначаються приведені напруження за енергетичною теорією міцності:

$$\sigma_{np} = \sqrt{(\sigma_{zs} + \sigma_0)^2 + \sigma_s^2} - (\sigma_{zs} + \sigma_0) \cdot \sigma_s, \quad (2)$$

де σ_{zs} – нормальні осьові напруження уздовж твірної циліндра; σ_s – нормальні кільцеві напруження від згинального моменту; σ_0 – нормальні балкові напруження.

Причому лише σ_0 залежить від величини згинального моменту в прогонах, на який впливає положення геометричної осі обертового агрегату.

Отримані результати вводять в банк даних, текстовий файл у вигляді протоколу обчислень, а також виводять на екран ПК числовим, графічним або комбінованим способом. Окремо формується файл із значенням усіх проміжних величин і даних, що були введені в програму чи обчислені під час визначення напружень (епюри навантажень, геометричні характеристики корпусу агрегату тощо).

Застосування розробленої програми показано на прикладі семиопорної цементної печі 5×185 м, наведено розподіл згинальних моментів та величину опорних реакцій. Напруження, які виникають в корпусі печі при прямолінійному положенні осі, наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Напруження в корпусі печі при прямолінійній осі обертання

Напруження, МПа	Прогон					
	1	2	3	4	5	6
σ_{zs}	422,1	132,0	177,3	296,0	236,6	260,1
σ_s	446,2	96,6	133,7	349,2	279,4	339,0
σ_0	24,4	25,6	17,2	21,3	13,5	27,5
σ_{np}	446,4	137,7	172,3	334,4	266,0	316,5

З практики експлуатації обертових агрегатів і аналізу виразу (1) можна констатувати, що викривлення геометричної осі агрегату, яке відбувається внаслідок зміщення деяких опор від проектного положення, а також зміни внаслідок зношування геометричних розмірів деяких деталей опорних вузлів, спричиняє різку зміну згинних моментів як на самих опорах, так і в прогонах (рис. 2). Так опускання опори № 5 на 4,9 мм зменшує на ній опорний момент до нуля. На інших опорах він значно зростає. Це характерне явище рекомендується використовувати під час монтажу і ремонту корпусів обертових агрегатів [11]. За існуючої технології ремонту опори обертового агрегату виставляють так, щоб його вісь обертання була прямою лінією.

Для заміни частини корпусу (рис. 3) з обох сторін від неї встановлюють додаткові опори. Після вирізання частини корпусу торцеві перерізи під дією згинних моментів повернуться на кут θ . Коли в такому положенні корпус зварити в одне ціле, то при обертанні у точках з'єднувальних перерізів будуть виникати різні напруження. Цього негативного явища можна уникнути, якщо перед вирізанням частини корпусу опору опустити на величину, при якій значення згинального моменту на ній дорівнюватиме нулю. Тоді вісь обертання стане плавною кривою (рис. 4).

Замінюючи в такому положенні частини корпусу в усіх точках перерізів виникатимуть однакові напруження. Після завершення ремонтних робіт опору знову повертають у вихідне положення, щоб геометрична вісь стала прямою. У табл. 2 наведено величини переміщень окремих

опор розглядуваної обертової печі за умови, що опорний момент у місці їх розташування дорівнюватиме нулю.

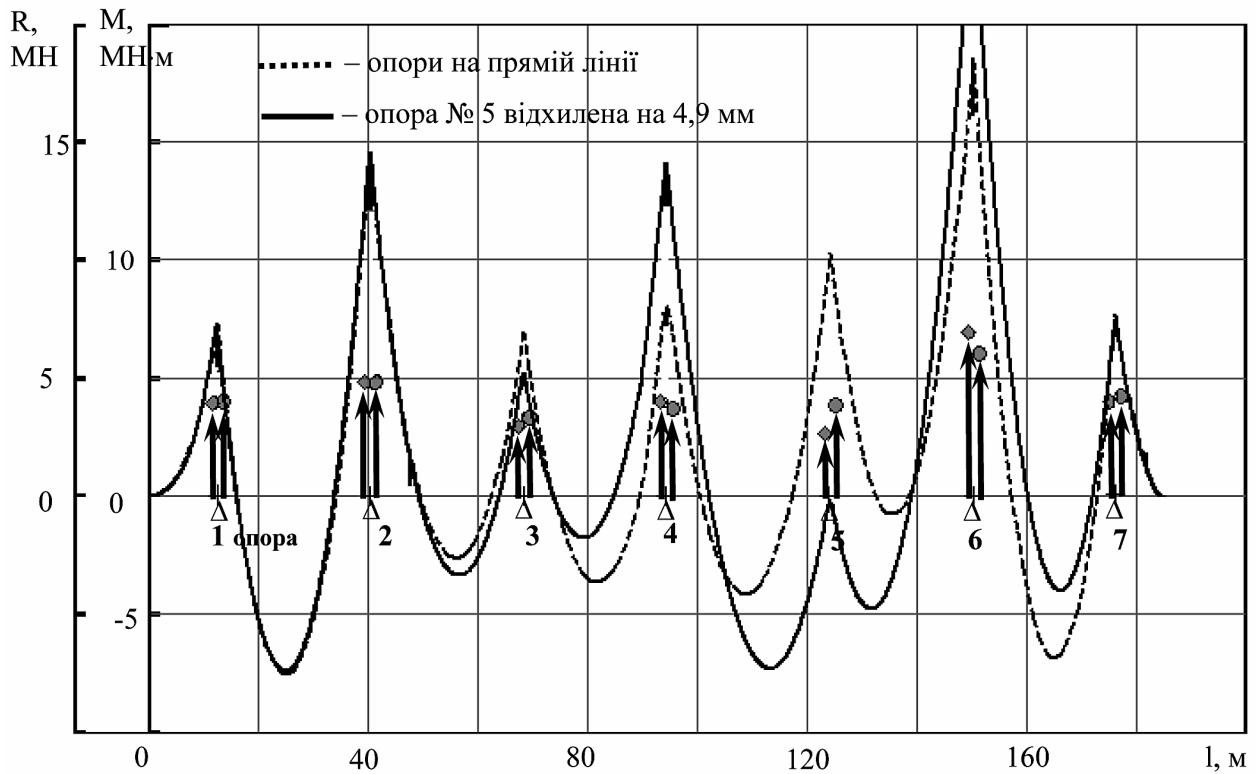


Рис. 2. Опорні реакції та епюри згинальних моментів обертової печі $\varnothing 5 \times 185$ м

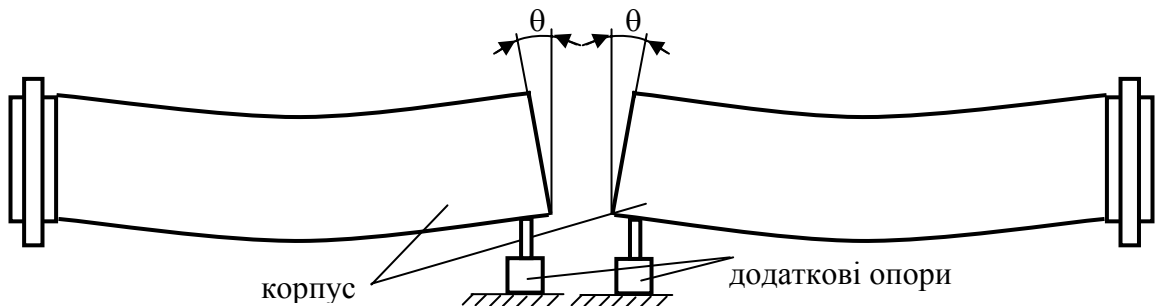


Рис. 3. Заміна частини корпусу печі у разі прямолінійного положення осі

Таблиця 2

Переміщення опор за умови $M_{оп i} = 0$

Номер опори	2	3	4	5	6
Опускання опори, мм	10	3,7	4,8	4,9	7,9

Отримані результати показують, що положення осі обертового агрегату є дієвим засобом в процесі технічного обслуговування або при виконанні планово-попереджувальних ремонтів. Врахування при цьому діючих у корпусі печі напружень створює умови для їх раціонального діагностування.

Перспективною розвідкою запропонованої в роботі методики є створення інтерфейсу між розробленою програмою та пристроями технічної діагностики обертових агрегатів.

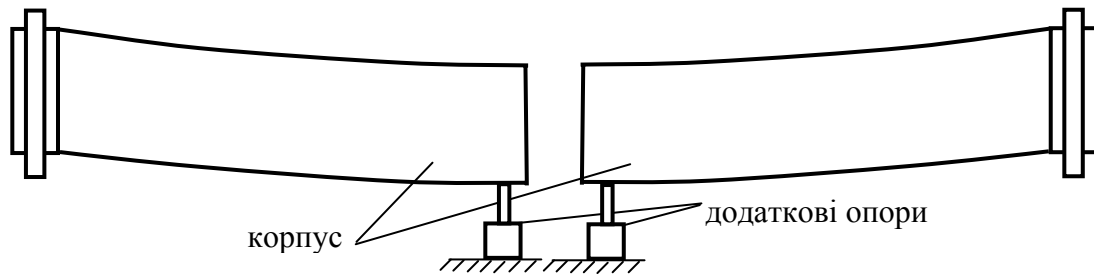


Рис. 4. Заміна частини корпусу печі під час опускання опори

Висновки. Аналіз отриманих результатів показує, що застосування сучасних комп'ютерних засобів для дослідження міцності обертових агрегатів дає змогу автоматизувати більшість операцій технічної діагностики та інтенсифікувати її процес. Проведені розрахунки семиопорної цементної печі 5×185 м показали, що регулюванням висотного положення опор можна отримати їх розвантаження від згинальних моментів та реакцій. Встановлено межі регулювання для кожної опори.

1. Микольский Ю.Н., Кравченко В.М. Выверка и центровка промышленного оборудования. – К.: Будівельник, 1979. – 188 с. 2. Кузьо И.В., Микольский Ю.Н., Шевченко Т.Г. Современные методы контроля оборудования. – Львов: Вища шк. Изд-во при Львов. ун-те, 1982. – 143 с. 3. Кузьо И.В., Шевченко Т.Г. Расчет и контроль установки агрегатов непрерывного производства. – Львов: Вища шк. Изд-во при Львов. ун-те, 1987. – 176 с. 4. Кузьо И.В., Палаш В.М. Технічне діагностування обертових агрегатів непервної дії // *Машинознавство*. – 2001. – № 10. – С. 47–50. 5. Кузьо И.В., Пашистый В.А., Зинько Я.А. Проектирование и изготовление оборудования с учетом требований технической диагностики // *Тр. ВНИИЦЕММаши*. – 1988. – С. 35–42. 6. Система технического обслуживания и ремонта технологического оборудования предприятий промышленности строительных материалов. Вып. 1: Цементная промышленность. Оргпроектцемент. – М., 1987. – 458 с. 7. Шестаков А.М. Планово предупредительный ремонт механического оборудования цементных заводов. – Белгород, 1987. – 326 с. 8. Кузьо И.В., Лозовой И.С., Баушев К.Е. Методика автоматизированного расчета силовых факторов, действующих в корпусе вращающейся печи. – 1982. – №9 /131. – Деп. в Укр НИИНТИ, № 35556-Д82. 9. Смерека И.П., Кузьо И.В., Куриленков и др. Программа автоматизированного расчета деформаций подбандажной обечайки. – Деп. в УкрНИИТИ № 1772-Ук87 от 30.06.1987. 10. Образцов И.Ф., Онанов Г.Г. Строительная механика скошенных тонкостенных систем. – М.: Машиностроение, 1973. – 656 с. 11. А. с. СССР 1534264. Способ ремонта корпуса вращающейся печи / И.В. Кузьо, В.А. Пашистый и др. – 1990, Бюл. 1. – 4 с.