

*Ю.В. Гуцуляк, канд. техн. наук, доцент, В.В. Артеменко, канд. техн. наук, С.Я. Вовк, канд. техн. наук (Львівський державний університет безпеки життєдіяльності)*

## **ВИЗНАЧЕННЯ МЕЖІ ВОГНЕСТІЙКОСТІ МОНОЛІТНИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ РИГЕЛІВ РОЗРАХУНКОВИМ МЕТОДОМ**

Розглянуто визначення мінімальної межі вогнестійкості монолітних залізобетонних ригелів розрахунковим методом з урахуванням зміни їх механічних характеристик бетону і арматури при нагріванні. Запропоновано для визначення несучої здатності монолітних залізобетонних ригелів використовувати третю стадію напружено-деформованого стану. На конкретному прикладі ригеля західної трибуни стадіону Арена Львів було визначено зміну його несучої здатності залежно від часу нагрівання та мінімальну межу вогнестійкості.

**Ключові слова:** межа вогнестійкості, ригель, залізобетон, несуча здатність.

**Постановка проблеми.** Створена на теперішній час в Україні нормативно-технічна база щодо забезпечення вогнестійкості основних будівельних конструкцій та будівельних виробів враховує сучасну концепцію оцінювання вогнестійкості, визначену у Технічному регламенті будівельних виробів будинків і споруд [1,2] відповідає європейському підходу і дає змогу проводити оцінювання вогнестійкості будівельних конструкцій на відповідність нормативним значенням в умовах стандартного та додаткових (альтернативних) температурних режимів.

Капітальне будівництво та реконструкція існуючих громадських та промислових будівель, пов'язаних з використанням залізобетонних конструкцій характеризуються достатньо високою вогнестійкістю. Підвищення межі вогнестійкості монолітних залізобетонних несучих будівельних конструкцій забезпечується збільшенням їх розмірів поперечних перерізів та товщини захисного теплоізолювального шару.

Для розрахунку вогнестійкості залізобетонних конструкцій за несучою здатністю необхідно знати характер зміни фізико-механічних властивостей бетону та арматури залежно від температури нагрівання цих конструкцій.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** На основі проведеного аналізу основних методик проведення випробувань на вогнестійкість можна стверджувати, що використання стандартного температурного режиму дає найбільш точні результати у дослідженні вогнестійкості конструкцій, однак такі випробовування обмежені розмірами конструкцій та величинами зовнішніх навантажень, що діють на них. Тому не можливо проводити випробування будівельних конструкцій великих розмірів в умовах дії на них великих навантажень.

Відомі на сьогодні методики розрахунку вогнестійкості будівельних конструкцій можна поділити на три групи – табличні методи, спрощені методи розрахунку та уточнені методи розрахунку.

Ці методи рекомендується застосовувати згідно з EN 1992-1-2:2004 Eurocode 2 [2]. Вибір методу розрахунку конструкції приймається згідно з табл. 1 на основі аналізу її реальної роботи у складі всієї конструктивної системи.

В загальному випадку для розрахунку межі вогнестійкості бетонних та залізобетонних конструкцій необхідно:

- провести теплотехнічний розрахунок температур прогріву перерізів бетонних та залізобетонних конструкцій при стандартному температурному режимі;
- виконати розрахунок за несучою здатністю бетонних та залізобетонних конструкцій при стандартному температурному режимі.

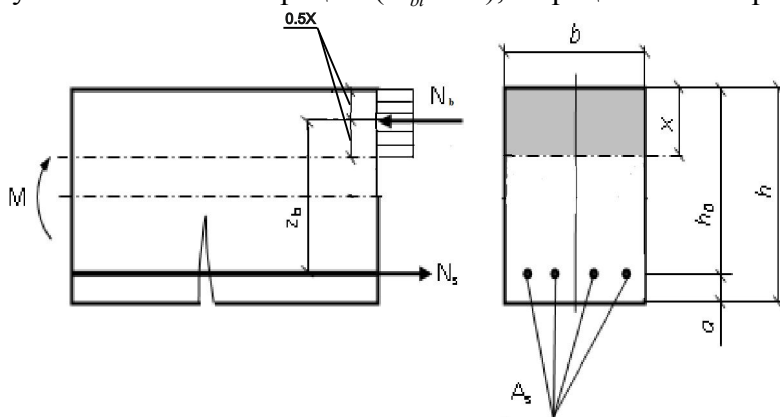
Момент часу впливу пожежі  $\tau_r$  при якому несуча спроможність конструкції дорівнюватиме величині діючого нормативного навантаження буде фактичною межею вогнестійкості конструкції за втратою її несучої спроможності  $R$ .

**Мета роботи** полягає у визначенні мінімальної межі вогнестійкості монолітних залізобетонних ригелів розрахунковим методом з врахуванням зміни механічних характеристик бетону і арматури при нагріванні.

**Результати досліджень.** З метою визначення меж вогнестійкості залізобетонних конструкцій, які працюють на згин в розрахунках на визначення їх несучої здатності використовуємо третю стадію напружено-деформованого стану залізобетону. Це стадія руйнування. При подальшому збільшенні навантаження напруження в арматурі досягають фізичної або умовної границі текучості, а в бетоні – тимчасового опору осьовому стиску. Криволінійність епюри напружень в стиснутій зоні бетону має чітко виражений характер.

При розрахунках на міцність за нормальними перерізами, як основу приймають III стадію напружено-деформованого стану та вводять такі припущення [3]:

- напруження в бетоні стиснутої зони дорівнюють розрахунковому опору ( $\sigma_b = R_b$ );
- криволінійну епюру напружень в бетоні стиснутої зони замінюють на прямокутну (рис. 1);
- в розтягнутій зоні бетон не працює ( $\sigma_{bt} = 0$ ), а працює тільки арматура.



**Рис. 1.** Розрахункова модель напружено-деформованого стану залізобетону при згині

Несуча здатність ригеля визначається з умови рівноваги зовнішніх та внутрішніх силових факторів за формулою:

$$M = \sum R_{s,i} \cdot \gamma_{st,i} \cdot z_i \cdot A_{s,i} \quad (1)$$

де:  $R_{s,i}$  – зусилля в  $i$ -тому арматурному стержні;  $z_i$  – відстань від  $i$ -того арматурного стержня до центра ваги епюри напружень в стиснутій зоні;  $\gamma_{st,i}$  – коефіцієнт умов роботи арматури під час пожежі.

Розрахунки будемо виконувати для найбільш небезпечного перерізу ригеля західної трибуни стадіону Арена Львів.

Ригель довжиною 10 м виготовлений із важкого бетону В 25, на гранітному щебені густиною  $\rho = 2350 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ , призмova міцність бетону:  $R_b = 14,5 \text{ МПа}$ , вологість  $w = 1,0\%$ , з такими теплотехнічними характеристиками:

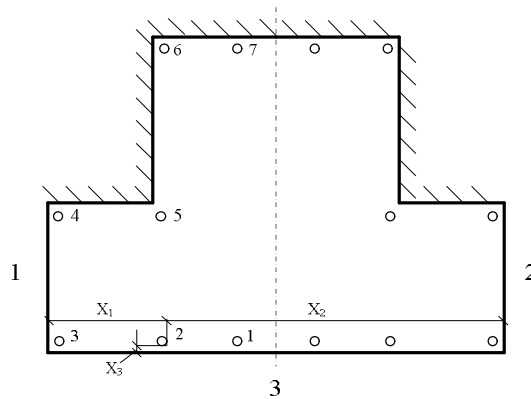
- теплопровідність:  $\lambda = 1,2 - 0,00035 \cdot 450 = 1,0425 \text{ Вт/м} \cdot \text{К}$
- теплоємність:  $C = 0,71 + 0,00083 \cdot 450 = 1,0835 \text{ Дж/кг} \cdot \text{К}$
- коефіцієнт температуропровідності:

$$\alpha_{red} = \frac{3,6 \cdot \lambda}{(C + 0,05w) \cdot \rho} = \frac{3,6 \cdot 1,0425}{(1,0835 + 0,05 \cdot 1,0) \cdot 2350} = 0,00141 ;$$

Арматура 4 $\varnothing$ 22 А500С, 4 $\varnothing$ 32 А500С, 2 $\varnothing$ 16 А500С та 4 $\varnothing$ 12 А500С з розрахунковою міцністю на розтяг:  $R_s^{\varnothing 22} = 450 \text{ МПа}$ , та площами перерізів  $A_s^{\varnothing 22} = 15,20 \text{ см}^2$ ;  $A_s^{\varnothing 32} = 32,17 \text{ см}^2$ ;  $A_s^{\varnothing 16} = 4,02 \text{ см}^2$ ;  $A_s^{\varnothing 12} = 4,52 \text{ см}^2$ .

Розрахунковий згинальний момент в прольоті ригеля становить –  $M = 438 \text{ кН} \cdot \text{м}$ , а нормативний згинальний момент:  $M^n = M \cdot 0,85 = 438 \cdot 0,85 = 372,3 \text{ кНм}$ .

Розрахункова схема перерізу ригеля для визначення температури прогріву арматури показана на рис.2.



**Рис. 2.** Розрахункова схема перерізу для визначення температури прогріву арматури

Розраховуємо температуру прогріву та коефіцієнти умов роботи при нагріванні для п'яти точок (рис. 2) на трьох поверхнях, які обігриваються [5], та визначаємо коефіцієнти умов роботи [5]

$$t = 1220 - 1200 \cdot \left[ 1 - (1 - r_1)^2 + (1 - r_2)^2 \right] \cdot \left[ 1 - (1 - r_3)^2 \right] \quad (2)$$

де  $r_i = \frac{x_i + \varphi_1 \cdot \sqrt{\alpha_{red}}}{\sqrt{0,2\alpha_{red}\tau}}$ ;  $x_i$  – координата арматури, температури в якій визначаємо (див. рис. 2).

• **час пожежі за стандартним температурним режимом  $t = 30$  хв :**

– бетон у стиснутій зоні має  $T_b = 20^\circ C$ ,  $\gamma_{bt} = 1$ ;

– арматура на поверхні стержнів має  $T_{S,1} = 244^\circ C$ ,  $\gamma_{st,1} = 1$ ;  $T_{S,2} = 244^\circ C$ ,  $\gamma_{st,2} = 1$ ;

$T_{S,3} = 426^\circ C$ ,  $\gamma_{st,3} = 0.975$ ;  $T_{S,4} = 244^\circ C$ ,  $\gamma_{st,4} = 1$ ;  $T_{S,5} = 20^\circ C$ ,  $\gamma_{st,5} = 1$ ;

• **час пожежі за стандартним температурним режимом  $t = 60$  хв :**

– бетон у стиснутій зоні має  $T_b = 20^\circ C$ ,  $\gamma_{bt} = 1$ ;

– арматура на поверхні стержнів має  $T_{S,1} = 450^\circ C$ ,  $\gamma_{st,1} = 0,95$ ;  $T_{S,2} = 450^\circ C$ ,  $\gamma_{st,2} = 0,95$ ;  $T_{S,3} = 725^\circ C$ ,  $\gamma_{st,3} = 0.125$ ;  $T_{S,4} = 450^\circ C$ ,  $\gamma_{st,4} = 0,95$ ;  $T_{S,5} = 20^\circ C$ ,  $\gamma_{st,5} = 1$ ;

• **час пожежі за стандартним температурним режимом  $t = 90$  хв ;**

– бетон у стиснутій зоні має  $T_b = 20^\circ C$ ,  $\gamma_{bt} = 1$ ;

– арматура на поверхні стержнів має  $T_{S,1} = 562^\circ C$ ,  $\gamma_{st,1} = 0,57$ ;  $T_{S,2} = 562^\circ C$ ,  $\gamma_{st,2} = 0,57$ ;  $T_{S,3} = 859^\circ C$ ,  $\gamma_{st,3} = 0.0$ ;  $T_{S,4} = 562^\circ C$ ,  $\gamma_{st,4} = 0,57$ ;  $T_{S,5} = 20^\circ C$ ,  $\gamma_{st,5} = 1$ .

Враховуючи отримані значення коефіцієнтів умов роботи арматури, за формулами (1) та (2) визначаємо несучу здатність ригеля для двох випадків прийнятих припущень, результати зводимо в табл. 1.

Час нагрівання	$t = 0$ хв	$t = 30$ хв	$t = 60$ хв	$t = 90$ хв
Несуча здатність ригеля $кН \cdot м$ .	635,3	632,7	520	330,5

Визначаємо фактичну межу вогнестійкості ригеля в перерізі **а-а** посередині прольоту методом інтерполяцій.

Несуча спроможність ригеля при  $\tau = 90$  хв становить – 338,48 кНм, при  $\tau = 60$  дорівнює 519,98 кНм, а при навантаженні  $M_H = 372,8$  кНм:

$$\tau = 60 + \frac{519,98 - 372,3}{519,98 - 330,48} (90 - 60) = 83,3 \text{ хв,}$$

вона становить 83,3 хв, тобто межа вогнестійкості залізобетонного ригеля за втратою несучої спроможності R60, а межа поширення вогню M0 і згідно табл. 4 ДБН В.1.1-7-2002 ригель має I ступінь вогнестійкості.

#### **Висновок**

1. Необхідна межа вогнестійкості R60 для цього перерізу забезпечується.
2. На 60-ій хв стандартної пожежі температура на поверхні двох симетрично розміщених робочих арматурних стержнів (т. 2) перевищує гранично допустиму температуру 500°C.

#### **Список літератури:**

1. **Технічний регламент** будівельних виробів, будівель і споруд / Затв. постановою Кабінету міністрів України від 20.12.06 №1764.
2. **ДБН В.1.1.7-2002** «Пожежна безпека об'єктів будівництва».
3. **СНиП 2.03.04-84** «Бетонные и железобетонные конструкции, предназначенные для работы в условиях воздействия повышенных и высоких температур».
4. **Ю.Ф. Бучок** Будівельні конструкції. Основи розрахунку: Підручник. – К.: Вища шк., 1994. – 387 с.
5. **Ройтман В.М.** Инженерные решения по оценке огнестойкости проектируемых и реконструируемых зданий. Ассоциация «Пожарная безопасность и наука», 2001г. – 382 с.
6. **Рекомендации по расчету** пределов огнестойкости бетонных и железобетонных конструкций. М.: Стройиздат, 1986. – 40 с.

*Ю.В. Гуцуляк, В.В. Артеменко, С.Я. Вовк*

### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕДЕЛА ОГНЕСТОЙКОСТИ МОНОЛИТНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ РИГЕЛЕЙ РАСЧЕТНЫМ МЕТОДОМ**

Рассмотрено определение минимального предела огнестойкости монолитных железобетонных ригелей расчетным методом с учетом изменения механических характеристик бетона и арматуры при нагревании. Предложено для определения несущей способности монолитных железобетонных ригелей использовать третью стадию напряженно-деформированного состояния. На конкретном примере ригеля западной трибуны стадиона Арены Львов было определено изменение его несущей способности в зависимости от времени нагревания и минимальный предел огнестойкости.

**Ключевые слова:** предел огнестойкости, ригель, железобетон, несущая способность.

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

### **COMPUTATIONAL METHOD FOR DETERMINING FIRE RESISTANCE LEVEL OF MONOLITHIC REINFORCED CONCRETE CROSS-BEAMS**

Determination of minimum fire resistance of monolithic reinforced concrete cross-beams was calculated taking into account the change of mechanical characteristics of concrete and rebar when heated. It was suggested to determine the bearing capacity of monolithic reinforced concrete cross-beams using the third stage of the stress-strain state. The cross-beam of western stands of the Arena Lviv stadium was taken as an example to define the change of its bearing capacity depending on the heating time and the minimum limit of fire resistance.

**Key words:** border fire, bolt, reinforced concrete, bearing capacity.