

УДК 614.841.45

DOI: <https://doi.org/10.31731/2524.2636.2022.6.2.73-81>

*Іван Несен (ORCID: 0000-0001-5847-4805),*

*Ольга Некора, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник  
(ORCID: 0000-0002-5202-3285),*

*Сергій Поздєєв, доктор технічних наук, професор (ORCID: 0000-0002-9085-0513),  
Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля*

*Національного університету цивільного захисту України,*

*Андрій Бондар (ORCID: 0000-0002-2598-4478),*

*Випробувальний Центр ТОВ «ТЕСТ»*

## ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛОВОГО ВПЛИВУ НА ЗАЛІЗОБЕТОННІ СХОДОВІ МАРШІ В УМОВАХ ВОГНЕВИХ ВИПРОБУВАНЬ

*В статті запропоновано випробування із використанням горизонтальної випробувальної печі та засобів вимірювання для визначення впливу температур на сходовий марш бетонний армований. В роботі змодельовано вогневе випробування залізобетонного маршу та обчислено тепловий вплив полум'я на сходовий марш бетонний армований.*

*Результати експериментальних досліджень температурних характеристик напруженого деформованого стану залізобетонного сходового маршу в умовах вогневих випробувань за стандартним температурним режимом пожежі. З метою здійснення експериментального дослідження було розроблено методику вогневих випробувань і здійснено дослідження на основі вогневих випробувань. В результаті проведено експериментальне дослідження, визначено основні характеристики розподілу температури в перерізі і внутрішнім шаром залізобетонного сходового маршу, а також визначено залежність максимального прогину від часу. Отримані експериментальні результати були порівнянні із розрахунковими результатами. При застосуванні статистичних критеріїв було досліджено адекватність експерименту та розрахункових даних. Проведення адекватності показало, що експериментальні дані є достовірними, а розрахункові дані є адекватними. Показано, що отримані розрахункові дані можуть слугувати підґрунтям для достовірного аналізу задачі вогнестійкості залізобетонних сходових маршів.*

***Ключові слова:** вогневе випробування, залізобетонний марш-зразок, горизонтальна випробувальна піч, термопара, втрата несучої здатності.*

***Постановка проблеми.** В реаліях сьогодення статистичні дані про пожежі та надзвичайні ситуації свідчать про те, що одним із найбільших факторів, який встановлює рівень пожежної небезпеки будівельних об'єктів, вважається вогнестійкість.*

*До частини безпечних шляхів евакуації можна віднести залізобетонні сходові марші, та ступінь їхньої вогнестійкості. Всі будівельні конструкції, в тому числі залізобетонні марші, мають ступінь вогнестійкості, що характеризується їхньою високою стійкістю під дією високої температури. Для залізобетонних маршів велике значення має межа вогнестійкості за несучою здатністю.*

***Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Добре представлені в роботах [5, 6] всі основні аспекти методів розрахункової оцінки вогнестійкості залізобетонних сходових маршів. Дані методи отримали широкого вжитку та значного суттєвого розвитку. Це пов'язано із прогресом обчислювальних алгоритмів, що дозволяють враховувати всі значущі процеси та особливості залізобетонних сходових маршів, що мають місце при їх нагріванні під час пожежі і які засновані на використанні методів. У роботах [5, 6] наведено основні аспекти при реалізації даного підходу, на якому засновані уточнені методи розрахункової оцінки вогнестійкості залізобетонних конструкцій. Проте для залізобетонних сходових маршів такий підхід розвинений недостатньо. У роботах [4, 7] наведено основні розрахункові методики, що використовують інженерний підхід, заснований на спрощених математичних*

моделях опору матеріалів. Даний підхід є основою для спрощених методів. Також слід виділити, що такі методи для залізобетонних сходових маршів на сьогодні розвинуті недостатньо. Разом обидва типи методів для розрахункової оцінки вогнестійкості залізобетонних будівельних конструкцій складають ієрархічну систему методів, що реалізується у настанові [4]. Дана система охоплює всі типи конструкцій, проте залізобетонні сходові марші, як окремий тип конструкцій, не охоплені нею і при цьому припускається, що методи, рекомендовані для інших типів будівельних конструкцій (наприклад залізобетонних плит перекриттів) можуть бути використані для них. Такий стан зумовлює певну неоднозначність. Тому система ієрархічних методів розрахункової оцінки залізобетонних конструкцій потребує удосконалення з врахуванням вищевикладеного.

Спрощені розрахункові методи ієрархічної системи оцінки вогнестійкості залізобетонних сходових маршів, засновані на табличних довідникових даних або спеціальних номограмах, обґрунтовуються шляхом проведення комплексу вогневих випробувань. Проте в роботі [6] показано, що перспективною альтернативою для цього є математичне моделювання із залученням методу кінцевих, яке у свою чергу є основою для уточнених розрахункових методів [5, 6], які входять також як компонент у ієрархічну систему, описану у настанові [4]. Таким чином, розвиток методів розрахункової оцінки вогнестійкості залізобетонних сходових маршів є актуальною науковою задачею. У зв'язку із цим поставлена мета дослідження.

**Мета дослідження** полягає у дослідженні закономірностей реальної залежності межі вогнестійкості залізобетонних маршів від їх конструктивних параметрів в умовах впливу стандартного температурного режиму пожежі на основі вогневих випробувань.

**Об'єкт дослідження** – термомеханічні процеси, що відбуваються у залізобетонних сходових маршах в умовах теплового впливу стандартного температурного режиму пожежі.

**Предмет дослідження** – закономірності зміни значення межі вогнестійкості залізобетонних сходових маршів від їх конструктивних характеристик в умовах впливу стандартного температурного режиму пожежі.

**Методи дослідження.** При реалізації досліджень для досягнення поставленої мети був застосований комплекс дослідницьких методів, що включає: математичне моделювання на основі методу кінцевих елементів, метод аналізу, метод синтезу та метод порівняння.

**Виклад основного матеріалу.**

Випробуванням піддавався зразок залізобетонного сходового маршу 1ЛМ 30.12.15-4Л, який спирався на сходову площадку 2ЛП25.12-4-К. Фактична ширина маршу 1200 мм, довжина 2700 мм, висота підйому 1435 мм. Ширина сходової площадки 1240 мм, довжина 2760 мм. Зразки виконано із бетону класу В25.

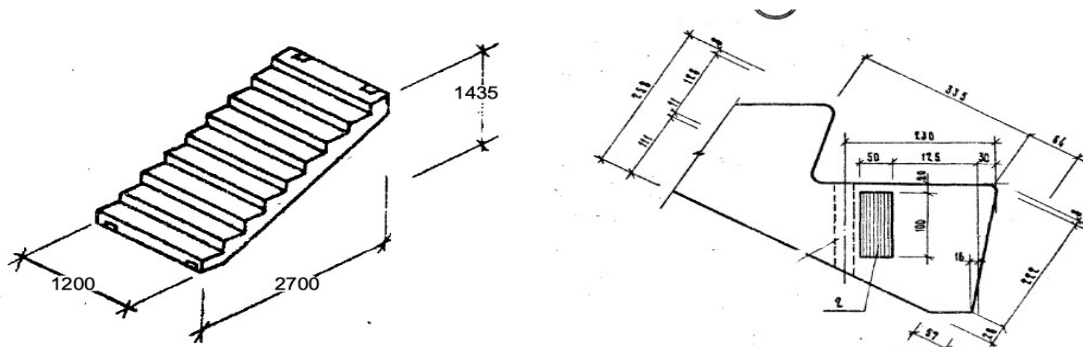


Рисунок. 1 – Позначення геометричних характеристик сходових маршів та майданчиків.

Таблиця 1 – Технічні характеристики сходового маршу та майданчику, що досліджувались

Назва виробу	Основні розміри, мм				Витрати матеріалів		Маса, т
	$l$	$b$	$h_{OM}$	$l_{OM}$	Бетон, м <sup>3</sup>	Сталь, кг	
1ЛМ 30.12.15-4Л	3030	1200	1500	2700	0,68	18,31	1,70
2ЛП25.12-4-К	2780	1300	320	-	0,4		1,16

Сходовий марш – це бетонний армований виріб. Дванадцять сходинок певної висоти і ширини розташовані на пологій похилій залізобетонній частині, що з'єднує дві горизонтальні поверхні, які традиційно використовуються в якості сходових майданчиків. Сходові конструкції встановлюються на міжповерхові перекриття. Сходинок розташовані під певним кутом нахилу, що забезпечує комфортні умови підйому або опускання сходами між поверхами. Для простоти монтажу та виконання вантажних робіт на маршових елементах передбачені чотири стропальні сталеві петлі.

Для стикування із сходовими майданчиками на залізобетонних маршових елементах передбачені спеціальні напівмайданчики. Надійність цього з'єднання здійснюється за рахунок зварювання випусків арматури та заставних елементів. Армування сходових маршів здійснюється за допомогою сталевих сіток і каркасів зі стрижневої сталі та дроту.

Таблиця 2 – Склад бетонної суміші для виготовлення сходових маршів-зразків для вогневих випробувань

Назва компоненту	Вміст у пропорціях на 1 м <sup>3</sup> бетону	Допустиме відхилення, кг
Портландцемент марки «400», кг	380	10
Пісок кварцовий річковий, кг	800	
Щебінь гранітний, кг	1080	
Вода водопровідна, л	155	

Зразки для випробування були виготовлені на основі важкого бетону на гранітному заповнювачі. Даний склад бетону є найпоширенішим при виготовленні залізобетонних конструкцій будівель [8].

При виготовленні зразків для випробувань застосовувалась типова технологія заводів-виробників залізобетонних конструкцій. При виготовленні сходових маршів-зразків для випробувань передбачалися глухі отвори для термопар, які призначені для дослідження температур у перерізах будівельної конструкції із урахуванням вимог [9, 10.] Після заповнення форм опалубки, бетон зразків ущільнювався на вібростендах. Твердіння і сушіння зразків відбувалося на повітрі протягом 28 діб у приміщенні для кондиціонування зразків ПКЗ-2 при температурі у ньому  $20^{\circ}\pm 2^{\circ}\text{C}$  та вологості  $55\pm 2\%$ . Перед вогневими випробуваннями були проведені перевірки зразків на відповідність технічним умовам.

З метою визначення міцності бетону сходових маршів-зразків виготовлені зразки-куби за методикою відповідною до ДСТУ Б В.2.7-214:2009.

#### **Проведення випробувань.**

Визначення вогнестійкості сходових маршів зі сходовими площадками здійснюється за ДСТУ Б В.1.1-4-98\* «Будівельні конструкції. Методи випробувань на вогнестійкість. Загальні вимоги» та ДСТУ Б В.1.1-23:2009 «Сходи. Метод випробування на вогнестійкість» (EN 1365-6:2004, MOD).

Високотемпературне випробування відповідно до вимог [9, 10] проводилось при температурі  $16^{\pm 1}\text{C}$  та відносній вологості повітря 56 %.

Фактичне навантаження на обидва зразки встановлено виходячи із створення у конструкції напруг, що відповідають напругам від питомого розподільчого навантаження  $300 \text{ кгс/м}^2$  (на марш), та  $200 \text{ кгс/м}^2$  (на сходову площадку).

Даний метод полягав у визначенні проміжку часу та від початку випробування за стандартним температурним режимом згідно з ДСТУ Б В.1.1-4-98\* зразків маршів (сходових площадок), які встановлювались на вогневій печі за умови вогневого впливу на зразок знизу до настання нормованого граничного стану із вогнестійкості за ознакою втрати несучої здатності. Вигляд установки із зразком під час випробування приведено на рисунок 2.



Рисунок 2. Експериментальна установка із зразком під час вогневого випробування.

Для математичного моделювання поведінки залізобетонного сходового маршу в умовах пожежі були визначені найбільш ефективні підходи до розв'язку задач такого типу [4 – 6]. Проведений аналіз дав змогу прийняти основні положення й припущення, що дозволяють провести розрахунок і узгоджуються із рекомендаціями, наведеними у роботах [4, 6].

При проведенні розрахунків був прийнятий комплекс початкових даних, який включає характеристики бетону і арматурної сталі, числові величини параметрів граничних умов до постановки теплової задачі та задачі розрахунку несучої здатності. На рисунку 3 подані температурні криві теплофізичних характеристик бетону, рекомендовані у настанові [4] щодо розрахунку залізобетонних конструкцій на вогнестійкість. Дані характеристики визначають бетон як однорідний та ізотропний матеріал, що є прийнятним припущенням при розв'язку такого типу задач [4, 5].

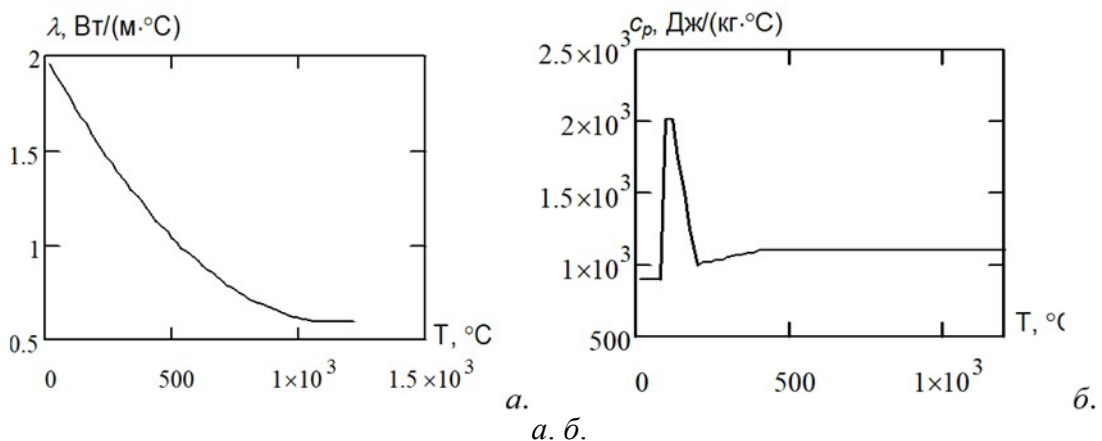
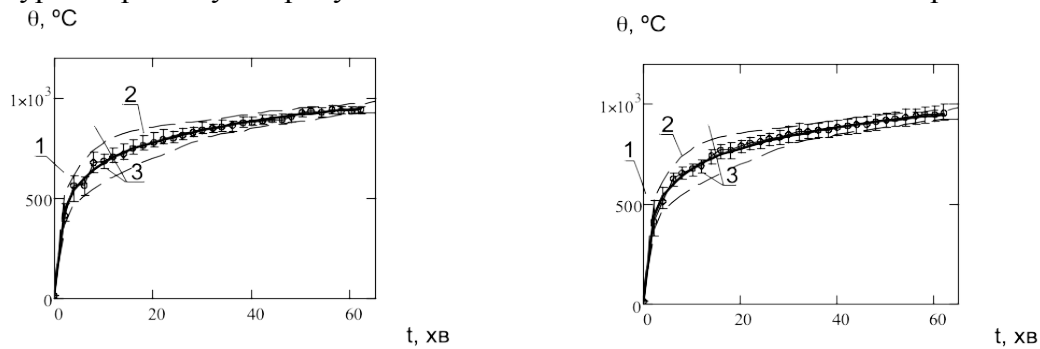


Рисунок 3 – Теплофізичні характеристики важкого бетону: коефіцієнт теплопровідності (а), питома теплоємність (б).

Побудовані температурні криві, подані на рисунку 4, дозволяють зазначити, що для температурного режиму випробувань відповідність вимогам чинних стандартів забезпечена.



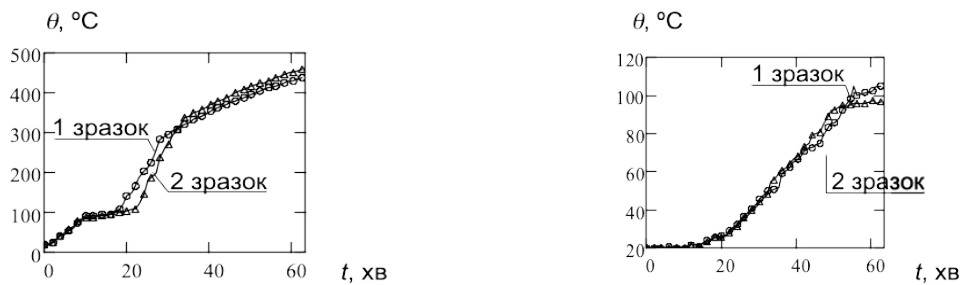
а.

б.

Рисунок 4 – Температурні показники режиму вогневих випробувань першого (а) та другого (б) зразків залізобетонних сходових маршів у печі:

1 – середньооб’ємна температура в просторі печі, 2 – стандартна температурна крива пожежі, 3 – допустимі відхилення температурного режиму.

На рисунку 5 подані температурні криві нагрівання нижнього та верхнього рядів арматурних стержнів досліджуваних залізобетонних сходових маршів.



а.

б.

Рисунок 5 – Показники температур, виміряних на арматурних стержнях залізобетонного сходового маршу під час проведення вогневих випробувань: 1 – нижній ряд; 2 – верхній ряд.

Аналізуючи температурні криві нагрівання сталеві арматури залізобетонного сходового маршу, подані на рисунку 5, можна прийти до висновку, що температура в арматурних стержнях нижнього ряду має характерну горизонтальну ділянку в області 100 °С, причому таке явище спостерігається для обох випробувань. Також було виявлено, що не спостерігається істотна розбіжність температур між температурними показниками на арматурі різних зразків залізобетонних сходових маршів.

З метою проведення аналізу якості отриманих експериментальних даних щодо температурних показників у арматурі залізобетонних сходових маршів, були побудовані криві залежностей середньої температури арматурних стержнів нижнього та верхнього рядів від часу разом із обчисленими відхиленнями показників температури від середнього значення. Отримані криві наведені на рисунку 6.

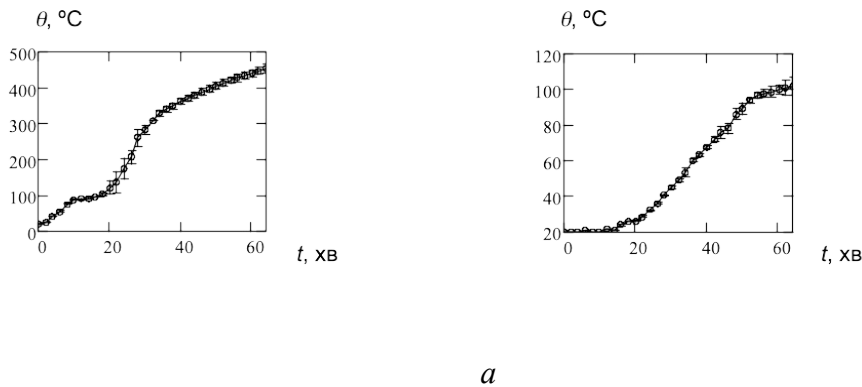


Рисунок 6 – Середнє значення температурних показників у арматурі залізобетонних сходових маршів із відхиленнями: *a* – нижнього ряду; *б* – верхнього ряду.

Криві залежностей температури від часу для арматурних стержнів нижнього та верхнього рядів показують те, що вони мають несуттєві відмінності для різних зразків. Також слід зазначити, що максимальна температура за встановлений проміжок часу вогневого впливу відрізняється несуттєво.

Температурні показники в арматурних стержнях обох рядів для різних зразків нагріваються до однакової максимальної температури. Це можна пояснити тим, що захисний шар для цих зразків є однаковим. Тим не менше, є ділянки, де відхилення набуває найбільших величин. Такі ділянки фіксуються у часовому проміжку з 20 хв по 30 хв.

На рисунку 7 наведені температурні криві нагрівання обігрівної поверхні залізобетонного сходового маршу під час його вогневих випробувань у залежності від часу.

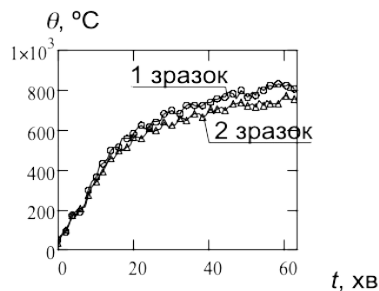


Рисунок 7 – Показники термопар на обігрівній поверхні зразків залізобетонних сходових маршів під час його вогневих випробувань.

Таким же чином була вивчена якість одержаних експериментальних даних стосовно вимірювання температури на обігрівній поверхні. Для цього були побудовані криві залежності середньої температури на необігрівній поверхні зразків залізобетонних сходових маршів від часу разом із визначеними відхиленнями температурних показників отриманих в ході вогневих випробувань. Побудовану криву наведено на рисунку 8.

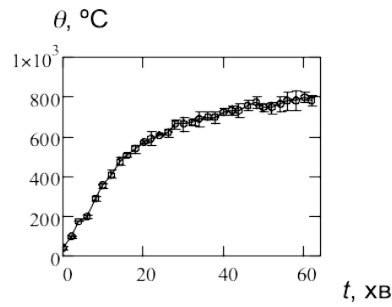
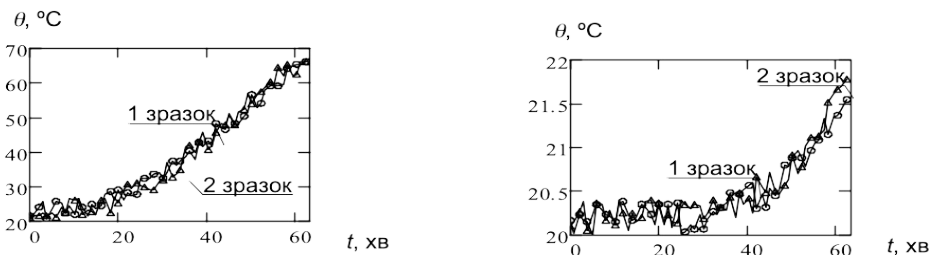


Рисунок 8 – Середня температура на необігрівній поверхні зразків залізобетонних сходових маршів разом із відхиленнями, температурних показників, отриманих в ході вогневих випробувань.

На рисунку 9 наведені графіки залежностей термопар на необігрівній поверхні зразків залізобетонних сходових маршів між сходишками на вершинах сходинок, які були одержані згідно із результатами проведених вогневих випробувань.

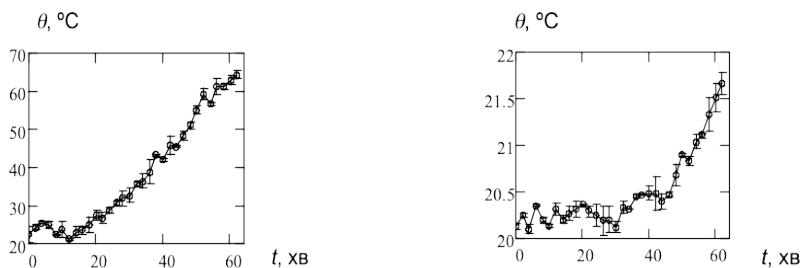


а.

б.

Рисунок 9 – Показники термопар на необігрівній поверхні зразків залізобетонних сходових маршів між сходишками (а) на вершинах сходинок (б).

На рисунку 10 подані графіки розкиду температур термопар на необігрівній поверхні зразків залізобетонних сходових маршів між сходишками на вершинах сходинок разом із відхиленнями при порівнянні результатів випробувань між зразками одного й того ж типу.



а.

б.

Рисунок 10 – Графіки розкиду температур термопар на необігрівній поверхні зразків залізобетонних сходових маршів між сходишками (а) на вершинах сходинок (б).

У результаті аналізу кривих, поданих на рисунку 9 та рисунку 10, було виявлено, що одержані криві середньої температури у залежності від часу випробувань для зразків

залізобетонних сходових маршів є подібними і розрізняються на 5-6 °С. При цьому найбільші відхилення виникають на інтервалі з 20-ої хвилини до 30-ої хвилини випробування. Це пояснюється тим, що з причини нагріву внутрішніх шарів зразків залізобетонних сходових маршів до певної температури та зростання діючого навантаження як наслідок росту температури відбувається порушення цілісності бетону, що є результатом його розтріскування та дроблення.

У результаті проведених досліджень можна зробити такі висновки.

1. Була розроблена методика проведення експериментальних досліджень поведінки залізобетонних сходових маршів на основі вогневих випробувань.

2. Були проведені вогневі випробування залізобетонних сходових маршів і отримано результати температурних вимірювань у просторі печі та внутрішніх шарах залізобетонного сходового маршу, а також дані щодо його максимального прогину.

3. Виявлено, що одержані криві середньої температури у залежності від часу випробувань для зразків залізобетонних сходових маршів є подібними і розрізняються на 5-6 °С. При цьому найбільші відхилення виникають на інтервалі з 20 хвилини по 30 хвилину випробування.

### **ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ**

1. ДБН В.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги».
2. Будівельні конструкції. Методи випробувань на вогнестійкість. Загальні вимоги. Пожежна безпека. (ISO 834: 1975) ДСТУ Б В.1.1-4-98\*. [Чинний від 1998-10-28.] – К.: Укрархбудінформ, 2005. – 20 с – (Національний стандарт України).
3. EN 1991-1-2:2002 Eurocode 1: Actions on structures – Part 1-2: General actions – Actions on structures exposed to fire Part 1-2: General rules – Structural fire design, Brussels, 2002.
4. EN 1992-1-2:2005 Eurocode 2: Design of concrete structures Part 1-2: General rules – Structural fire design, Brussels, 2004.
5. Long T. Phan, Therese P. McAllister, John L. Gross, Morgan J. Hurley. Best Practice Guidelines for Structural Fire Resistance Design of Concrete and Steel Buildings. NIST Technical Note 1681. 2010. 217 p.
6. Поздеев С. В. Розробка уточненого розрахункового методу для визначення межі вогнестійкості несучих залізобетонних конструкцій. / Поздеев С. В., Левченко А. Д. // Науковий вісник національного технічного університету «Львівська політехніка». – Львів: НТУ «Львівська політехніка». – 2011. – С. 264 – 269.
7. Improvement of the Assessment Method for Fire Resistance of Steel Structures in the Temperature Regime of Fire under Realistic Conditions // Materials Science Forum / Taras Shnal, Serhii Pozdieiev, Oleksandr Nuianzin, Stanislav Sidnei / 2020 Volume 1006 – pp. 107 – 116.
8. Леннон Т., Мур Д. Б., Ван Ю. К., Бейли К. Г. Руководство для проектировщиков к EN 1991-1-2:2002, EN 1992-1-2:2002, EN 1993-1-2:2002 и EN 1994-1-2:2002 : справочник по проектированию противопожарной защиты стальных, сталежелезобетонных и бетонных конструкций зданий и сооружений в соответствии с Еврокодами : пер. с англ. / Т. Леннон и др.; ред. Серии Х. Гульванесян; М-во образования и науки Росс. Федерации, ФГБОУ ВПО «Моск. гос. строит. ун-т» ; науч ред. пер. В. М. Ройтман, И. А. Кириллов, А. И. Плотников; 2-е изд., Москва – МГСУ, 2013. – 196 с.
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.

### **REFERENCE**

1. DBN V.1.1-7:2016 "Fire safety of construction objects. General requirements".
2. Building structures. Fire resistance test methods. General requirements. Fire Security. (ISO 834: 1975) DSTU B V.1.1-4-98\*. [Effective from 10-28-1998.] – K.: Ukrakhbudinform, 2005. – 20 p. – (National Standard of Ukraine).



3. EN 1991-1-2:2002 Eurocode 1: Actions on structures – Part 1-2: General actions – Actions on structures exposed to fire Part 1-2: General rules – Structural fire design, Brussels, 2002.
4. EN 1992-1-2:2005 Eurocode 2: Design of concrete structures Part 1-2: General rules – Structural fire design, Brussels, 2004.
5. Long T. Phan, Therese P. McAllister, John L. Gross, Morgan J. Hurley. Best Practice Guidelines for Structural Fire Resistance Design of Concrete and Steel Buildings. NIST Technical Note 1681. 2010. 217 p.
6. Pozdeev S. V. Development of a refined calculation method for determining the limit of fire resistance of load-bearing reinforced concrete structures. / Pozdeev S. V., Levchenko A. D. // Scientific Bulletin of the National Technical University "Lviv Polytechnic". – Lviv: NTU "Lviv Polytechnic". – 2011. – P. 264 – 269.
7. Improvement of the Assessment Method for Fire Resistance of Steel Structures in the Temperature Regime of Fire under Realistic Conditions // Materials Science Forum / Taras Shnal, Serhii Pozdieiev, Oleksandr Nuianzin, Stanislav Sidnei / 2020 Volume 1006 – p. 107-116.
8. Lennon T., Moore D.B., Wang Y.K., Bailey K.G. Guide for designers to EN 1991-1-2:2002, EN 1992-1-2:2002, EN 1993-1-2:2002 and EN 1994-1-2:2002: a guide to the design of fire protection of steel, steel-reinforced concrete and concrete constructions completed and constructed in accordance with Eurocodes: trans. with English / T. Lennon and others; ed. Series H. Gulvanesyan; Moscow State University of Education and Science. Federation, FGBOU VPO "Moscow. Mr. build University"; science ed. trans. V. M. Roitman, I. A. Kirillov, A. I. Plotnikov; 2nd ed., Moscow – Moscow State University, 2013. – 196 p.
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.

**Ivan Nesen,**

*Olha Nekora, PhD in technical sciences, Senior Research Officer,  
Serhii Pozdieiev, Doctor of Technical Science, professor,  
Cherkasy Institute of Fire Safety Named after Chornobyl Heroes  
of National University of Civil Defense in Ukraine,*

**Andrii Bondar,**  
*Test Center LLC "TEST"*

## **STUDY OF THERMAL INFLUENCE ON REINFORCED CONCRETE STAIRWAYS UNDER THE CONDITIONS OF FIRE TESTS**

*The article proposes a test using a horizontal test furnace and measuring tools to determine the effect of temperatures on a reinforced concrete staircase. The work simulates a fire test of a reinforced concrete flight and calculates the thermal effect of a flame on a reinforced concrete flight of stairs.*

*The results of experimental studies of the temperature characteristics of the stressed and deformed state of a reinforced concrete staircase in the conditions of fire tests under the standard fire temperature regime. In order to carry out the experimental research, a method of fire tests was developed and a study based on fire tests was carried out. As a result, an experimental study was carried out and the main characteristics of the temperature distribution in the cross section and the inner layer of a reinforced concrete staircase were determined, as well as the dependence of the maximum deflection on time was determined.*

*The obtained experimental results were comparable with the calculated results. When applying statistical criteria, the adequacy of the experiment and calculated data was investigated. Adequacy testing showed that the experimental data are reliable and the calculated data are adequate. It is shown that the obtained calculation data can serve as a basis for a reliable analysis of the problem of fire resistance of reinforced concrete staircases.*

*Key words: fire test, reinforced concrete march-sample, horizontal test furnace, thermocouple, loss of bearing capacity.*