

*д.т.н., доц. Поздєєв С. В.,  
к.т.н., доц. Отрош Ю. А.,  
Омельченко А. М.,  
Щіпець С. Д.*

*(Академія пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля, м. Черкаси, Україна)*

## МЕТОДИКА ОЦІНКИ МЕЖІ ВОГНЕСТІЙКОСТІ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ БАЛОК ШЛЯХОМ ІНТЕРПРЕТАЦІЇ РЕЗУЛЬТАТІВ ЇХ ВОГНЕВИХ ВИПРОБУВАНЬ

*Розроблено методику, яка дозволяє на основі даних, одержуваних в ході вогневих випробувань при трьохсторонньому нагріванні залізобетонної балки за стандартною температурною кривою пожежі у вогневій печі без механічного навантаження згідно з вимогами стандартів, оцінити межі вогнестійкості залізобетонних балок прямокутного перерізу за несучою здатністю при застосуванні міцнісного розрахунку. Наведені результати, отримані за цією методикою, щодо оцінки межі вогнестійкості залізобетонної балки за результатами вогневих випробувань.*

**Ключові слова:** *вогневі випробування, вогнестійкість, стандартний температурний режим, залізобетонна балка, несуча здатність, інтерполяція, Єврокод, термопара.*

**Постановка проблеми.** Мінімальні вимоги до вогнестійкості визначені в національних нормативах, заснованих на міркуваннях безпеки для життя людей, що знаходяться в будівлі або поблизу від неї, а також персоналу пожежної охорони.

Визначення вогнестійкості будівельних конструкцій будівель і споруд може ґрунтуватися на результатах випробувань на вогнестійкість, що є альтернативою до проектування на основі обчислень. Сьогодні в Україні значення межі вогнестійкості визначають шляхом випробувань за національним стандартом України [1], або за стандартами на методи випробувань на вогнестійкість будівельних конструкцій конкретних видів (колон, балок, перекриттів, покриттів, дверей та воріт, підвісних стель, кабельних проходок тощо). Але експериментальний метод має ряд недоліків.

Визначення вогнестійкості конструкцій може також ґрунтуватися на поєднанні результатів випробувань і чисельних розрахунків. Система Єврокодів допускає систему, основу на комбінації результатів випробувань і чисельного моделювання для будівель і споруд. В зв'язку з цим в роботі і постає завдання розробити розрахунково-експериментальний метод розрахунку. Ці методи поєднують в різному по-

рядку експериментальні та розрахункові процедури. Більшість таких методів засновано на попередньому експериментальному визначенні параметрів властивостей матеріалів досліджуваних конструкцій або розподілу температур по поперечному перерізу і наступним визначенням межі вогнестійкості при використанні одного з розрахункових методів.

Залізобетонні балки є складовими частинами перекриттів будівель, і зв'язку з цим є актуальним визначення вогнестійкості залізобетонних балок для забезпечення пожежної безпеки при експлуатації, оскільки виключення їх з роботи призводить до руйнування будівлі вцілому.

Розроблений в роботі розрахунково-експериментальний метод, на наш погляд, позбавлений характерних недоліків методів, заснованих на вогневих випробуваннях, і розрахункових методів, оскільки він дозволяє вилучити з експериментальних установок навантажувальне обладнання та контрольно-вимірювальні прилади, пов'язані з вимірюванням зусиль та деформацій. Це в свою чергу дозволяє значно зменшити трудовитрати та вартість на підготовку та проведення експериментів. Крім цього виключається ризик обвалення випробовуваного зразку разом з вантажами у простір

камери печі і як наслідок ушкодження її огорожувальних конструкцій та футеровки, що мають найбільшу вартість. Застосування розрахункової інтерпретації також дозволяє підвищити точність, оскільки виключається вплив невідповідності габаритних розмірів та граничних умов випробуваного елемента, як складової відповідної структури.

**Постановка завдання.** Завдання роботи полягає в розробці та апробації методики, яка дозволяє на основі даних, одержуваних в ході вогневих випробувань при трьохсторонньому нагріванні залізобетонної балки за стандартною температурною кривою пожежі у вогневій печі без механічного навантаження згідно з вимогами стандартів [3] та [1], оцінити межу вогнестійкості залізобетонної балки прямокутного перерізу за несучою здатністю при застосуванні міцнісного розрахунку.

**Викладення матеріалу та його результати.** Запропонована методика дозволяє проводити випробування балкових елементів будівельних конструкцій (балок, ригелів, перемичок, елементів ферм, рам, арок тощо) на вогнестійкість за температурним режимом згідно з [1] без прикладання механічного навантаження. Методика використовується для визначення межі вогнестійкості балкових елементів будівельних конструкцій (далі - балок), які піддаються впливу вогню з трьох боків.

Метод враховує зміни механічних властивостей кожного шару бетону і арматурної сталі залежно від їх температури нагріву. Вказана зміна враховується при розгляді параметрів напружено-деформованого стану в перерізі балки відповідно до шарнірної схеми її закріплення, геометричними параметрами, класу міцності бетону і арматурної сталі. Рівняння, що описують напружено-деформований стан, взяті відповідно до рекомендацій [2].

Для врахування зміни механічних властивостей у залежності від температури була використана інтерполяція температур у вузлових точках перерізу при застосуванні значень температур, які виміряні у конт-

рольних точках перерізу у ході проведення випробувань. На рисунку 1 подана схема розбиття перерізу на прямокутні зони з вузловими точками, де будуть визначатися температури шляхом інтерполяції. Також на цьому рисунку подана схема розташування контрольних точок, де визначатиметься температура відповідно до рекомендацій стандарту [3, п. 8.1.2].

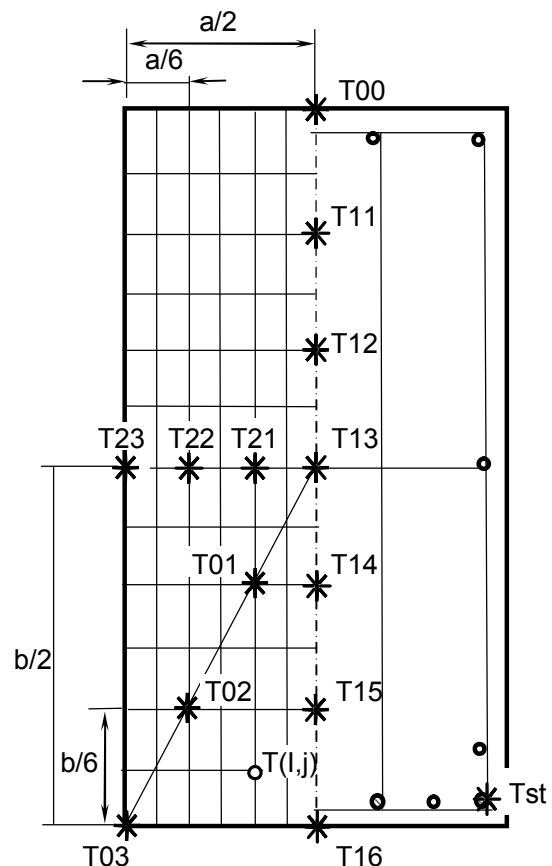


Рисунок 1 – Схема розташування термопар та розбиття перерізу балки на зони

Експеримент проводиться у відповідності до стандартів щодо вогневих випробувань балок ДСТУ Б В.1.1-4 «Будівельні конструкції. Методи випробувань на вогнестійкість. Загальні вимоги» та ДСТУ Б В.1.1-13 «Захист від Пожежі. Балки. Метод випробування на вогнестійкість».

**Результати використання запропонованого методу.** Для проведення розрахунку щодо оцінки межі вогнестійкості залізобетонних балок за результатами вогне-

## БУДІВНИЦТВО

вих випробувань необхідні наступні початкові дані.

Показники термодар в кожну хвилину випробувань згідно зі схемою на рисунку 1.

Умовні позначення: T00, T01, T02, T03, T10, T11, T12, T13, T14, T15, T16, T21, T22, T23, Tst.

Клас міцності бетону.

Тип крупного заповнювача бетону (силікатний — 1, карбонатний — 0).

Клас міцності робочої арматури.

Діаметри арматури (рис. 2). Умовне позначення:  $d$ ,  $d_1$ ,  $d_n$ .

Кількість арматурних стержнів:  $n$ ,  $n_1$ ,  $n_n$  відповідно до рисунку 2.

Геометричні розміри перерізу балки і захисний шар бетону (рис. 2). Умовні позначення:  $a$ ,  $b$ ,  $w$ .

Розрахункова довжина балки. Умовне позначення:  $L$ .

Розрахункове розподілене навантаження. Умовне позначення:  $Q_{0d}$ .

Розглянемо конкретний приклад залізобетонної балки.

На рисунку 2 подана розрахункова схема перерізу балки та її армування. На рисунку 3 наведено лістинг сторінки введене

ня початкових даних, а на рисунку 7 показаний лістинг сторінки результатів. Після інтерполяції були отримані розподіли температур, показані на рисунку 4.

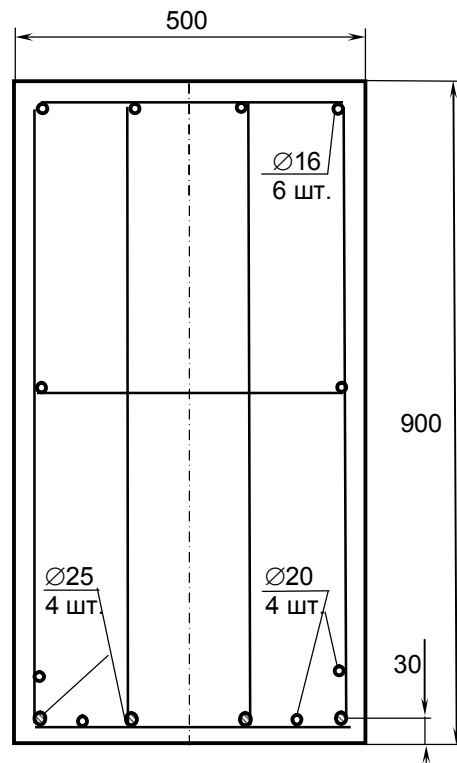


Рисунок 2 — Параметри перерізу балки

Таблиця 1 — Основні параметри залізобетонної балки, яка розраховується за запропонованим методом

Параметр	Позначення	Значення	Одиниця виміру
Геометричні розміри			
• ширина	$a$	0,5	м
• висота	$b$	0,9	
• ширина захисного шару	$w$	0,03	
• довжина балки	$L$	4	
Тип бетону	Важкий на гранітному зповнювачі	Клас С30/42 (В30)	
Густина бетону	$\rho_B$	2230	кг/м <sup>3</sup>
Робоча арматура:		Клас А500С	
• діаметр більший	$d_1$	0,025	м
• діаметр менший	$d_2$	0,02	
Додаткова арматура:		Клас А500С	
• діаметр	$d_3$	0,016	м



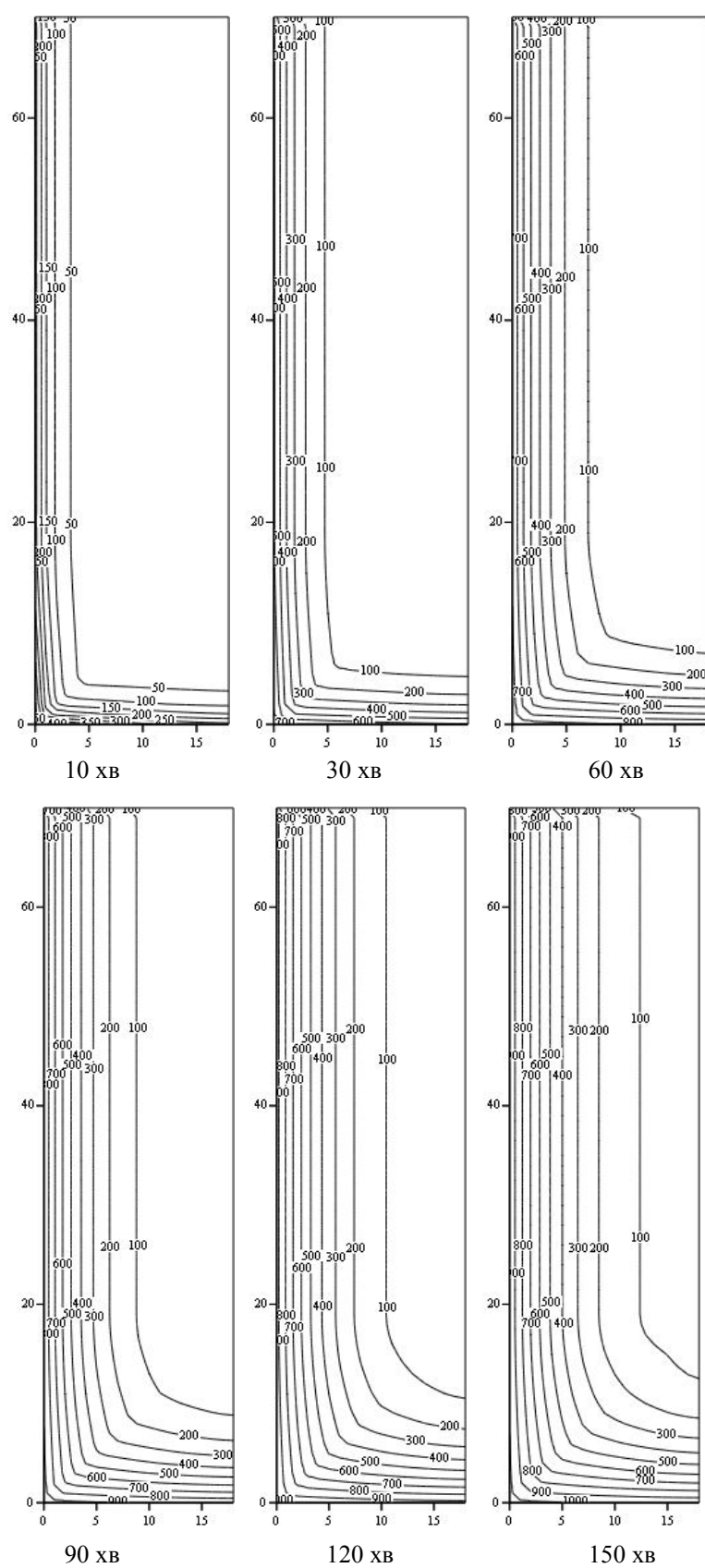


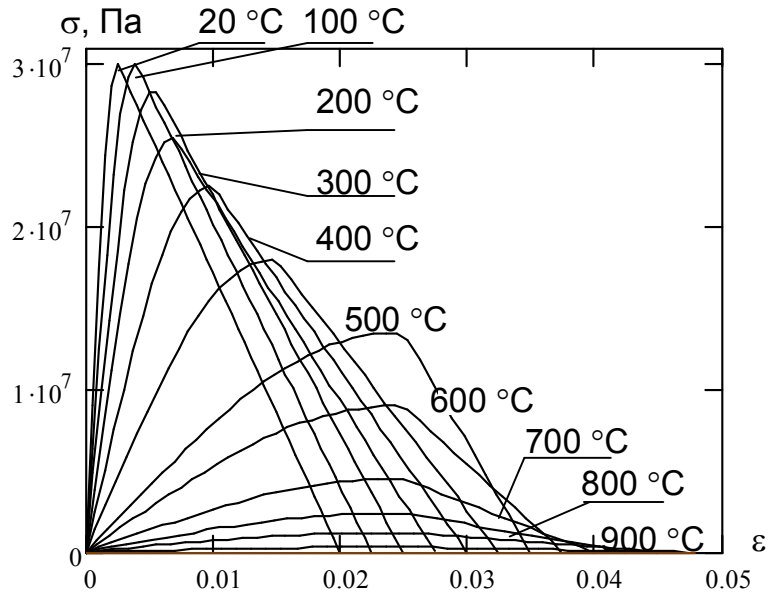
Рисунок 4 — Результати проведення інтерполяції температур по значенням контрольних точок перетину

## БУДІВНИЦТВО

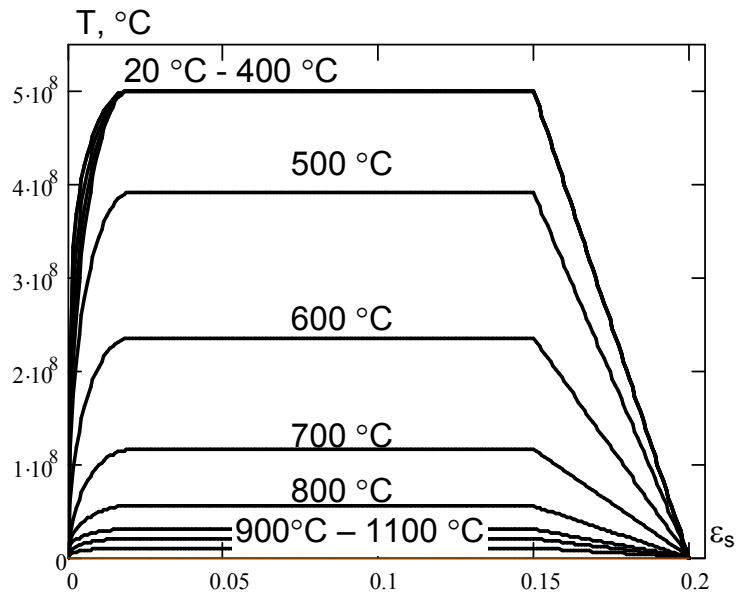
Для здійснення інтерполяції взяті результати розрахунку теплової задачі для перерізу залізобетонної балки згідно з рекомендаціями EN 1992-1-2:2005. Згідно з рекомендаціями Eurocode 2, а також дани-

ми таблиці 1 були побудовані міцнісні характеристики бетону і арматурної сталі, які подані на рисунку 5.

Переріз балки був розбитий на прямокутні зони розміром 5×4,5 мм.



a)



б)

Рисунок 5 — Діаграми деформування бетону (а) та арматурної сталі (б)

## БУДІВНИЦТВО

Міцнісна задача визначається виходячи із значення максимального прогину балки, що визначається за формулою:

$$D = \frac{L^2}{400 \cdot b} \quad (1)$$

За даним значенням максимального прогину визначається максимальна кривизна за формулою:

$$\chi = \frac{48D}{5L^2} = 24 \cdot 10^{-3} b^{-1} \quad (2)$$

Граничний максимальний прогин розглядуємої балки складе:

$$D = \frac{L^2}{400 \cdot b} = \frac{4^2}{400 \cdot 0,9} = 0,044 \text{ м.}$$

Гранична кривизна балки складе:

$$\chi = 24 \cdot 10^{-3} 0,9^{-1} = 0,0027 \text{ м}^{-1}.$$

За відомими напруженнями кожної з зон перерізу балки та арматурних стержнів визначається момент, при якому досягається критична кривизна балки з використанням формули:

$$M_{lim,fi} = \sum_{i=1}^z \sigma_{si}(\theta, \varepsilon_{si}) A_{si} \times \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sigma_{bi,j}(\theta, \varepsilon_{bi,j}) A_{bi,j} d_{bi,j} + \sum_{i=1}^l \sigma_{sdi}(\theta, \varepsilon_{sdi}) A_{sdi} d_{sdi}}{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sigma_{bi,j}(\theta, \varepsilon_{bi,j}) A_{bi,j} + \sum_{i=1}^l \sigma_{sdi}(\theta, \varepsilon_{sdi}) A_{sdi}}, \quad (3)$$

де  $\sigma_{bi,j}(\theta, \varepsilon_{bi,j})$  — напруження у бетоні, які визначаються за діаграмами на рисунку 5 або згідно формул EN 1992-1-2:2005 Eurocode 2, для середнього значення температури поточної зони бетону у перерізі;  $\sigma_{si}(\theta, \varepsilon_{si})$ ,  $\sigma_{sdi}(\theta, \varepsilon_{sdi})$  — напруження у робочій та додатковій арматурі, які визначаються за діаграмами на рисунку 5 або згідно формул EN 1992-1-2:2005 Eurocode 2;  $d_{bi,j}$ ,  $d_{sdi}$  — відстані відповідно від центрів зон бетону перерізу, осей додаткових арматурних стержнів до осі, що проходить через центри робочої арматури,

причому для стержнів нижче горизонтальної центральної вісі відстань має від'ємне значення.

Деформації:  $\varepsilon_{bi,j} = x_{bi,j} \cdot \chi$ , де  $x_{bi,j}$  — відстань центру зони до горизонтальної центральної вісі перерізу;  $\varepsilon_{sdi} = x_{sdi} \cdot \chi$ , де  $x_{sdi}$  — відстань осі додаткового арматурного стержня до горизонтальної центральної вісі перерізу;  $\varepsilon_{si} = x_{si} \cdot \chi$ , де  $x_{si}$  — відстань осі робочого арматурного стержня до горизонтальної центральної вісі перерізу;  $A_{bi,j}$  — площа зон, на які розбитий переріз балки,  $A_{sdi}$ ,  $A_{si}$  — площі поперечних перерізів стержнів робочої та додаткової арматури.

За формулою (3) у кожний контрольний момент часу були побудовані графіки залежності внутрішнього моменту від кривизни балки і визначені максимальні їх значення. При побудові графіку фіксується момент з найбільшим значенням, який розглядається як максимальний момент, що здатна витримувати балка у даний контрольний момент часу випробування.

На рисунку 6 побудовані вказані графіки для деяких моментів часу випробування.

Порівнюючи поточне значення максимального моменту випробуваної балки із діючим моментом, що визначається за формулою:

$$M_{0d} = Q_{0d} L^2 / 8, \quad (4)$$

визначається настання граничного стану втрати несучої здатності.

За отриманими значеннями максимальних моментів був побудований графік зниження несучої спроможності, який поданий на рисунку 7.

У результаті проведеного розрахунку була визначена межа вогнестійкості яка склала 81 хв.

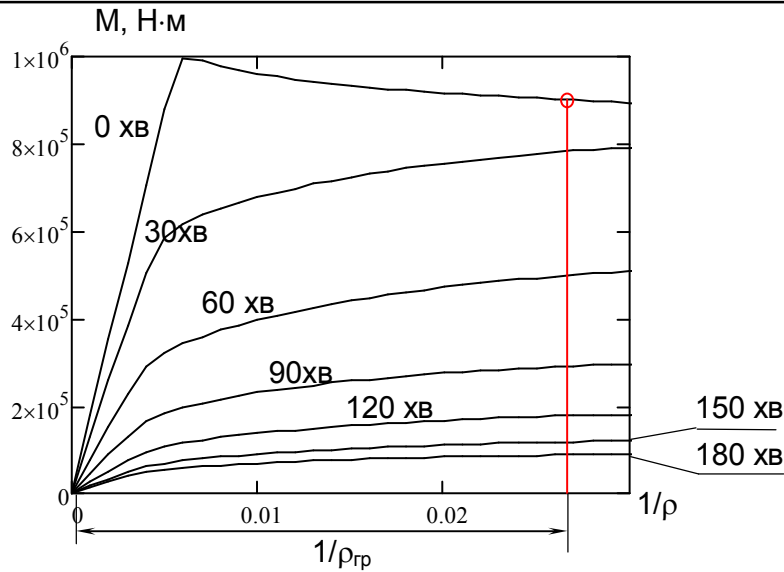


Рисунок 6 — Графіки максимального моменту у балки при граничному значенні кривизни для заданих моментів часу випробування

Межа вогнестійкості балки ФМВ=81, Ресурс несучої здатності балки RSB=0%,  
Графік зниження несучої здатності балки.

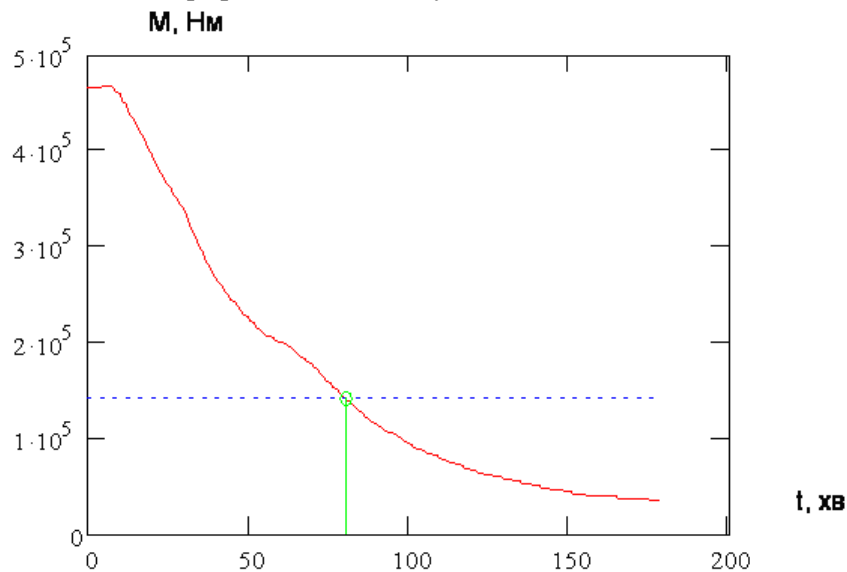


Рисунок 7 — Графік зниження несучої здатності залізобетонної балки

### Висновки і напрямок подальших досліджень.

1. В результаті проведених досліджень була розроблена методика, яка дозволяє проводити випробування балкових елементів будівельних конструкцій (балок, ригелів, перемичок, елементів ферм, рам, арок тощо) на вогнестійкість за температурним режимом згідно з ДСТУ Б В.1.1-4-98 без прикладання механічного навантаження.

Методика може бути використана для визначення межі вогнестійкості балкових елементів будівельних конструкцій (далі - балок), які піддаються впливу вогню з трьох боків.

2. Проведена оцінка вогнестійкості залізобетонної балки за розробленою методикою, в результаті чого показана її ефективність.



## Бібліографічний список

1. *Захист від пожежі. Будівельні конструкції. Методи випробувань на вогнестійкість. Загальні вимоги : ДСТУ Б В.1.1-4-98\**. — [Чинний від 1999-03-01]. — К.: Держбуд України, 2005. — 18 с.
2. *ДСТУ-Н Б EN 1992-1-2:2012 Єврокод 2. Проектування залізобетонних конструкцій. Частина 1-2. Загальні положення. Розрахунок конструкцій на вогнестійкість (EN 1992-1-2:2004, IDT)*. [Чинний від 2013-07-01]. — К.: Мінрегіонбуд України, 2012. — 131 с.
3. *ДСТУ Б В.1.1-13:2007 «Захист від пожежі. Балки. Метод випробування на вогнестійкість»*. [Чинний від 2008-01-01]. — К.: Мінрегіонбуд України, 2007. — 7 с.
4. *ДСТУ-Н Б EN 1993-1-2:2010 Єврокод 3. Проектування сталевих конструкцій. Частина 1-2. Загальні положення. Розрахунок конструкцій на вогнестійкість (EN 1993-1-2:2005, IDT)*. [Чинний від 2013-07-01]. — К.: Мінрегіонбуд України, 2012. — 98 с.
5. *ДСТУ-Н Б EN 1994-1-2:2012 Єврокод 4. Проектування сталезалізобетонних конструкцій. Частина 1-2. Загальні положення. Розрахунок конструкцій на вогнестійкість (EN 1994-1-2:2005, IDT)*. [Чинний від 2013-07-01]. — К.: Мінрегіонбуд України, 2012. — 154 с.

**Рекомендована до друку д.т.н., проф. ДонДТУ Голодновим О. І.,  
д.т.н., проф. АПБ ім. Героїв Чорнобиля Осипенко В. І.**

Стаття надійшла в редакцію 24.03.14.

**д.т.н., доц. Поздеев С. В., к.т.н., доц. Отрош Ю. А., Омельченко А. Н., Шипец С. Д.**  
(Академия пожарной безопасности имени Героев Чернобыля, г.Черкассы, Украина)

#### **МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ПРЕДЕЛА ОГНЕСТОЙКОСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК ПУТЕМ ИНТЕРПРЕТАЦИИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИХ ОГНЕВЫХ ИСПЫТАНИЙ**

*Разработана методика, которая позволяет на основе данных, получаемых в ходе огневых испытаний при трехстороннем нагреве железобетонной балки по стандартной температурной кривой пожара в огневой печи без механической нагрузки согласно требованиям стандартов, оценить предел огнестойкости железобетонных балок прямоугольного сечения по несущей способности при применении прочностного расчета. Приведены результаты, которые получены по этой методике, для оценки предела огнестойкости железобетонной балки по результатам огневых испытаний.*

**Ключевые слова:** *огневые испытания, огнестойкость, стандартный температурный режим, железобетонная балка, несущая способность, интерполяция, Еврокод, термопара.*

**Pozdeev S. V. Doctor of Engineering Sciences, Otrosh Yu. A. Candidate of Engineering Sciences, Omelchenco A. N., Shchipets S. D. (Heroes of Chernobyl Fire Safety Academy, Cherkassy, Ukraine)**  
**TECHNIQUE OF LIMIT ESTIMATION OF THE FIRE-RESISTANT FERROCONCRETE BEAMS BY THE INTERPRETATION OF THE FIRE TESTS RESULTS**

*The technique that allows on the basis of the data obtained during the fire test in three way heating of ferroconcrete beam at the standard temperature of fire curve in the furnace without mechanical treatment according to standard requirements is developed, to estimate the fire-resistance limit of ferroconcrete rectangular beams on the bearing capacity in strength calculation application. The results obtained due to the technique for estimation of limit of ferroconcrete beam fire-resistance according to the results of fire tests are given.*

**Key words:** *fire tests, ferroconcrete, fire-resistance, standard temperature mode, ferroconcrete beam, bearing capacity, interpolation, Eurocode, thermopair.*