

8. Бут В.П., Л. Б. Куціций, Б.В. Болібрех, *Практичний посібник з пожежної тактики*. – Л.: СПОЛОМ, 2003. – 122с.
9. Гуліда Є.М. *Управление надежностью цилиндрических зубчатых колес* – Львов: Вища школа. Изд-во при Львов. Ун-те, 1983.- 136 с.
10. Козут М.С. *Механоскладальні цехи та дільниці у машинобудуванні: Підручник*. – Львів: Видавництво Державного університету „Львівська політехніка”, 2000. – 352 с.

УДК 539.3

Л.І.Гурняк к.т.н. (Національний університет “Львівська політехніка”)  
 Ю.В.Гуцуляк. к.т.н., Т.Б.Юзьків к.т.н (Львівський інститут пожежної безпеки МНС України)

### ПРОГНОЗУВАННЯ МІЦНОСТІ ТА СТІЙКОСТІ СТЕРЖНЕВИХ ОПОР ПРИ ВИПАДКОВИХ ТЕМПЕРАТУРНИХ НАВАНТАЖЕННЯХ

Запропоновано методику розрахунку колон з урахуванням температурних навантажень. Одержані результати дають можливість виконувати проектні розрахунки колон, а також пропонуються методи компенсації температурних напружень.

Обладнання хімічної та харчової виробництв, нафтопереробної промисловості, різноманітні будівельні споруди включають важкі надземні споруди, розташовані на вертикальних стержневих опорах-колонах, виготовлених зі стандартних профілів. При проектуванні таких колон, як правило, не враховуються можливі екстремальні ситуації, пов'язані з температурними навантаженнями. Дія температури на опори подібного типу створює додаткові навантаження, які в сумі з робочими навантаженнями можуть значно перевищувати розрахункові і бути причиною втрати стійкості.

Норми будівельного проектування, які використовуються при проектних розрахунках таких конструкцій, зазвичай побудовані на методі послідовних наближень за критерієм коефіцієнта поздовжнього згину  $\varphi$  [1], [2]. Коефіцієнти запасу стійкості при цьому не задаються явно, а є функціями коефіцієнта  $\varphi$ , і для пластичних матеріалів з різними значеннями гнучкості мають величину коефіцієнту стійкості  $n_{cm} = 1,6...2$ . При наявності температурних деформацій такі коефіцієнти запасу стійкості можуть бути недостатніми. Тому розробка методики прогнозування міцності та стійкості стержневих опор важких надземних конструкцій з урахуванням температурних навантажень є актуальною задачею, особливо, з міркувань пожежної безпеки.

Розглянемо вертикальну опору з шарнірно закріпленими краями, схема якої показана на рис.1 При інших способах закріплення опор, їх розрахунок можна проводити для еквівалентної схеми при шарнірному закріпленні зведеної довжини опори. Опора сприймає осьову силу  $F$ , яка є частиною загального навантаження на всі опори. Нехай, крім того, від джерела теплової енергії, розташованого на певній відстані від опори, температура її нагріву з одного боку має величину  $T(x)$ , а

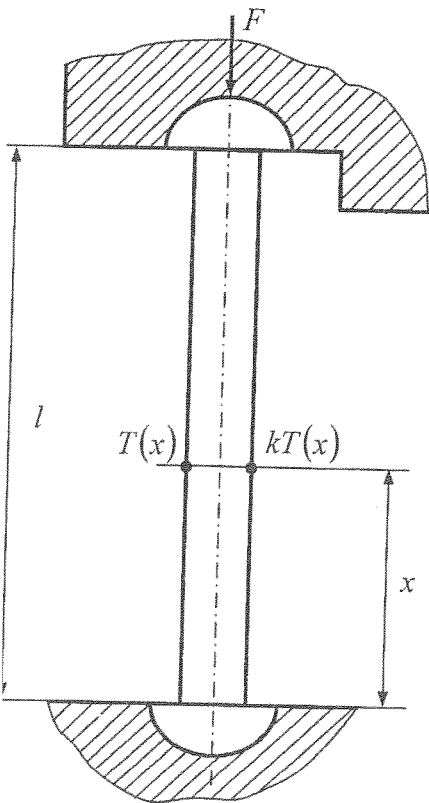


Рис. 1

з протилежного боку  $kT(x)$ , де  $k$  - коефіцієнт нерівномірності нагрівання. При подібному температурному навантаженні на опору буде діяти додаткова осьова сила, а також згинальний момент внаслідок прогину опори.

Величину цієї сили можна знайти, скориставшись канонічним рівнянням методу сил

$$\delta_{11}X_1 + \Delta_{1T} = 0 \quad (1)$$

де  $X_1$  - додаткова осьова сила, спричинена дією температури;  $\delta_{11}$  - приріст довжини опори під дією сили  $X_1 = 1$ ;  $\Delta_{1T}$  - приріст довжини опори внаслідок її нагрівання.

За відомими формулами для визначення переміщень [3] одержимо

$$\delta_{11} = \frac{1 \cdot l}{EA}; \quad \Delta_{1T} = \int_0^l \alpha_t \Delta T(x) dx, \quad (2)$$

де  $l$  - довжина опори;  $E$  - модуль пружності матеріалу;  $A$  - площа поперечного перерізу;  $\alpha_t$  - температурний коефіцієнт лінійного розширення;  $\Delta T$  - приріст температури.

Запишемо закон розподілу температури по довжині опори в загальному вигляді

$$T(x) = T_1 + (T_2 - T_1) \frac{x^n}{l^n} \quad (3)$$

де  $T_1$  - температура нижнього краю опори;  $T_2$  - температура її верхнього краю;  $n$  - коефіцієнт, який визначає закон зміни температури.

В такому разі

$$\Delta_{1T} = \int_0^l \alpha_t \frac{T(x) + kT(x)}{2} dx = \frac{k+1}{2} \alpha_t l \left( T_1 + \frac{T_2 - T_1}{n+1} \right) \quad (4)$$

При  $n = 0$   $T(x) = const = T_2$ .

Внаслідок підстановки одержаних величин у рівняння (1), знайдемо

$$X_1 = \frac{\alpha_t (k+1)}{2} \left( T_1 + \frac{T_2 - T_1}{n+1} \right) EA \quad (5)$$

Поява додатної сили  $X_1$  при нагріванні окремих опор спричинює перерозподіл навантаження між ними. Найбільша стискуюча сила може досягати величини  $F + X_1$ , яка значно перевищує початкову осьову силу, навіть при відносно невеликих приростах температури.

Нерівномірне нагрівання з різних боків опори приводить, крім того, до її викривлення внаслідок температурних деформацій. Зазвичай, вважають, що температура по висоті поперечного перерізу змінюється за лінійним законом і справджується гіпотеза плоских перерізів, що дозволяє для визначення прогину опори скористатися інтегралом Мора у вигляді [3]

$$\delta = \int_0^l M_1 d\theta \quad (6)$$

де  $M_1$  - згинальний момент від одиничної сили, прикладеної в точці, переміщення якої визначається;  $d\theta$  - взаємний кут повороту елемента довжини заданої опори.

В даному разі

$$d\theta = \alpha_t \frac{T(x)(1-k)}{n} dx. \quad (7)$$

При  $T(x) = T = const$  найбільший прогин буде посередині колони. Прикладаючи в цій точці одиничну силу, матимемо  $M_1 = \frac{1}{2}x$ , отже

$$\delta_{max} = 2 \int_0^l \alpha_t T \frac{1-k}{2n} x dx = \alpha_t T \frac{(1-k)l^2}{8n}. \quad (8)$$

Довжини опор досягають 5...10м, тому визначені за формулою (8) величини прогинів можуть бути настільки значними, що стає можливою втрата стійкості або вичерпується резерв міцності. Такий же висновок можна зробити і при нерівномірному по довжині опори розподіл температури.

Щоб врахувати вплив додаткового навантаження і прогину  $\delta_{max}$  на переміщення і напруження в опорі одержимо відповідні залежності скориставшись диференціальним рівнянням її зігнутої осі, записаним у вигляді

$$\frac{d^2(y - y_t)}{dx^2} = -\frac{Fy}{EI}, \quad (9)$$

де  $y$  - прогин опори в перерізі з координатою  $x$  (рис.2), спричинений осьовим

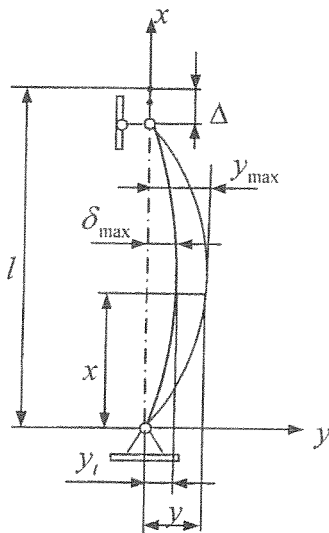


Рис. 2

навантаженням;  $y_t$  - прогин в цьому ж перерізі внаслідок температурних деформацій;  $I$  - осьовий момент інерції поперечного перерізу в площині згину.

З достатньою для практичних задач точністю можна вважати, що

$$y_T(x) = \delta_{max} \sin \frac{\pi x}{l}, \quad \text{при шарнірному закріпленні}$$

країв опори.

Внаслідок цього рівняння (9) набуває вигляду

$$\frac{d^2 y}{dx^2} + k^2 y = -\delta_{max} \left( \frac{\pi}{l} \right)^2 \sin \frac{\pi x}{l}, \quad (10)$$

$$\text{де } k^2 = \frac{F}{EI}.$$

$$\text{Частковий розв'язок } y^* = C_1 \cos \frac{\pi x}{l} + C_2 \sin \frac{\pi x}{l}$$

задовольнятиме рівняння (10) у вигляді

$$y = A \sin kx + B \cos kx + \frac{\delta_{max}}{1 - \frac{k^2 l^2}{\pi^2}} \sin \frac{\pi x}{l}. \quad (11)$$

Скориставшись граничними умовами  $y(0) = y(l - \Delta) = 0$ , де  $\Delta$  - осьове переміщення верхнього краю опори внаслідок прогину, спричиненого температурою, одержимо:

$$B = 0;$$

$$A = \frac{\delta_{max}}{1 - \frac{k^2 l^2}{\pi^2}} \cdot \frac{\sin \frac{\pi(l - \Delta)}{l}}{\sin k(l - \Delta)}.$$

Прогин не може бути нескінченно великим, тому  $\sin k(l - \Delta) \neq 0$ . Крім того

$$\lim_{\Delta \rightarrow 0} \sin \frac{\pi(l - \Delta)}{l} = 0,$$

отже, можна вважати, що  $A = 0$ , внаслідок чого

$$y = \frac{\delta_{max}}{1 - \frac{k^2 l^2}{\pi^2}} \sin \frac{\pi x}{l} = \frac{\delta_{max}}{1 - \frac{F}{F_{кр}}} \cdot \sin \frac{\pi x}{l}, \quad (12)$$

де  $F_{кр}$  - критична сила.

Згідно з формулою (12), максимальний прогин матиме величину

$$y_{max} = y|_{x=\frac{l}{2}} = \frac{\delta_{max}}{1 - \frac{F}{F_{кр}}} \quad (13)$$

Згідно з формулою (13) при коефіцієнті запасу стійкості  $n_{ст} = 2$  максимальний прогин опори у два рази перевищуватиме величину  $\delta_{max}$ . При малих коефіцієнтах запасу прогин починає інтенсивно зростати і втрата стійкості стає можливою швидше, ніж осьова сила досягає критичного значення. Збільшення осьового зусилля внаслідок нагрівання окремих колон теж значно зменшує початковий коефіцієнт запасу стійкості.

Не менш суттєво нагрівання колон впливає на величину напруження. Для оцінки цього впливу можна скористатися формулою [2]

$$\sigma_{max} = \sigma \left( 1 + \frac{A}{W_z} y_{max} \right), \quad (14)$$

де  $\sigma$  - напруження від осьової сили  $F + X_1$ ;  $W_z$  - осьовий момент опору поперечного перерізу при згині.

Тому при проектних розрахунках колон відповідальних об'єктів варто передбачати можливі наслідки випадкових температурних навантажень на окремі колони. Для цього необхідно скористатися формулами (5), (13), (14).

Їх аналіз дозволяє зробити такі висновки та рекомендації:

1. Температурні навантаження окремих колон, розрахованих без їх урахування, навіть при температурах  $50 \dots 100^\circ C$ , можуть приводити до втрати стійкості або вичерпання ресурсу міцності, а, отже, до перевантаження інших колон.
2. Однакове нагрівання всіх колон не приводить до збільшення осьових сил.
3. Для розвантаження колон від додаткових сил, спричинених температурою, ефективним конструктивним засобом є застосування пружних компенсаторів осьових термодформацій, а також технологічним – використанням теплоізолюваних колон.
4. При відсутності термокомпенсаторів коефіцієнти запасу міцності і стійкості слід уточнювати з урахуванням додаткового осьового зусилля і додаткового прогину.

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Прочность, Устойчивость, Колебания./ Под ред. И. А. Биргера и Я. Г. Пановко. - М.: Машиностроение. –Т.3: 1968.-724с.
2. Расчет на прочность деталей машин.: Справочник/ И. А. Биргер, Б. Ф. Шоф, Г. Б. Иоселевич. – М.: Машиностроение, 1979, 702с.
3. Справочник по сопротивлению материалов/ Г. С. Писаренко, А. П. Яковлев, В. В. Матвеев. – Киев: Наук. думка, 1998.- 736с.

УДК 614.843(075.32)

О.Е. Васильєва, к.т.н., (Львівський інститут пожежної безпеки МНС України)

#### ДИНАМІЧНІ НАВАНТАЖЕННЯ ЗУБЧАСТИХ ПЕРЕДАЧ ПРИВОДІВ ПОЖЕЖНОГО УСТАТКУВАННЯ

Розглянуто методику визначення коефіцієнта, який враховує динамічні навантаження зубчастих передач приводів пожежного устаткування. Результати роботи можуть бути використанні при розробці конструкції приводів із зубчастими передачами для заданих тактико-технічних вимог.