

*Ю. В. Гуцуляк, к.т.н., доцент, В.В. Артеменко к.т.н., С. Я. Вовк (Львівський державний університет безпеки життєдіяльності)*

## **ДО ВИЗНАЧЕННЯ МЕЖІ ВОГНЕСТІЙКОСТІ МЕТАЛЕВИХ НЕЗАХИЩЕНИХ КОЛОН З ВРАХУВАННЯМ ЗМІНИ МЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК МЕТАЛУ ПРИ НАГРІВАННІ**

У статті розглянуто метод визначення межі вогнестійкості незахищених металевих колон навантажених центрально-стискуючою силою з врахування зміни механічних характеристик металу при нагріванні. Запропоновано для визначення коефіцієнта повздовжнього згину використати метод послідовних наближень. На конкретному прикладі було показано, що межа вогнестійкості металевих незахищених колон є дещо меншою ніж межа вогнестійкості визначена без врахування температури нагріву колони.

**Ключові слова:** межа вогнестійкості, колона, центральний стиск, несуча здатність, гнучкість, коефіцієнт повздовжнього згину.

**Постановка проблеми.** Метали є неспаленими матеріалами, але мають високу теплопровідність та достатньо великий коефіцієнт лінійного розширення, що обумовлює великі деформації при нагріві і як наслідок малу межу вогнестійкості. Металеві конструкції в умовах пожежі внаслідок значної теплопровідності та малої теплоємності швидко прогриваються до критичних температур, що викликає їх руйнування. Переважно такі руйнування не обмежуються місцем виникнення пожежі, а поширюються на значні площі, що підсилює негативні наслідки пожежі. Особливо небезпечні умови для металевих конструкцій виникають тоді коли вони знаходяться в комбінації з горючими матеріалами.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** При визначенні границі вогнестійкості будівельних конструкцій (статична, або теплотехнічна задачі) приймають наступні допущення:

розраховується окремо взятий конструктивний елемент без врахування зв'язків з іншими конструкціями;

конструктивні елементи в умовах пожежі нагріваються однаково по висоті;

втрати тепла в торцях конструкції нехтують;

температурні напруження, які виникають в конструкціях в результаті нерівномірного прогріву, не враховуються;

при розрахунках границі міцності та текучості будівельних матеріалів приймають рівними нормативним опорам цих матеріалів.

Межа вогнестійкості металевих конструкцій може бути визначена розрахунковим методом для двох граничних станів: втраті несучої здатності -  $R$  та втраті теплоізолювальної здатності -  $I$ .

В загальному випадку при визначенні межі вогнестійкості металевих конструкцій необхідно виконати:

- теплотехнічний розрахунок температури прогріву перерізів металоконструкцій в умовах стандартного температурного режиму;  
розрахунок на міцність за несучою здатністю металевих конструкцій в умовах стандартного температурного режиму.

Розрахунок несучої здатності металевих конструкцій з врахуванням дії високих температур зводиться до визначення значення критичної температури нагріву елемента при пожежі  $T_p^{kr}$ , при якій його несуча здатність знизиться до величини діючих на нього навантажень (визначення межі вогнестійкості по признаку  $R$ ). Відповідно, шукане значення фактичної межі вогнестійкості визначається часом впливу пожежі  $\tau = \tau_{fr}$ , при якому температура нагріву елемента металоконструкції в умовах пожежі  $T_p$  досягне величини  $T_p^{kr}$ .

Межа вогнестійкості статично визначених конструкцій визначається мінімальною межею вогнестійкості їх елементів.

При розрахунках на втрату несучої здатності конструкцій в умовах пожежі рекомендується враховувати всі постійні та тимчасові навантаження на перекриття житлових та громадських будівель, приймаючи при цьому коефіцієнт перевантажень рівним одиниці. В промислових будівлях від мостових та підвісних кранів враховують тільки вертикальні складові від власної ваги.

**Мета роботи** полягає у створенні методу розрахунку металевих незахищених гнучких центрально-стиснутих колон з врахуванням зміни їх механічних характеристик при нагріванні.

**Результати досліджень.** Значення коефіцієнта умов роботи при пожежі визначається за формулою:

$$\gamma_T = \frac{N_H}{\varphi_T A_b R_{yn}}, \quad (1)$$

де:  $\varphi_T$  - коефіцієнт поздовжнього згину, який залежить від гнучкості  $\lambda$  та температури нагріву в умовах пожежі  $T$ ,  $A_b$  - площа поперечного перерізу металевого елемента, брутто,  $см^2$ .

Гнучкість колони визначається за відомою формулою [5]:

$$\lambda = \frac{\mu \cdot l}{i_{min}}, \quad (6)$$

де:  $\mu$  - коефіцієнт приведення довжини, який залежить від способу закріплення кінці стержня,  $i_{min}$  - мінімальний радіус інерції перерізу колони,  $l$  - висота колони.

В практиці будівництва найчастіше використовують такі схеми закріплення стержнів (рис.1):

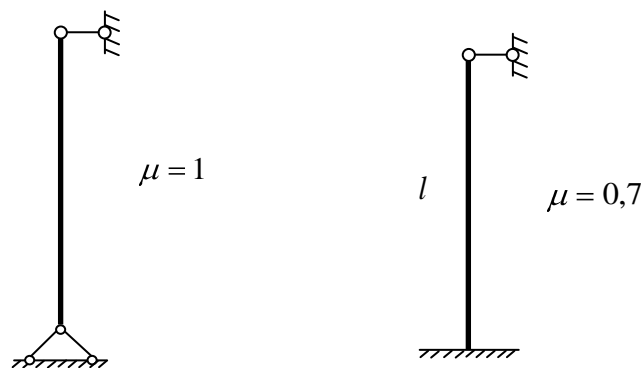


Рис. 1 Способи закріплення стержнів та значення приведених коефіцієнтів приведеної довжини

Значення коефіцієнта поздовжнього згину можна визначити за такими емпіричними формулами [4]:

$$\text{якщо } \lambda \geq \lambda_{ep} \quad \varphi_T = 0,7 / \left( \sqrt{\lambda / \lambda_{ep}} \right)^2 \quad (2)$$

$$\lambda \leq \lambda_{ep} \quad \varphi_T = 1 - 0,3 / \left( \sqrt{\lambda / \lambda_{ep}} \right)^2, \quad (3)$$

де:  $\lambda_{ep}$  - гранична гнучкість, визначається за формулою:

$$\lambda_{ep} = \pi \sqrt{E_{red} / (0,7 \cdot \gamma_T \cdot R_{yn})}, \quad (4)$$

тут:  $E_{red}$  - модуль пружності сталі при температурі  $T$  °C, визначається за формулою :

$$E_{red} = \frac{R_{yn} \cdot E}{R_{yn} + E \cdot K \cdot (-20)^2}, \quad (5)$$

де:  $E$  - модуль пружності сталі при нормальних умовах,  $МПа$ ,  $K = 4 \cdot 10^{-9}$  - для елементів без вогнезахисту та  $K = 6 \cdot 10^{-9}$  для елементів із вогнезахистом.

Однак визначити коефіцієнт повздожнього згину  $\varphi$  за формулами 4,3 або 2 не вдається, оскільки кількість невідомих в цих рівняннях є більшою, ніж кількість самих рівнянь. Тому для визначення коефіцієнта повздожнього згину пропонується використати метод послідовних наближень (рис.2). Коефіцієнт повздожнього згину [5] заходиться в межах  $0 \leq \varphi \leq 1$ .

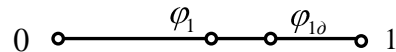


Рис. 2 До визначення коефіцієнта повздожнього згину методом послідовних наближень.

В якості першого наближення приймаємо  $\varphi_1 = \frac{0+1}{2} = 0,5$  і для прийнятого значення обчислюємо всі необхідні значення величин, та знаходимо дійсне значення коефіцієнта повздожнього згину  $\varphi_{id}$ . Якщо прийняте значення коефіцієнта повздожнього згину  $\varphi_1$  значно відрізняється від дійсного значення  $\varphi_{id}$  то розрахунок продовжуємо приймаючи  $\varphi_2 = \frac{\varphi_1 + \varphi_{id}}{2}$  до тих пір поки різниця між прийнятим і отриманим значенням коефіцієнта не буде меншим від наперед заданої величини:

$$|\varphi_i - \varphi_{id}| \leq \varepsilon, \quad (6)$$

де:  $\varepsilon$  - величина допустимої похибки.

Критичну температуру  $T_{кр}$ , для сталей з границею текучості  $\sigma_y = 230 - 330 МПа$  які найчастіше використовуються в будівництві, можна визначити за допомогою таблиць [4] залежно від коефіцієнта умов роботи при пожежі.

Таблиця 1

Залежність критичної температури прогріву металу від коефіцієнта умов роботи при пожежі

$t, ^\circ C$	$T, K$	$\gamma_T$	$t, ^\circ C$	$T, K$	$\gamma_T$
20	293	1,00	400	673	0,70
100	373	0,99	450	723	0,65
150	423	0,93	500	773	0,58
200	473	0,85	550	823	0,45
150	523	0,81	600	873	0,34
300	573	0,77	650	923	0,22
350	623	0,74	700	973	0,11

Визначають приведену товщину металу та згідно рис.3 значення фактичної межі вогнестійкості:

$$\delta_{36} = \frac{A}{\Pi}, \quad (7)$$

тут:  $\Pi$  – периметр колони який обігрівається.

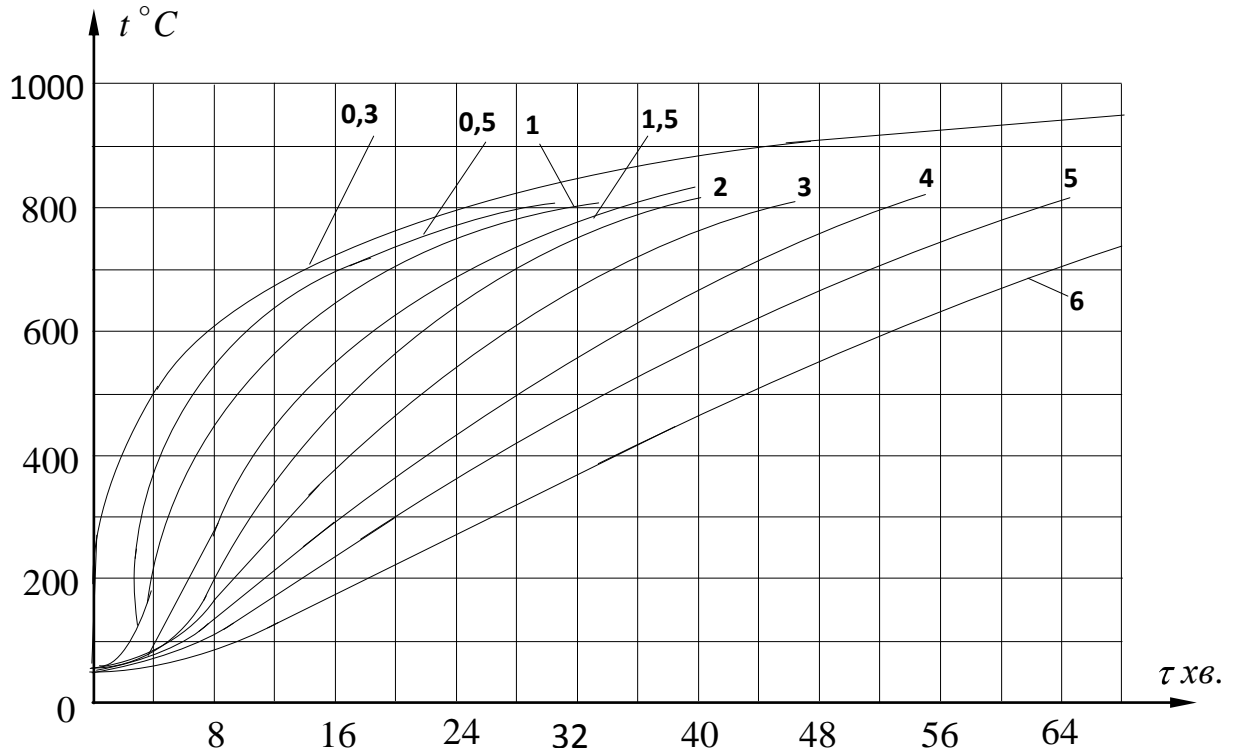


Рис.1 Залежність межі вогнестійкості незахищених металевих конструкцій від зведеної товщини та критичної температури прогріву.

В якості прикладу визначимо межу вогнестійкості колони виконаної з пустотілої труби 159x8мм навантаженої зосередженою розрахунковою силою  $N = 180 \text{ кН}$ , висота колони  $l = 6,0 \text{ м}$ , матеріал сталь В Ст пс 6-2, коефіцієнти приведення довжини  $\mu_x = 0,7$ , та  $\mu_y = 0,7$ .

Згідно графіку рис. 3 при  $\delta_{np} = 0,76 \text{ см}$  та критичній температурі прогріву  $T = 605^\circ \text{C}$  фактична межа вогнестійкості балки настилу буде - R12,1 .

У випадку неврахування зміни механічних характеристик металу при нагріванні межа вогнестійкості такої колони становитиме - R15,6

## **Висновок.**

Межа вогнестійкості незахищеної металевої колони визначена з врахуванням зміни механічних характеристик металу при нагріванні дещо менша ніж при її визначенні без врахування змін механічних характеристик металу, тому в реальних умовах пожежі це необхідно враховувати.

## **СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ:**

1. ДБН В .1.1.7-2002 Пожежна безпека об'єктів будівництва.
2. ДСТУ NEN1999-1-2: 2010 Єврокод 9. Проектування металевих конструкцій. Частина 1-2. Розрахунок конструкцій на вогнестійкість. (En 1999-1-2:2007, idt).
3. ДСТУ – Н EN 1991-1-2:2010 Єврокод 1. Дії на конструкції. Частина 1-2. Дії на конструкції під час пожежі.
4. Ройтман В.М. Инженерные решения по оценке огнестойкости проектируемых и реконструируемых зданий. Ассоциация «Пожарная безопасность и наука», 2001г.-382 с.
5. Гурняк Л.І., Гуцуляк Ю.В., Юзьків Т.Б. Опір матеріалів: Посібник для вивчення курсу при кредитно-модульній системі навчання. – Львів: «Новий світ - 2000», 2005.- 364с.

**К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ПРЕДЕЛА ОГНЕСТОЙКОСТИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ  
НЕЗАЩИЩЕННЫХ КОЛОНН С УЧЕТОМ ИЗМЕНЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ  
ХАРАКТЕРИСТИК МЕТАЛЛА ПРИ НАГРЕВЕ**

В статье рассмотрен метод определения предела огнестойкости незащищенных металлических колонн нагруженных центрально-сжимающей силой с учетом изменения механических характеристик металла при нагревании. Предложено для определения коэффициента продольного изгиба использовать метод последовательных приближений. На конкретном примере было показано, что предел огнестойкости металлических незащищенных колонн несколько меньше предела огнестойкости определенного без учета изменения температуры нагрева колонны.

*Ключевые слова:* предел огнестойкости, колонна, центральное сжатие, несущая способность, гибкость, коэффициент продольного изгиба.

*Yu. V. Hutsulyak., V. V. Artemenko, S. Y. Vovk*

**DEFINITION OF UNPROTECTED METAL COLUMN FIRE RESISTANCE LIMIT  
CONSIDERING CHANGES OF THE MECHANICAL METAL PROPERTIES UNDER  
HEATING**

The article deals with the definition method of the fire resistance of unprotected steel columns loaded centrally compressive strength with the changes of the heated metal mechanical characteristics. Using the method of successive approximations to determine the flexion index is described. The example that the fire resistance of unprotected steel columns less then certain fire resistance without heat temperature changes of the column is shown.

*Key words:* fire resistance, column, central compression, load capacity, flexibility, flexion index.