

ISSN 2524-2636



Том 4 № 2 (2020)



Збірник наукових праць

Черкаського інституту пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля  
Національного університету цивільного захисту України

## НАДЗВИЧАЙНІ СИТУАЦІЇ: ПОПЕРЕДЖЕННЯ ТА ЛІКВІДАЦІЯ



О. В. Борсук, О. М. Нуянзін, канд. техн. наук, доцент, В. М. Кришталь,  
С. А. Ведула, М. М. Горovenко,  
Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля  
Національного університету цивільного захисту України

## ДОСЛІДЖЕННЯ МЕЖІ ВОГНЕСТІЙКОСТІ СТАЛЕВОЇ БАЛКИ ЗА УМОВИ ВТРАТИ ЦІЛІСНОСТІ ВОГНЕЗАХИСНОГО ПОКРИТТЯ

У даній статті для вирішення основних завдань було визначено температурний режим прогрівання сталеві балки при якому був врахований факт втрати цілісності вогнезахисного покриття внаслідок теплового впливу пожежі.

При розрахунку температурного режиму встановлено момент часу впливу стандартного температурного режиму пожежі та значення температури нагрівання сталеві балки з мінераловатним облицюванням, при якому останнє втрачає свою цілісність. Побудовано графік температурного режиму нагрівання сталеві балки із мінераловатним вогнезахисним облицюванням (за умов впливу стандартного температурного режиму пожежі) без врахування та з врахуванням втрати цілісності вогнезахисним мінераловатним облицюванням. Починаючи з 45 с температура сталеві балки помітно підвищується і практично за 5 хв наближається до температурної кривої стандартного температурного режиму пожежі, що вказує на невиконання вогнезахисної функції облицюванням через втрату цілісності.

За отриманим температурним режимом прогрівання значення межі вогнестійкості сталеві балки за умови втрати цілісності вогнезахисного покриття має залежність від напружено-деформованих станів у сталевій балці. Враховуючи геометричні параметри перерізу досліджуваного двотавра, за кінцево-елементною схемою сталеві балка була розбита на оболонкові чотири вузлові елементи типу SHELL з п'ятьма точками інтегрування по товщині у формулюванні Белічко-Цая. Після проведення розрахунку були отримані відповідні результати, наведені у вигляді графіків зміни максимального прогину балки та швидкості нарощування максимального прогину у залежності від часу впливу стандартного температурного режиму пожежі. Визначені критичні значення величин настання межі вогнестійкості за графіком максимального прогину та за графіком швидкості нарощення прогину. Різниця показників вказує, що настання часу граничного стану втрати несучої здатності на 70 хв менше за умови неврахування втрати вогнезахисної здатності мінераловатним вогнезахистом унаслідок втрати цілісності.

**Ключові слова:** облицювання із мінеральної вати, вогнестійкість, вогнезахисна здатність, сталеві балка, цілісність вогнезахисного покриття.

**Постановка проблеми.** Сталеві конструкції знайшли широке застосування у будівництві, однак високі показники теплопровідності металу є суттєвим недоліком, що впливає на пожежну безпеку таких конструкцій. Забезпечення безпеки будівельних об'єктів, зведених з металоконструкцій, довгий час залишається актуальним. Для вирішення цього важливого завдання науковцями Зігерн-Корном В. Н., Ройтманом В. М., Поздєєвим С. В., Файбишенком В. К., Беліковим А. С.,

Голодновим О. І., Демчиною Б. Г., Круковським П. Г., Цвіркуном С. В., Новаком С. В., Яковлевою А. І., Жамойдиком С. М., Шналем Т. М., Калафатом К. В., Довбишем А. В. та ін. запропоновано ряд способів із забезпечення пожежної безпеки шляхом підвищення межі вогнестійкості сталевих конструкцій. Серед таких способів широко досліджені питання облицювання металевих конструкцій негорючими матеріалами, а їх ефективність доведена експериментальними

випробуваннями, моделюванням процесів теплообміну з врахуванням напружено-деформованих станів та математичними розрахунками. Однак при дослідженні різних видів облицювань, враховуючи їх переваги та високі показники ефективності підвищення вогнезахисної здатності сталевих конструкцій, не був врахований факт втрати цілісності вогнезахисного покриття та його вплив на показники теплопровідності і забезпечення нормованого часу межі вогнестійкості. Мінераловатні плити є перспективним негорючим матеріалом, який широко застосовується для теплоізоляції будівель. Враховуючи переваги мінераловатних матеріалів, перспективним та актуальним є питання підвищення межі вогнестійкості сталевих конструкцій із використанням в якості вогнезахисного облицювання з мінераловатного покриття.

**Аналіз останніх досягнень і публікацій.** Дослідженню меж вогнестійкості сталі присвячена велика кількість робіт. У більшості випадків сталі конструкції розглядають як матеріал, який необхідно захищати від вогню.

В експериментальній частині роботи [1] значну увагу приділено облицюванню металевих колон гіпсокартоновими плитами. У деяких зразках в якості наповнення порожнини між сталевією конструкцією та вогнезахисним облицюванням використано мінеральну вату. За результатами визначення межі вогнестійкості відповідного конструкційного вогнезахисту настання граничного стану межі вогнестійкості зафіксовано за ознакою втрати цілісності за загорянням ватного тампона, піднесеного до необігрівальної поверхні зразків у місцях появи тріщин. Відповідний результат експерименту вказує на необхідність врахування цілісності вогнезахисного покриття при розрахунку межі вогнестійкості сталевих конструкцій.

Проблему утворення щілин у вогнезахисному облицюванні висвітлено у роботі [2], в якій за результатами проведеного натурального експерименту щодо забезпечення межі вогнестійкості сталевих колон з конструктивним

вогнезахистом у вигляді вогнестійких гіпсових плит встановлено появу зазорів у стикових швах. Причиною появи встановлено процес термічної усадки гіпсових плит, що більш характерно для плит меншої товщини та призводить до часткового порушення цілісності конструктивного вогнезахисту і сприяє додатковому проникненню теплових потоків всередину сталевією конструкції, що захищається.

У роботі [3] дослідження показали ефективність вогнезахисних композицій призначених для вогнезахисту сталевих конструкцій, однак поряд з перевагами є суттєві недоліки через виготовлення відповідних вогнезахисних композицій та трудомісткість при процесі нанесення. Дослідження вогнестійкості сталевих конструкцій, захищених мінеральною ватою, не проводилось.

Роботи [1-3] дають чітку відповідь на питання: «чому сталі будівельні конструкції потребують вогнезахисту?» Тому, дослідження їхнього прогрівання з вогнезахисним мінераловатним покриттям – облицюванням сприятиме розвитку даного напрямку. У попередній роботі [4] були розглянуті процеси втрати цілісності вогнезахисного облицювання із мінеральної вати сталевією двотаврової балки та досліджено умови за яких вогнезахисне облицювання втрачає свою цілісність та вогнезахисну здатність.

**Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується стаття.** Аналіз нормативних документів [5-7] роботи вчених [1-4, 8] вказав на доцільність вивчення зміни межі вогнестійкості сталевією балки за умови втрати цілісності вогнезахисного покриття. Виходячи з вище викладеного, доцільно дослідити температурний режим прогрівання сталевією балки за умови втрати цілісності вогнезахисного покриття з мінераловатного облицювання з визначення показників .

**Постановка мети.** Метою даної роботи є розрахувати та встановити залежності часу відшарування вогнезахисного облицювання та межі вогнестійкості від конструктивних

параметрів сталевих балок із вогнезахистом на основі мінераловатного облицювання. Для цього необхідно встановити параметри, що впливають на зміну межі вогнестійкості та встановити їх залежність від зміни температурного режиму і цілісності вогнезахисного мінераловатного покриття.

Описати алгоритм та провести розрахунки, що дають можливість вивчити вплив конструктивних параметрів сталевих балок із мінераловатним вогнезахистом на їх межу вогнестійкості.

Провести розрахунки та встановити залежності часу відшарування

вогнезахисного облицювання та межі вогнестійкості від конструктивних параметрів сталевих балок із вогнезахистом.

**Виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих результатів.** При обчисленні температурного режиму пожежі має бути врахований факт втрати цілісності вогнезахисного облицювання внаслідок теплового впливу пожежі. Цього можна досягти за умови застосування формули збільшення температури  $\Delta\theta_{a,t}$  за проміжок часу  $\Delta t$ , яка має такий вигляд [5]:

$$\Delta\theta_{a,t} = \frac{\lambda_p A_p}{V d_p c_a \rho_a} \cdot \frac{(\theta_{g,t} - \theta_{a,t})}{(1 + \phi/3)} \cdot \Delta t - (e^{\phi/10} - 1) \cdot \Delta\theta_{g,t} \quad (\Delta\theta_{a,t} \geq 0 \text{ при } \Delta\theta_{g,t} > 0), \quad (1)$$

$$\text{тут } \phi = \frac{c_p \rho_p}{c_a \rho_a} \cdot d_p A_p / V,$$

де  $A_p/V$  – коефіцієнт перерізу сталеві балки із вогнезахисною системою на основі мінеральної вати;  $c_a$  – температурна залежність питомої теплоємності сталі, (Дж/(кг·°C)) (табличні дані);  $c_p = 1000$  – питома теплоємність мінераловатного вогнезахисного облицювання, що не є температурозалежною (Дж/(кг·K));  $d_p$  – товщина мінераловатної плити вогнезахисної системи (м);  $\Delta t = 30$  – проміжок часу (с);  $\theta_{a,t}$  – поточне значення температури сталі в певний момент часу  $t$  (°C);  $\theta_{g,t}$  – температура газового середовища у приміщенні із пожежею у момент часу  $t$  (°C);  $\Delta\theta_{g,t}$  – зростання поточної температури газового середовища у приміщенні із пожежею за проміжок, рівний кроку за часом  $\Delta t$  (°C);  $\lambda_p$  – температурна залежність коефіцієнту теплопровідності мінераловатного облицювання вогнезахисної системи (Вт/(м·°C));  $\rho_a = 7850$  – густина сталі, (кг/м<sup>3</sup>);  $\rho_p = 200$  – густина мінераловатного облицювання вогнезахисної системи (кг/м<sup>3</sup>).

Відповідно до даних [4] формула (1) застосовується до моменту, коли

мінераловатне облицювання вогнезахисної системи зберігає свою цілісність, тобто до моменту часу 44,5 хв впливу стандартного температурного режиму пожежі та при температурі нагрівання сталеві балки 425 °C. Після цього вважається, що мінераловатне облицювання втрачає свою цілісність і має використовуватися наступна формула, яка визначає підвищення температури  $\Delta\theta_{a,t}$  за проміжок часу  $\Delta t$  [5]:

$$\Delta\theta_{a,t} = k_{sh} \cdot \frac{A_m}{V c_a \rho_a} \cdot \dot{h}_{net} \Delta t, \quad (2)$$

де  $k_{sh}$  – коректувальний коефіцієнт, що враховує вплив ефекту затінення балки іншими конструкціями;

$\dot{h}_{net}$  – розрахункове значення сумарного питомого теплового потоку, Вт/м<sup>2</sup>.

Сумарний питомий тепловий потік визначається за виразом [5]:

$$\dot{h}_{net} = \dot{h}_{net,c} + \dot{h}_{net,r}, \quad (3)$$

де  $\dot{h}_{net,c}$  – сумарний питомий тепловий потік конвективного теплообміну;

$\dot{h}_{net,r}$  – сумарний питомий тепловий потік променистого теплообміну. Сумарний питомий тепловий потік конвективного теплообміну,  $Вт \cdot м^{-2}$ , що обчислюється за виразом [5]:

$$\dot{h}_{net,c} = \alpha_c \cdot (\theta_g - \theta_m), \quad (4)$$

де  $\alpha_c = 25$  – коефіцієнт тепловіддачі при конвективному теплообміні,  $Вт \cdot м^{-2} \cdot К^{-1}$ ;

$$\dot{h}_{net,r} = \Phi \cdot \varepsilon_m \cdot \varepsilon_f \cdot \sigma \cdot ((\theta_g + 273)^4 - (\theta_m + 273)^4), \quad (5)$$

де  $\Phi = 1$  – форм-фактор опромінення сталевій балки;

$\varepsilon_m$  – ступінь чорноти поверхні сталевій балки;

$\varepsilon_f = 1$  – ступінь чорноти випромінювання газового середовища пожежі;

$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{К}^{-4}$  – константа Стефана – Больцмана.

При такому підході обчислення виразу (2) відбувається при початковій температурі, яка рівна температурі, що обчислена в момент втрати цілісності вогнезахисного мінераловатного облицювання за формулою (1).

Використовуючи даний підхід, були проведені відповідні розрахунки, у результаті яких був побудований режим прогрівання сталевій балки із

$\theta_g$  – температура оточуючого газового середовища при пожежі поблизу балки,  $^{\circ}С$ ;

$\theta_m$  – температура обігрівної поверхні сталевій балки,  $^{\circ}С$ .

Сумарний тепловий потік при променистому теплообміні,  $Вт \cdot м^{-2}$ , який обчислюється за таким виразом [9]:

мінераловатним облицюванням за умови його втрати цілісності на 44,5 с при температурі нагрівання сталевій балки  $472^{\circ}С$  згідно із розрахунками, що наведені у [4]. Отриманий температурний режим поданий на рис. 1.

Аналізуючи графік, поданий на рис. 1, можна помітити, що починаючи з 45 с температура сталевій балки помітно підвищується і практично за 5 хв наближається до температурної кривої стандартного температурного режиму пожежі. Отриманий режим можна використовувати для розрахунку несучої здатності сталевій балки за умов, що розуміють втрату вогнезахисної здатності мінераловатним облицюванням унаслідок порушення його цілісності.

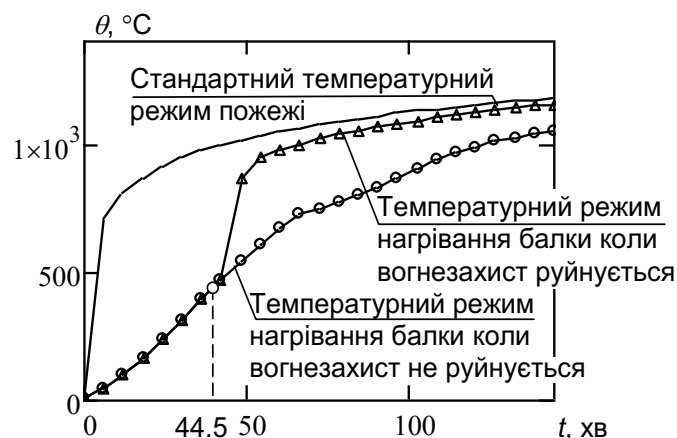


Рисунок 1 – Температурний режим нагрівання сталевій балки із мінераловатним вогнезахисним облицюванням за умов впливу стандартного температурного режиму пожежі без врахування та з врахуванням втрати цілісності вогнезахисним мінераловатним облицюванням.



Для визначення межі вогнестійкості сталевій балці за умови, коли вогнезахисне облицювання втрачає свою вогнезахисну здатність як результат втрати своєї цілісності, були використані положення розрахунку, що наведені у [4]. При цьому вже немає необхідності моделювати наявне вогнезахисне облицювання, оскільки температурний режим прогрівання сталевій балці визначений.

Для моделювання напружено-деформованого стану (НДС) у сталевій балці із вогнезахисним облицюванням з мінеральної вати, що у відповідний момент часу втрачає свою вогнезахисну здатність унаслідок втрати цілісності були використані геометричні параметри перерізу, наведені у [4]. Довжина балки як і у попередньому випадку складає 6 м. На рис. 2 наведена кінцево-елементна схема досліджуваної балки.

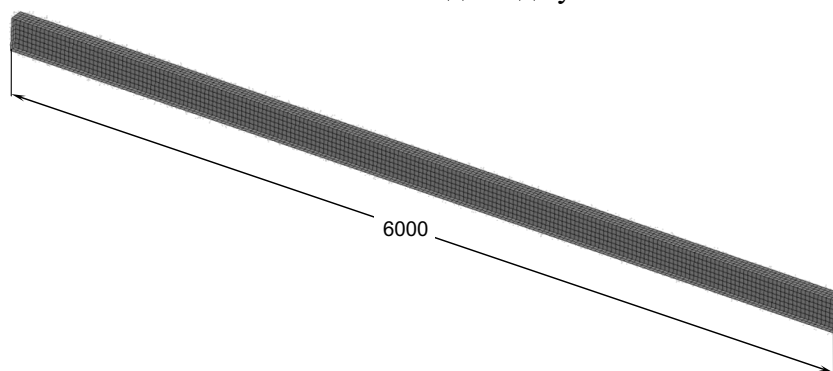


Рисунок 2 – Конструктивна схема сталевій балці у випадку, коли вогнезахисне покриття втрачає свою вогнезахисну здатність у випадку втрати цілісності.

Особливістю даної кінцево-елементної моделі є те, що сталеві балки були розбиті на оболонкові чотири вузлові елементи типу SHELL з п'ятьма точками інтегрування по товщині у формулюванні Беличко-Цая [8]. Матеріал сталевій балки –

пружно-пластичний матеріал, що дозволяє враховувати температурні деформації [8].

У табл. 1 наведені кількісні характеристики щодо КЕ кінцево-елементної моделі сталевій балки.

Таблиця 1 – Кількісні характеристики кінцево-елементної моделі сталевій балки

Кількість КЕ	Кількість оболонкових КЕ типу SHELL
3056	3056

Сталева балка попередньо перед прикладанням температурного навантаження навантажується послідовно власною вагою та діючим розподіленим навантаженням, що мають діяти протягом всього часового інтервалу розрахунку, що складає 17,5 с. Фактор часу тут також має умовну величину, що відповідно перераховується на реальний час вогневого впливу стандартного температурного режиму пожежі 150 хв.

На схемі прикладення навантажень сталевій балці із вогнезахисним облицюванням з мінеральної вати, яка

наведена на рис. 3 показаний тип та напрямок прикладеного навантаження та умови закріплення кінців балки.

Величина розподіленого навантаження прийнята за коефіцієнтом навантаження  $\mu = 0.2$ .

Навантаження прикладалося послідовно. Для виключення впливу коливальних динамічних ефектів при прикладенні навантажень за прийнятий час процесу на етапі прикладення власної ваги розрахунок відбувався із використанням динамічної релаксації за обчислювальним алгоритмом Пападракакіса. Інші процеси

були розраховані із включеною опцією глобального демпфування із коефіцієнтом 0,16.

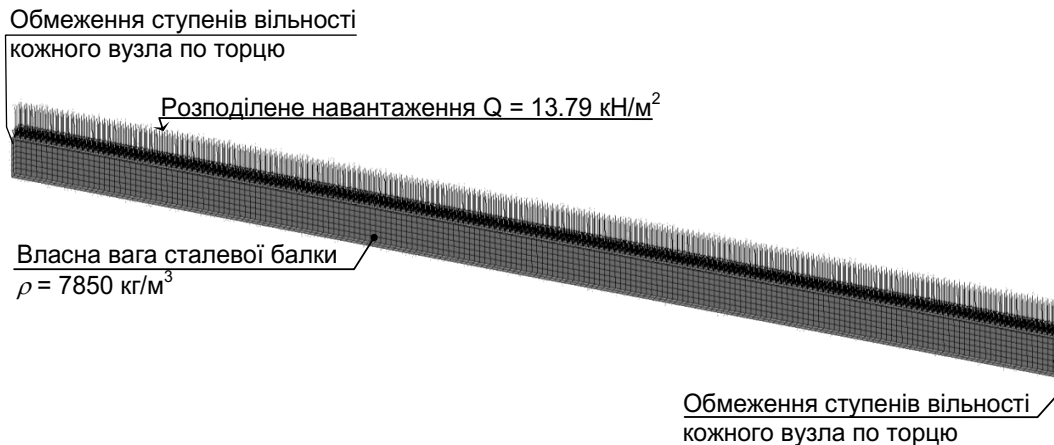


Рисунок 3 – Схема прикладання механічного навантаження до сталеві балки та умови закріплення.

Після проведення розрахунку були отримані відповідні результати, наведені на рис. 4 у вигляді графіків зміни максимального прогину балки та швидкості

нарощування максимального прогину у залежності від часу впливу стандартного температурного режиму пожежі.

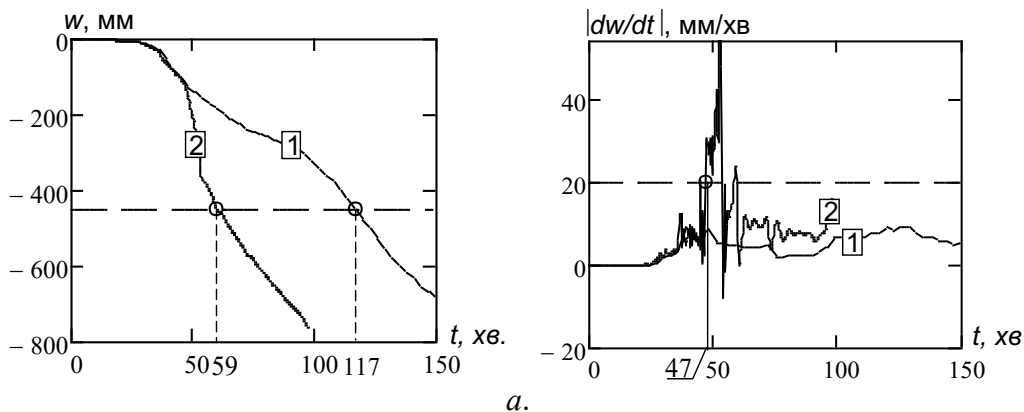


Рисунок 2 – Графіки зміни максимального прогину балки (а) та швидкості нарощування максимального прогину (б) у залежності від часу впливу стандартного температурного режиму пожежі: 1 – для балки із мінераловатним вогнезахистом, що не втрачає свою цілісність; 2 – для балки із мінераловатним вогнезахистом, що втрачає свою цілісність і вогнезахисну здатність.

Критичні значення величин максимального прогину та швидкості нарощування прогину визначені за формулами, описаними в [4] і рівні величинам, обчисленим для попереднього випадку, оскільки геометричні параметри балки не змінилися.

На графіках, наведених на рис. 4 видно, що межа вогнестійкості наступає на 59 хв за графіком максимального прогину та на 47 хв за графіком нарощування

максимальної швидкості. При цьому можна помітити, що настання часу граничного стану втрати несучої здатності на 70 хв менше за умови неврахування втрати вогнезахисної здатності мінераловатним вогнезахистом унаслідок втрати цілісності. Це підкреслює важливість врахування обставини можливої втрати цілісності будь-яким вогнезахисним облицюванням, у тому числі мінераловатним. Крім цього, при втраті цілісності вогнезахисним

облицюванням існує ризик шокowego теплового впливу на сталеву балку, про що свідчить графік швидкості наростання максимального прогину сталевій балки при втраті вогнезахисної здатності мінераловатним облицюванням.

З метою вивчення впливу конструктивних параметрів сталевих балок із мінераловатним вогнезахистом на межу вогнестійкості були проведені розрахунки, що включають проведення процедур, що складають подану нижче послідовність.

1. Для балки із певними конструктивними параметрами визначається температурний режим прогріву балки при впливі стандартного температурного режиму пожежі за формулою (1).

2. Використовуючи математичний апарат та математичні описання властивостей матеріалів, що описані в [4], розраховується момент часу впливу стандартного температурного режиму пожежі, при якому відбувається відшарування вогнезахисного мінераловатного облицювання від балки.

3. З використанням формул (1) – (5) будуватиметься новий температурний режим нагріву сталевій балки із врахуванням моменту часу, при якому відбувається відшарування вогнезахисного мінераловатного облицювання від балки, подібний до наведеного на рис. 1.

4. Використовуючи математичний апарат та математичні описання властивостей матеріалів, що містяться у [4], розраховується межа вогнестійкості, як показано на рис. 4.

Після проведення розрахунку за даною методикою були отримані результати у вигляді залежності часу відшарування вогнезахисного облицювання та межі вогнестійкості від конструктивних параметрів сталевих балок із вогнезахистом на основі мінераловатного облицювання: коефіцієнту перерізу балки, рівня навантаження та товщини мінераловатного облицювання. Отримані графіки наведені на рис. 5.

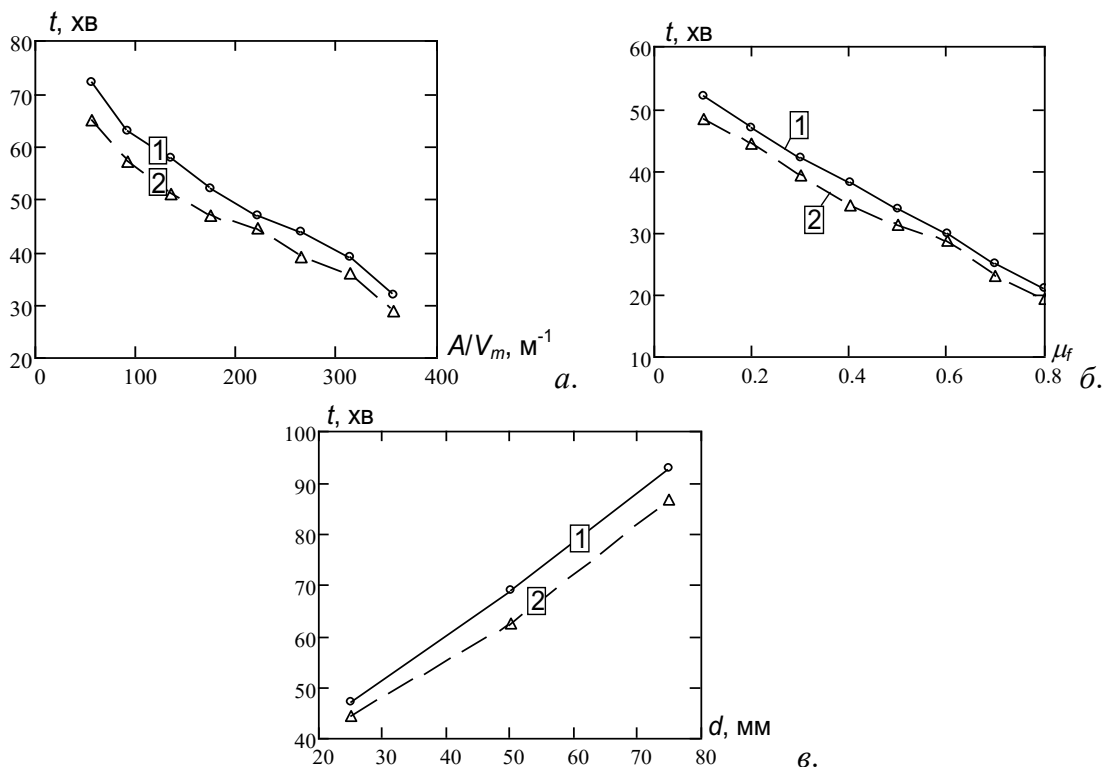


Рис. 5. Графіки залежності межі вогнестійкості сталевій балки із вогнезахисним мінераловатним облицюванням (1) та часу настання відшарування вогнезахисного мінераловатного облицювання (2): а - від величини коефіцієнту перерізу балки; б – від рівня прикладеного навантаження; в – від товщини вогнезахисного мінераловатного облицювання.



Аналізуючи дані графіки можна помітити, що межа вогнестійкості має кореляцію з вибраними параметрами і її залежність від них близька до лінійної.

**Висновки:**

1. Межа вогнестійкості наступає на 59 хв за графіком максимального прогину та на 47 хв за графіком наростання максимальної швидкості. При цьому можна помітити, що останнє часу настання граничного стану втрати несучої здатності на 70 хв менше за умови неврахування втрати вогнезахисної здатності мінераловатним вогнезахистом унаслідок втрати цілісності. Це підкреслює важливість врахування обставини можливої втрати цілісності будь-яким вогнезахисним облицюванням, у тому числі мінераловатним. Крім цього, при втраті цілісності вогнезахисним облицюванням існує ризик шокowego теплового впливу на сталеву балку, про що свідчить графік

швидкості наростання максимального прогину сталеві балки при втраті вогнезахисної здатності мінераловатним облицюванням.

2. Був описаний алгоритм та проведені розрахунки, що дають можливість вивчити вплив конструктивних параметрів сталевих балок із мінераловатним вогнезахистом на їх межу вогнестійкості.

3. Після проведення розрахунку за даною методикою були отримані результати у вигляді залежності часу відшарування вогнезахисного облицювання та межі вогнестійкості від конструктивних параметрів сталевих балок із вогнезахистом на основі мінераловатного облицювання: коефіцієнту перерізу балки, рівня навантаження та товщини мінераловатного облицювання. Відповідно до розрахунків, межа вогнестійкості має кореляцію з вибраними параметрами і її залежність від них близька до лінійної.

**ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ**

1. Довбиш А. В. Обґрунтування умов застосування гіпсокартонних плит як вогнезахисних оздоблювальних матеріалів будівельних конструкцій: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. тех. наук: спец. 21.06.02 «Пожежна безпека»/ А. В. Довбиш. – Київ 2006.

2. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук Жамойдика С. М. «Огнестойкость стальных колонн с конструктивной огнезащитой» Минск, 2017  
Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук Жамойдика С. М. «Огнестойкость стальных колонн с конструктивной огнезащитой» Минск, 2017.

3. Беликов А. С., Шаломов В. А., Борсук Е. В., Дзєцина Е. В. Внедрение средств огнезащиты для повышения огнестойкости строительных конструкций / «Пожежна безпека: теорія і практика» : зб. наук. праць. – Черкаси: ЧПБ НУЦЗ України № 20/2015, с. 19-26.

4. Борсук О. В. Дослідження поведінки сталеві балки із вогнезахисним мінераловатним облицюванням при пожежі / О. В. Борсук // «Надзвичайні ситуації:

попередження та ліквідування» : зб. наук. праць. – Черкаси: ЧПБ НУЦЗ України, 2020. – № 1 С. 15-24.

5. EN 1993-1-2: Єврокод 3. Проектування сталевих конструкцій. Частина 1-2. Основні правила. Проектування з урахуванням вогнестійкості.– К.: Укрархбудінформ, 2012. – 77 с.

6. ДСТУ-Н Б.В.2.6-211:2016 Проектування сталевих конструкцій. Розрахунок конструкцій на вогнестійкість.

7. ДСТУ Б В.1.1-17:2007 Вогнезахисні покриття для будівельних несучих конструкцій. Метод визначення вогнезахисної здатності. (ENV 13381-4:2002). [Чинний від 2007-01-01.] – К.: Укрархбудінформ, 2007. – 62 с – (Національний стандарт України).

8. Serhii Pozdieiev, Oleksandr Nuianzin, Olena Borsuk, Oksana Binetska, Andrii Shvydenko, Bogdan Alimov (2020). Temperature effect on the thermal-physical properties of fire-protective mineral wool cladding of steel structures under the conditions of fire resistance tests, Vol 4, NO 12 (106), 39-45.

9. Самарский А.А. Вычислительная теплопередача / Самарский А.А., Вабищевич П.Н. – М.: Едиториал УРСС, 2003. – 784 с.

## REFERENCES

1. Dovbysh A. V. Substantiation of Conditions of Application of Gypsum Cardboard Plates as Fire-retardant Finishing Materials of Building Designs: Thesis Abstract for the degree of PhD of Technical Sciences: Specialty 21.06.02 «Fire Safety»/ A. V. Dovbysh. – Kyiv 2006.
2. Thesis for the degree of PhD of Technical Sciences Zhamojdik S. M. «Fire Resistance of Steel Columns with Constructive Fire Protection» Minsk, 2017.
3. Belikov A. S., Shalomov V. A., Borsuk Ie. V., Dzecina Ie. V. Introduction of Fire Protection Means to Increase the Fire Resistance of Building Structures / «Emergencies: Prevention and Elimination»: collection of research papers. – Cherkasy: ChIFS NUCD of Ukraine № 20/2015, P. 19-26.
4. Borsuk O. V. Investigation of the Behavior of a Steel Beam with Fire-retardant Mineral Wool Lining in Case of Fire / O. V. Borsuk // «Emergencies: Prevention and Elimination»: collection of research papers – Cherkasy: ChIFS NUCD of Ukraine, 2020. – № 1 P. 15-24.
5. EN 1993-1-2: Eurocode 3. Design of steel structures. Part 1-2. Basic Rules. Design Taking into Account Fire Resistance.– Kyiv: Ukrarkhbudinform, 2012. – 77 p.
6. DSTU-N B.V.2.6-211:2016 Design of steel structures. Calculation of structures for fire resistance.
7. DSTU B V.1.1-17:2007 Fire-retardant Coatings for Building Load-bearing Structures. Method for Determining the Fire Retardant Ability. (ENV 13381-4:2002). [Valid from 2007-01-01.] – Kyiv: Ukrarkhbudinform, 2007. – 62 p – (National Standard of Ukraine).
8. Serhii Pozdieiev, Oleksandr Nuianzin, Olena Borsuk, Oksana Binetska, Andrii Shvydenko, Bogdan Alimov (2020). Temperature effect on the thermal-physical properties of fire-protective mineral wool cladding of steel structures under the conditions of fire resistance tests, Vol 4, NO 12 (106), 39-45.
9. Samarskyi A.A. Computational Heat Transfer / Samarskyi A.A., Vabyshcheych P.N. – М.: Editorial URSS, 2003. – 784 p.

*Borsuk O. V., Nuianzin O. M., PhD in technical sciences, docent, Kryshstal V. M., Vedula S. A., Horovenko M. M.,  
Cherkasy Institute of Fire Safety named after Chornobyl Heroes of NUCD of Ukraine*

## INVESTIGATION OF THE FIRE RESISTANCE LIMIT OF STEEL BEAM IN CASE OF LOSS OF INTEGRITY OF FIRE PROTECTIVE COATING

*In this article to solve the main problems the temperature regime of heating the steel beam was determined, which took into account the fact of loss of integrity of the fire-retardant coating due to the thermal effects of fire.*

*When calculating the temperature, the time of exposure to the standard temperature of fire and the value of the heating temperature of the steel beam with mineral wool coating at which the latter loses its integrity were determined. A graph of the temperature regime of heating a steel beam with mineral wool fire-retardant coating (under the influence of the*

*standard temperature regime of fire) without taking into account and taking into account the loss of integrity of fire-retardant mineral-wool coating is constructed. Starting from 45 s, the temperature of the steel beam noticeably rises and in almost 5 minutes approaches the temperature curve of the standard temperature regime of the fire, which indicates the failure to perform the fire-retardant function of the coating due to loss of integrity.*

*According to the obtained heating regime, the value of the limit of fire resistance of the steel beam under the condition of loss of integrity of the fire-retardant coating depends*

*on the stress-strain states in the steel beam. section of the studied I-beam, according to the finite element scheme, the steel beam was divided into four SHELL nodes with five points of integration in thickness in the formulation of*

*Given the geometric parameters of the cross*

*Belichko-Tsai. After the calculation, the corresponding results were obtained in the form of graphs of changes in the maximum deflection of the beam and the rate of increase of the maximum deflection depending on the time of exposure to the standard temperature of fire. The critical values of the boundary of the fire resistance limit on the graph of maximum deflection and on the graph of the rate of*

*increase of deflection are determined. The difference of indicators shows that the time of the limit state of loss of bearing capacity is 70 min less, in case of not taking into account the loss of fire-retardant capacity by mineral wool fire-protection due to loss of integrity.*

**Key words:** *mineral wool coating, fire resistance, fire protection ability, steel beam, fire protection coating integrity.*