

УДК 624.012

DOI: <https://doi.org/10.31731/2524.2636.2023.7.1.56.66>

*Іван НЕСЕН (ORCID: 0000-0001-5847-4805),
Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля
Національного університету цивільного захисту України*

ОБҐРУНТУВАННЯ ТАБЛИЧНОГО МЕТОДУ ОЦІНКИ ВОГНЕСТІЙКОСТІ ДЛЯ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ СХОДОВИХ МАРШІВ

У роботі представлені результати проаналізованих показників вогнестійкості при проведенні обчислювальних експериментів залізобетонних сходових маршів. За допомогою розрахункового методу, застосовуючи метод кінцевих елементів, визначені найбільш значущі параметри, що впливають на вогнестійкість цих конструкцій. З метою визначення мінімальних конструктивних параметрів залізобетонних сходових маршів створено регресійну залежність межі вогнестійкості за граничним станом втрати несучої здатності. Використовуючи отримані дані, побудована таблиця із вказанням мінімальних конструктивних параметрів цих конструкцій, що надає можливість визначити відповідність до необхідного класу вогнестійкості залізобетонних сходових маршів.

Ключові слова: залізобетонний сходовий марш, клас вогнестійкості, табличний метод.

Постановка проблеми. Однією з основних задач при забезпеченні пожежної безпеки є мінімізація загрози ризику життю та здоров'ю людини під час евакуації з будівлі при пожежі [1]. Настання небезпечних чинників пожежі ускладнюють не лише організацію евакуаційних заходів, а також можливість проведення ефективних дій аварійно-рятувальним підрозділами під час ліквідації загорань [2, 3]. Відповідно, несуча спроможність несучих будівельних конструкцій є надважливою властивістю для відповідних конструктивних елементів у тому числі при пожежі, зберігаючи свої функції протягом необхідного часу [4, 5].

Марш сходової клітини є дуже важливим конструктивним елементом у складі будівель та споруд [6]. Даний тип будівельних конструкцій суттєво впливає на забезпечення евакуації людей при пожежі, а також при проведенні аварійно-рятувальних робіт спеціальними підрозділами [7, 8].

Визначення рівня пожежної безпеки будівельних конструкцій обумовлюється показником вогнестійкості, що виражається у хвилинах від початку теплового впливу за стандартним температурним режимом пожежі до настання одного з граничних станів з вогнестійкості [9, 10]. Відповідно, показник настання втрати несучої здатності при впливі підвищених температур від пожежі, безпосередньо стосується відповідних конструктивних елементів будівель та споруд, у тому числі і маршу сходової клітини [6, 10].

Отже, проведення досліджень з оцінки вогнестійкості маршу сходової клітини є актуальним.

Аналіз літературних даних. Проведення оцінки вогнестійкості будівельних конструкцій можливо за трьома основними способами [11]. Одним з найбільш точних засобів вважається проведення натурних вогневих випробувань [3, 12]. Найбільша точність за даним методом забезпечується відтворенням будівлі в якій необхідно визначити показники вогнестійкості окремої будівельної конструкції, що надає можливість врахувати всі фактори які впливають на рівень вогнестійкості цієї

конструкції [3, 12]. Безумовно, це найкращий метод, але при проведенні випробувань забруднюється навколишнє середовище, що загрожує екологічній безпеці, а також реалізація цього методу потребує колосального витрачання коштів [3, 12]. Проведення експериментальних вогневих випробувань зразків будівельних конструкцій також негативно впливає на навколишнє середовище. Отримання достовірних результатів за даною методикою [13, 14] дуже ускладнюються у зв'язку із тим, що для забезпечення теплового впливу стандартного температурного режиму пожежі [9, 10] необхідно визначити оптимальну конфігурацію камери вогневої печі [3, 12 – 14], що потребує проведення додаткових робіт з проектування та відповідно будівництва спеціальної установки. Застосування даного методу також є трудомістким та вартісним.

Сучасний підхід моделювання надає можливість отримати показники вогнестійкості за допомогою розрахункового методу. Механізм застосування розрахункових методів з оцінки класу вогнестійкості залізобетонних конструкцій наведений у [15, 16]. Однак за [17, 18] використання табличного методу для перевірки класу вогнестійкості залізобетонних сходових маршів не є можливим, тому що не має відповідних таблиць із критеріями щодо перевірки відповідності необхідним класам вогнестійкості по даному типу будівельних конструкцій. Зонний метод також неможливо застосувати через відсутність температурних кривих по даному типу перерізу залізобетонних сходових маршів. Такий стан справ суттєво ускладнює задачу з визначення вогнестійкості по таких конструкціях. Залишається застосування лише уточненого методу визначення показників вогнестійкості залізобетонних маршів сходових клітин. Застосування подібного підходу передбачає використання потужних програмних комплексів, що в більшості своїй реалізуються завдяки методу кінцевих елементів [3, 7, 8, 12]. Однак описаної методики застосування даного підходу у [17, 18] немає.

Таким чином, удосконалення табличного методу перевірки на відповідність необхідному класу вогнестійкості залізобетонних сходових маршів є актуальним.

Мета та задачі дослідження. Мета дослідження полягає в удосконаленні табличного методу оцінки вогнестійкості залізобетонних конструкцій, створивши таблицю, яка дозволить встановлювати мінімальні проектні параметри залізобетонних сходових маршів для відповідності до встановленого класу вогнестійкості.

Для вирішення мети дослідження поставлені наступні задачі:

1. Використовуючи результати обчислювальних експериментів щодо дослідження вогнестійкості залізобетонних сходових маршів [19] визначити найбільш значущі параметри, що впливають на вогнестійкість даних конструкцій.

2. З метою встановлення закономірностей залежності вогнестійкості залізобетонних сходових маршів від найбільш значущих параметрів створити регресійну залежність межі вогнестійкості за граничним станом втрати несучої здатності даних конструкцій.

3. Перевірити адекватність результатів розрахунку межі вогнестійкості залізобетонних сходових маршів, отриманих за регресійною залежністю, порівнюючи із показниками вогнестійкості даних конструкцій, що було отримано, використовуючи метод кінцевих елементів [19].

4. Для вивчення впливу конструктивних характеристик залізобетонних сходових маршів на їхню межу вогнестійкості побудувати криві залежностей даних параметрів із різними значеннями довжини прольоту.

5. Використовуючи результати визначення показників вогнестійкості залізобетонних сходових маршів за регресійною залежністю створити таблицю, яка дозволяє встановити мінімальні проектні параметри залізобетонних сходових маршів

для відповідності до встановленого класу вогнестійкості, що удосконалив табличний метод оцінки вогнестійкості залізобетонних конструкцій.

Матеріали та методи дослідження. За результатами проведених обчислювальних експериментів дослідження поведінки залізобетонного сходового маршу [6, 19] в умовах теплового впливу пожежі проаналізовано незалежність та найбільша значущість конструктивних параметрів залізобетонних сходових маршів, що позначаються на їхній вогнестійкості.

За результатами проведеного аналізу встановлені три незалежні найбільш значущі фактори – висота суцільної основи сходового маршу, товщина захисного шару нижнього ряду арматурних стержнів w , а також довжина прольоту сходового маршу L . У табл. 1 наведені діапазони найбільш значущих характеристик в чисельному експерименті [19], що встановлені як його фактори.

Таблиця 1 – Діапазони варіювання факторів у числовому експерименті [19] щодо вогнестійкості залізобетонних сходових маршів

Висота суцільної основи сходового маршу, мм			Товщина захисного шару нижнього ряду арматурних стержнів, мм			Довжина прольоту сходового маршу, L , м		
Найменше значення, H_{-1}	Середнє значення, H_0	Найбільше значення, H_1	Найменше значення, w_{-1}	Середнє значення, w_0	Найбільше значення, w_1	Найменше значення, L_{-1}	Середнє значення, L_0	Найбільше значення, L_1
100	200	300	10	20	30	1.5	3.75	6

В якості критерію настання граничного стану розглядалися втрата несучої здатності. За таких умов настання інших граничних станів для дослідних залізобетонних сходових маршів не розглядається, а значить не залежить від вибраних факторів числового експерименту.

Аналіз кривої зміни вогнестійкості дослідних залізобетонних сходових маршів [19] на рис. 1 показав, що вона змінюється за законом, наближеним до лінійного.

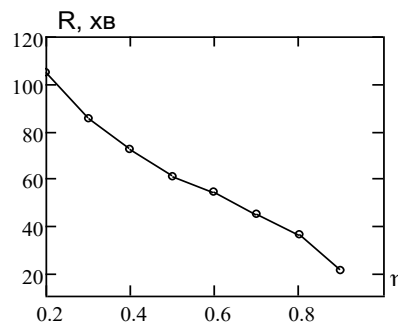


Рисунок 1 – Залежність межі вогнестійкості залізобетонного сходового маршу від рівня його механічного навантаження

Таким чином, можливо припустити, що питома регресійна залежність межі вогнестійкості за граничним станом втрати несучої здатності також буде мати лінійний характер.

Вибрані параметри у якості найбільш значущих є незалежними за їх природою.

Тож математична модель залежності межі вогнестійкості за граничним станом втрати несучої здатності для залізобетонних сходових маршів за запропонованим нами типом регресійної залежності, що має лінійну форму, та вибраними найбільш значущими факторами, має такий вигляд:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_1x_2 + b_5x_1x_3 + b_6x_2x_3 + b_7x_1x_2x_3, \quad (1)$$

де $b_0, b_1, b_2, b_3, b_4, b_5, b_6, b_7$ – коефіцієнти даної регресійної залежності.

Для розрахунку коефіцієнтів регресії згідно із формулою (1) потрібно здійснити 8 числових експериментів за запропонованою для цього матрицею плану експерименту, що записується у вигляді табл. 2.

Таблиця 2 – Матриця плану повного факторного числового експерименту для обґрунтування математичної моделі

№	x_1	x_2	x_3	x_1x_2	x_1x_3	x_2x_3	$x_1x_2x_3$
1	+	+	+	+	+	+	+
2	-	+	+	-	-	+	-
3	+	-	+	-	+	-	-
4	-	-	+	+	-	-	+
5	+	+	-	+	-	-	-
6	-	+	-	-	+	-	+
7	+	-	-	-	-	+	+
8	-	-	-	+	+	+	-

Для здійснення повнофакторного числового експерименту щодо оцінки вогнестійкості залізобетонних сходових маршів були побудовані кінцево-елементні моделі для вирішення теплотехнічної та статичної задач [19], основні положення, припущення та розрахункові алгоритми, описані у [15, 17, 19]. Геометричні конструктивні характеристики залізобетонних сходових маршів та механічні характеристики бетону та сталі арматурних стержнів зведені у табл. 3.

Таблиця 3 – Основні параметри залізобетонних сходових маршів для проведення числових експериментів

Параметр	Позначення	Величина	Одиниця виміру
Геометричні характеристики			
• висота суцільної основи	H	(див. табл. 1)	мм
• ширина захисного шару	w		мм
• довжина	L		м
Клас бетону	Важкий на гранітному заповнювачі	Клас С 20/25	
Міцність бетону (призма)	f_{cu}	20	МПа
Густина бетону	ρ_c	2300	кг/м ³
Гранична вологість	u	< 3	%

Робоча арматура нижнього ряду: • діаметр • клас міцності	d_1	6 A400C	мм
Робоча арматура верхня: • діаметр • клас міцності	d_2	6 A400C	мм
Міцність арматурної сталі	f_{su}	400	МПа

Встановлюючи параметри у границях діапазонів вибраних найбільш значущих параметрів відповідно до табл. 1 і табл. 2 та реалізуючи розрахунки за запропонованими обчислювальними методиками, наведеними у [15, 17, 19], розраховані межі вогнестійкості досліджуваних залізобетонних сходових маршів. Одержані розрахункові результати зведені до табл. 4.

Таблиця – 4 Результати розрахунку межі вогнестійкості залізобетонних сходових маршів, обчислені у рамках повнофакторного експерименту за прийнятим планом

Набір експериментальних параметрів	1	2	3	4	5	6	7	8
Розрахункове значення межі вогнестійкості залізобетонних сходових маршів відповідно набору значущих параметрів, y_i , хв	102	74	52	38	144	121	109	66

Використовуючи розрахункові результати, наведені у табл. 4, було обчислено коефіцієнти регресійної залежності. Розраховані коефіцієнти регресії представлені у табл. 5.

Таблиця 5 – Коефіцієнти регресії для описання залежності межі вогнестійкості залізобетонних сходових маршів від факторів експерименту

Значення коефіцієнтів:	b_0 ,	b_1 ,	b_2 ,	b_3 ,	b_4 ,	b_5 ,	b_6 ,	b_7
кодоване	88.25	13.5	22	-21.75	-0.75	-3	-0.5	4.25
дійсне	8.5	0.352	4.45	-1.667	-0.011	-0.038	-0.4	0.002

Із використанням отриманої регресійної залежності було побудовано відповідні поверхні залежностей межі вогнестійкості від найбільш значущих конструктивних параметрів залізобетонних сходових маршів для різних значень довжини прольоту залізобетонних сходових маршів, що наведено на рис. 2.

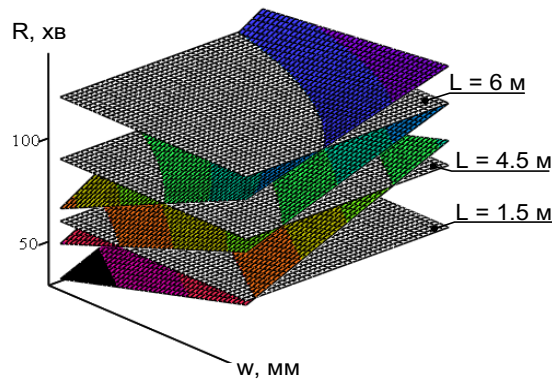


Рисунок 2 – Залежності межі вогнестійкості залізобетонних сходових маршів від їх конструктивних параметрів для різних величин довжини прольоту

Для вивчення впливу конструктивних характеристик залізобетонних сходових маршів на їхню межю вогнестійкості були побудовані криві залежностей даних параметрів із різними значеннями довжини прольоту. На рис. 3 показані побудовані криві.

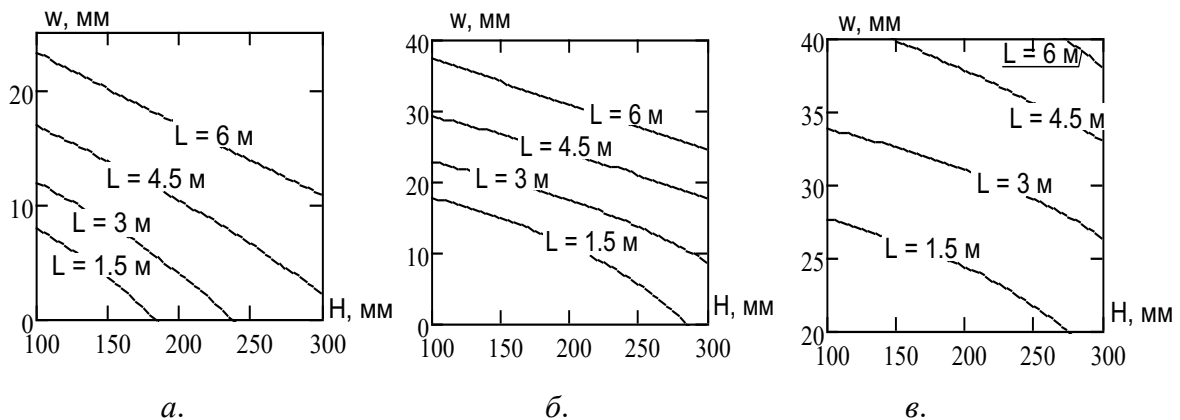


Рисунок 3 – Залежності захисного шару бетону від висоти суцільної частини залізобетонного сходового маршу для забезпечення межі вогнестійкості: а – R 60; б – R 90; в – R 120

Отримані дані щодо побудованих залежностей конструктивних параметрів дозволяють здійснювати обчислення мінімальних розмірів залізобетонного сходового маршу для забезпечення заданого рівня вогнестійкості.

Перевірка адекватності результатів розрахунку межі вогнестійкості залізобетонних сходових маршів за регресійною залежністю проводилась, порівнюючи дані результати з показниками вогнестійкості даних конструкцій, що було отримано використовуючи МКЕ [19]. В якості критеріїв адекватності отриманих результатів, обчислених за регресійною залежністю, було використано абсолютне відхилення та відносне відхилення. Отримані дані щодо адекватності розрахункових результатів за регресійною залежністю наведено у табл. 6.

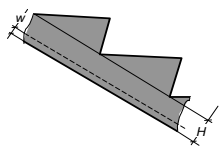
Таблиця 6 – Адекватність результатів оцінки межі вогнестійкості залізобетонного сходового маршу, визначених за регресійною залежністю

Межа вогнестійкості, обчислена за МКЕ, хв [19]	Межа вогнестійкості, обчислена за регресійною залежністю, хв	Абсолютне відхилення, хв	Відносне відхилення, %
Довжина прольоту $L = 2$ м, висота суцільної частини $H = 100$ мм, товщина захисного шару бетону $w = 10$ мм			
64	62.222	1.88	2.9
Довжина прольоту $L = 4.5$ м, висота суцільної частини $H = 100$ мм, товщина захисного шару бетону $w = 10$ мм			
51	43.333	7.667	14.5
Довжина прольоту $L = 5.5$ м, висота суцільної частини $H = 100$ мм, товщина захисного шару бетону $w = 10$ мм			
42	35.778	9.222	14.8
Середнє значення			
-	-	6.256	10.733

Результати аналізу адекватності, подані у табл. 6, вказують на те, що погрішність розрахункової оцінки вогнестійкості для залізобетонних сходових маршів, обчислених за регресійною залежністю, є несуттєвою і ця регресійна залежність може бути застосована для конструкції маршів для забезпечення заданого класу їх вогнестійкості.

Побудована регресійна залежність була застосована для створення таблиці з конструктивними параметрами залізобетонних сходових маршів для забезпечення їх відповідності встановленим вимогам щодо вогнестійкості. Для цього були встановлені мінімальні розміри для залізобетонних сходових маршів, що зведені до табл. 7.

Таблиця 7 – Конструктивні параметри залізобетонних сходових маршів для забезпечення необхідного класу вогнестійкості

		Умови застосування сходовий марш: висота $H \geq 80$ мм; товщина з.ш. $w \geq 10$ мм; площа додаткової арматури/загальна площа перерізу $A_s/(A_c+A_s) \leq 5\%$.					Стандартні межі вогнестійкості				
		REI 30	REI 60	REI 90	REI 120	REI 180					
1	Мінімальні розміри перерізу для довжини прольоту $L \leq 2.5$ м Висота суцільної частини/товщина захисного шару, H/w , (мм/мм)	100/10	100/10	100/20 200/15 250/10	200/30 250/25 300/25	400/60					
2	Мінімальні розміри перерізу для довжини прольоту $L \leq 4$ м Висота суцільної частини/товщина захисного шару, H/w , (мм/мм)	100/10	100/15	100/25 250/20	250/35 300/30	400/65					

Продовження таблиці 7

3	Мінімальні розміри перерізу для довжини прольоту $L \leq 6$ м Висота суцільної частини/товщина захисного шару, H/w , (мм/мм)	100/10	100/25 200/20	300/40 350/40	400/60	-
---	---	--------	------------------	------------------	--------	---

Одержані результати, які показані у табл. 7, дозволяють дійти до висновку, що запропонований удосконалений табличний метод розрахункової оцінки вогнестійкості залізобетонних сходових маршів може бути ефективно застосований для обґрунтування їхніх конструктивних характеристик для відповідності заданого класу вогнестійкості. Визначені конструктивні параметри табл. 7 обчислені з врахуванням погрішності 11 % шляхом збільшення одержаних мінімальних розмірів з використанням регресійної залежності. Тож запропоновані табличні дані дають змогу спроектувати залізобетонні сходові марші з відповідним класом вогнестійкості, що також наведені у табл. 7. Це у свою чергу робить можливим доповнити другу частину Eurocode 2 додатковими даними для проектування залізобетонних сходових маршів, що відповідають вимогам щодо їхньої пожежної безпеки.

Висновки:

1. За результатами обчислювальних експериментів щодо дослідження поведінки залізобетонних сходових маршів при пожежі, використовуючи метод кінцевих елементів [19], встановлені найбільш значущі параметри, що впливають на вогнестійкість цих конструкцій.

2. Створена регресійна залежність межі вогнестійкості залізобетонних сходових маршів за граничним станом втрати несучої здатності від найбільш значущих параметрів для встановлення закономірностей залежності вогнестійкості цих конструкцій.

3. За результатами перевірки адекватності результатів розрахунку межі вогнестійкості залізобетонних сходових маршів, що було отримано за регресійною залежністю, встановлено, що максимальне абсолютне відхилення від результатів, отриманих при застосуванні методу кінцевих елементів [19], складає 9,222 хв.

4. Використовуючи результати оцінки вогнестійкості залізобетонних маршів за регресійною залежністю, побудовані криві залежностей впливу конструктивних характеристик залізобетонних сходових маршів на їхню межу вогнестійкості із різними значеннями довжини прольоту.

4. Створена таблиця конструктивних параметрів залізобетонних сходових маршів, яка надає можливість встановити мінімальні проектні параметри даних конструкцій для визначення відповідності до необхідного класу вогнестійкості, що удосконалює табличний метод оцінки вогнестійкості залізобетонних конструкцій.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. ДСТУ 8828:2019 ПОЖЕЖНА БЕЗПЕКА Загальні положення.
2. Навчальний посібник «Стійкість будівель і споруд при пожежі» Тищенко О. М., Поздєєв С. В., Березовський А. І., Рудешко І. В., Сідней С. О. 332 с. ЧПБ імені Героїв Чорнобиля НУЦЗУ, Черкаси 2019.
3. Т. М. Шналь. Математична модель розвитку пожежі у триповерховій будівлі при проведенні у ній повномасштабних вогневих випробувань Р. С. Яковчук,

С. О. Сідней, О. В. Некора Пожежна безпека: Зб. наук. праць. – Львів: ЛДУ БЖД, ДСНС України, 2020.–№ 36.–С. 121–130.

4. R. P. Johnson, Y. C. Wang, Composite Structures of Steel and Concrete: Beams, Slabs, Columns and Frames for Buildings (2019).

5. Determination of features of composite steel and concrete slab behavior under fire condition. Valeriia Nekora, Stanislav Sidnei, Taras Shnal, Olga Nekora, Iryna Dankevych, Serhii Pozdieiev" S. Eastern-European Journal of Enterprise Technologisthis, 6/7 (114) 2021 p. 59.

6. ДСТУ Б В.2.6-62:2008. Конструкції будинків і споруд. Марші та сходові площадки залізобетонні. Технічні умови.

7. «Method of the calculated estimation of the possibility of progressive destruction of buildings in result of fire» Serhii Pozdieiev, Olha Nekora, Tetiana Kryshtal, Stanislav Sidnei MATEC Web of Conferences 230, 02026 (2018) 7th International Scientific Conference "Reliability and Durability of Railway Transport Engineering Structures and Buildings" (Transbud-2018).

8. «Improvement of the estimation method of the possibility of progressive destruction of buildings caused by fire» Pozdieiev S., Nekora O., Kryshtal T., Sidnei S., Shvydenko A., IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2019, 708(1), 012067

9. ДСТУ Б В.1.1-4-98. Будівельні конструкції. Методи випробувань на вогнестійкість. Загальні вимоги. Пожежна безпека. – Київ: Укрархбудінформ, 2005.

10. ДСТУ Б В.1.1-23:2009 (EN1363-6:2004, MOD). Захист від пожежі. Сходи. Метод випробування на вогнестійкість. – К.: Мірегіонбуд України, 2010. – 33 с.

11. ДБН В.1.1-7-2016 Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги. – Київ: Міністерство регіонального розвитку будівництва та житлово-комунального господарства України, 2017.

12. Поздєєв С. В. Дослідження адекватності результатів математичного моделювання тепломасообміну у вогневій печі при випробуваннях залізобетонної плити на вогнестійкість. / Поздєєв С. В. // Черкаси: Збірник наукових праць. Пожежна безпека: теорія і практика. Академія пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля. – Випуск № 6/1. – 2010. – С. 60 – 65.

13. Словінський В. К. Новий підхід до випробувань на вогнестійкість залізобетонних конструкцій. Щіпець С. Д., Тищенко О. М., Некора О. В. Монографія – Черкаси: ЧПБ ім. Героїв Чорнобиля НУЦЗУ України, 2016. – 104 с.

14. Поздєєв С. В. Дослідження адекватності результатів математичного моделювання тепломасообміну у вогневій печі при випробуваннях залізобетонної плити на вогнестійкість. / Поздєєв С. В. // Черкаси: Збірник наукових праць. Пожежна безпека: теорія і практика. Академія пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля. – Випуск № 6/1. – 2010. – С. 60 – 65.

15. Поздєєв С. В. Оцінка вогнестійкості несучих стін за розрахунковими методами єврокоду / С.В. Поздєєв, Ю.А. Отрош, В.В. Демешок, М.О. Кропива // ACADEMIC JOURNAL Industrial Machine Building, Civil Engineering. – Полтава: ПНТУ, 2017. – Т. 3 (45). – С. 277-283.

16. Павліков А. М. Залізобетонні конструкції в умовах складного деформування та їх розрахунок: навчальний посібник / А.М. Павліков, О.В. Гарькава. – Полтава : ПолтНТУ, 2018. – 130 с.

17. 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)

18. 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).

19. Несен, І. ДОСЛІДЖЕННЯ ПОВЕДІНКИ ЗАЛІЗОБЕТОННОГО СХОДОВОГО МАРШУ В УМОВАХ ТЕПЛООВОГО ВПЛИВУ ПОЖЕЖІ. Науковий вісник: Цивільний захист та пожежна безпека, (2022) 2(14), стр. 143–152.

REFERENCE

1. DSTU 8828:2019 FIRE SAFETY General provisions.
2. Training manual "Resistance of buildings and structures in case of fire" O. M. Tyshchenko, S. V. Pozdeev, A. I. Berezovsky, I. V. Rudeshko, S. O. Sidney 332 p. CHIPB named after the Heroes of Chernobyl NUTZU, Cherkasy 2019.
3. T. M. Shnal. Mathematical model of fire development in a three-story building during full-scale fire tests R. S. Yakovchuk, S. O. Sidney, O. V. Nekora Fire safety: Collection. of science works.–Lviv: LSU BZD, State Emergency Service of Ukraine, 2020.– No. 36.–S. 121–130.
4. R. P. Johnson, Y. C. Wang, Composite Structures of Steel and Concrete: Beams, Slabs, Columns and Frames for Buildings (2019).
5. Determination of characteristics of composite steel and concrete slab behavior under fire conditions. Valeriia Nekora, Stanislav Sidnei, Taras Shnal, Olga Nekora, Iryna Dankevych, Serhii Pozdieiev" S. Eastern-European Journal of Enterprise Technologiethis, 6/7 (114) 2021 p. 59.
6. DSTU B V.2.6-62:2008. Structures of buildings and structures. Marches and landings are reinforced concrete. Specifications.
7. "Method of the calculated estimation of the possibility of progressive destruction of buildings as a result of fire" Serhii Pozdieiev, Olha Nekora, Tetiana Kryshtal, Stanislav Sidnei MATEC Web of Conferences 230, 02026 (2018) 7th International Scientific Conference "Reliability and Durability of Railway Transport Engineering Structures and Buildings" (Transbud-2018).
8. "Improvement of the estimation method of the possibility of progressive destruction of buildings caused by fire" Pozdieiev S., Nekora O., Kryshtal T., Sidnei S., Shvydenko A., IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2019 , 708(1), 012067
9. DSTU B V.1.1-4-98. Building structures. Fire resistance test methods. General requirements. Fire Security. - Kyiv: Ukrakhbudinform, 2005.
10. DSTU B V.1.1-23:2009 (EN1363-6:2004, MOD). Fire protection. Stairs. Fire resistance test method. - K.: Miregionbud of Ukraine, 2010. - 33 p.
11. DBN V.1.1-7-2016 Fire safety of construction sites. General requirements. – Kyiv: Ministry of Regional Development of Construction and Housing and Communal Services of Ukraine, 2017.
12. Pozdeev, S. V. Study of the adequacy of the results of mathematical modeling of heat and mass transfer in a fire furnace during fire resistance tests of a reinforced concrete slab. / Pozdeev S. V. // Cherkasy: Collection of scientific papers. Fire safety: theory and practice. Academy of fire safety named after Heroes of Chernobyl. – Issue No. 6/1. – 2010. – P. 60 – 65.
13. Slovinsky V. K. A new approach to fire resistance tests of reinforced concrete structures. Shchipets S. D., Tyshchenko O. M., Nekora O. V. Monograph - Cherkasy: CHIPB named after Heroes of Chornobyl NUCCU of Ukraine, 2016. – 104 p.
14. Pozdeev S. V. Study of the adequacy of the results of mathematical modeling of heat and mass transfer in a fire furnace during fire resistance tests of a reinforced concrete slab. / Pozdeev S. V. // Cherkasy: Collection of scientific papers. Fire safety: theory and

practice. Academy of fire safety named after Heroes of Chernobyl. – Issue No. 6/1. – 2010. – P. 60 – 65.

15. Pozdeev S. V. Evaluation of fire resistance of non-load-bearing walls according to calculation methods of the Eurocode / S.V. Pozdeev, Yu.A. Otrosh, V.V. Demeshok, M.O. Nettle // ACADEMIC JOURNAL Industrial Machine Building, Civil Engineering. – Poltava: PNTU, 2017. – Vol. 3 (45). - P. 277-283.

16. Pavlikov A. M. Reinforced concrete structures in conditions of complex deformation and their calculation: study guide / A.M. Pavlikov, O.V. Harkava – Poltava: PoltNTU, 2018. – 130 p.

17. DSTU-NB EN 1992-1-2:2012 Eurocode 2. Design of reinforced concrete structures. Part 1-2. Terms. Calculation of structures for fire resistance (EN 1992-1-2:2004, IDT)

18. DSTU-NB EN 1992-1-2:2012 Eurocode 2. Design of reinforced concrete structures. Part 1-2. Terms. Calculation of structures for fire resistance (EN 1992-1-2:2004, IDT).

19. Nesen, I. STUDY OF THE BEHAVIOR OF A REINFORCED CONCRETE STAIRCASE IN THE CONDITIONS OF THE THERMAL INFLUENCE OF FIRE. Scientific Bulletin: Civil Defense and Fire Safety, (2022) 2(14), pp. 143–152.

*Ivan NESEN (ORCID: 0000-0001-5847-4805),
Cherkasy Institute of Fire Safety named after Chornobyl Heroes
of National University of Civil Protection of Ukraine*

JUSTIFICATION OF THE TABULAR METHOD OF ASSESSING FIRE RESISTANCE FOR REINFORCED CONCRETE STAIRCASE

Abstract. The paper presents the results of analyzed fire resistance indicators during computational experiments of reinforced concrete staircases. Using the calculation method, using the finite element method, the most significant parameters affecting the fire resistance of these structures were determined. In order to determine the minimum design parameters of reinforced concrete staircases, a regression dependence of the fire resistance limit on the limit state of the loss of bearing capacity was created. Using the obtained data, a table was built with the minimum structural parameters of these structures, which makes it possible to determine compliance with the required fire resistance class of reinforced concrete stairwells.

Key words: *reinforced concrete staircase, fire resistance class, tabular method.*