

УДК 614.841.45

АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ВИМІРЮВАНЬ ПРОГИНУ ЗРАЗКІВ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ СХОДОВИХ МАРШІВ ПІД ЧАС ВОГНЕВИХ ВИПРОБУВАНЬ

<https://doi.org/10.33269/nvcz.2023.1.110-116>

Несен І. О., ORCID iD 0000-0001-5847-4805

E-mail: Nesen-ua@ukr.net

Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля Національного університету служби цивільного захисту України, Україна

ІНФОРМАЦІЯ ПРО СТАТТЮ

Надійшла до редакції: 08.11.2022

*Пройшла рецензування:
16.11.2022*

КЛЮЧОВІ СЛОВА:

вогневе випробування,
залізобетон, сходовий марш,
прогин, тріщина, термопара,
втрата несучої здатності.

АНОТАЦІЯ

У роботі розглянуто результати, отримані під час проведення випробувань на вогнестійкість залізобетонного сходового маршу, а саме – вивчено механічні процеси, що відбуваються у внутрішніх шарах матеріалу, а також проаналізовано швидкість наростання і максимальне значення прогину зразків. Під час вогневих випробувань появи граничного стану за фіксацією втрати несучої здатності зразків залізобетонних сходових маршів не спостерігалось. Контроль утворення тріщин за обраною методикою засвідчив відсутність прояву таких, які б загрожували руйнуванням зразкам залізобетонних сходових маршів. Загалом за результатами проведених вогневих випробувань досліджувані зразки відповідають класу вогнестійкості R 60. Було зазначено максимальні значення прогину та швидкості наростання деформації. Додатково проаналізовано результати дослідження тріщин та дроблень бетону зразків залізобетонних сходових маршів під час вогневих випробувань. Отримані дані дають змогу зробити висновок, що механічні процеси, які відбуваються у внутрішніх шарах, відповідають теоретичним уявленням.

Постановка проблеми. Відповідно до статистичних даних про пожежі та надзвичайні ситуації, які є наслідками пожеж, одним із найбільш важливих факторів, що встановлює рівень пожежної небезпеки будівельних об'єктів, є вогнестійкість будівельних конструкцій, зокрема залізобетонних сходових маршів. Важливість вогнестійкості залізобетонних сходових маршів підкреслюють тим, що вони є частиною шляхів безпечної евакуації. Відомо, що забезпечення вогнестійкості всіх будівельних конструкцій і залізобетонних маршів у тому числі, є точна її оцінка. Для цього є можливість застосування як експериментальних, так і розрахункових методів відповідно до сучасних європейських будівельних норм, імплементованих в Україні [1–2], та нормативних документів, що є

чинними у державі [3–4].

Усі будівельні конструкції, зокрема сходи, мають межу вогнестійкості, що характеризується часом стійкості під дією високої температури. Для залізобетонних маршів велике значення має межа вогнестійкості за несучою здатністю як основний показник можливості їхньої експлуатації в умовах пожежі. Враховуючи важливість забезпечення необхідної вогнестійкості залізобетонних сходових маршів як шляхів евакуації, удосконалення методів оцінки вогнестійкості для них створить передумови для підвищення пожежної безпеки об'єктів будівництва як елемент загальної проблеми забезпечення необхідного часу евакуації людей під час пожежі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Методи розрахункової

оцінки вогнестійкості залізобетонних сходових маршів наведені в роботах [5–6]. Ці методи отримали широке поширення та суттєвий розвиток. Прогрес обчислювальних алгоритмів дає змогу враховувати всі значущі процеси, особливості будови залізобетонних сходових маршів та динаміку їхнього нагрівання під час пожежі. Але в зазначених роботах не приділено достатньої уваги експериментальним випробуванням за стандартним температурним режимом пожежі.

Зокрема, у роботі [6] наведено основні розрахункові методики, що використовують інженерний підхід, заснований на спрощених математичних моделях опору матеріалів, який є основою для спрощених методів. Також слід зауважити, що такі методи для залізобетонних сходових маршів на сьогодні розвинуті недостатньо. Разом обидва типи методів для розрахункової оцінки вогнестійкості залізобетонних будівельних конструкцій становлять систему, що визначає всі типи конструкцій. Залізобетонні сходові марші не виділено в окремий вид. Робота [7] відображає основні аспекти під час реалізації зазначеного підходу. Проте для залізобетонних сходових маршів уточнений підхід до розрахунку вивчено недостатньо. Водночас у роботі [7] стверджується, що перспективною альтернативою для цього є математичне моделювання із використанням методу кінцевих елементів (польові моделі), що своєю чергою є основою для уточнених розрахункових методів [1–3], які входять також як компонент у ієрархічну систему, описану в настанові [2]. З огляду на зазначене ця робота у перспективі спрямована на розвиток методів розрахункової оцінки вогнестійкості залізобетонних сходових маршів, удосконалення яких базуватиметься на даних, отриманих під час експериментальних досліджень та аналізу результатів, і є актуальною науковою задачею.

У роботі [8] отримано 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 розроблено методику вогневих випробувань і здійснено дослідження на основі вогневих випробувань. Внаслідок цього проведено експериментальне дослідження, визначено основні характеристики розподілу температури в перерізі та внутрішньому шарі залізобетонного сходового маршу, а також визначено залежність максимального прогину від часу. Отримані експериментальні результати були порівнянні із розрахунковими результатами. Проте не було виконано аналіз результатів вимірювань прогину зразків залізобетонних сходових маршів під час вогневих випробувань, що й стало метою цього дослідження.

Формулювання цілей дослідження. Мета роботи полягає у дослідженні механічних процесів, які відбуваються у внутрішніх шарах залізобетонних сходових маршів, за результатами випробувань на вогнестійкість, а також аналізі швидкості наростання і максимального значення прогину зразків.

Для досягнення цієї мети поставлено такі завдання:

- проаналізувати наростання прогину зразків залізобетонних сходових маршів та швидкості наростання величини максимального прогину під час випробувань на вогнестійкість сходового маршу;

- оцінити дефекти бетону, що виникли у бетоні зразків залізобетонних сходових маршів після вогневих випробувань;

- окреслити перспективи досліджень надалі.

Методи дослідження. Експериментальні дослідження зразків проведено на установці, що являє собою вогневу піч із паливно-форсуновою

системою із використанням дизельного палива з автоматичним управлінням. До зразків прикладено механічне навантаження за допомогою бетонних фундаментних блоків. У роботі [8] проведено дослідження теплового впливу на залізобетонні сходові марші в умовах вогневих випробувань відповідно до стандартної методики [3–4]. Результати [8] були вхідними даними для цієї роботи. Випробування проведено протягом контрольного проміжку часу, який відповідає найбільшому часовому проміжку настання граничного стану для залізобетонних сходових маршів згідно з ДБН В.1.1-7:2016 Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги [3]. Висновок про момент настання граничного стану втрати несучої здатності залізобетонних сходових маршів здійснюється на основі критеріїв, які встановлені у стандартах щодо випробувань на вогнестійкість ДСТУ Б В.1.1-4-98* [4] та ДСТУ Б В.1.1-23:2009 [2]. Для досліджуваних залізобетонних сходових маршів розроблено схему закладання термопар у перерізі зразків.

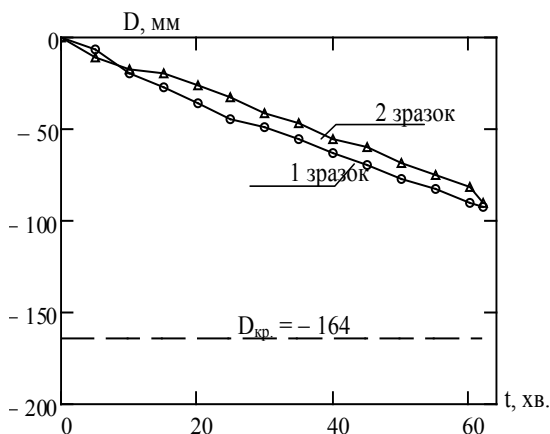


Рисунок 1 – Наростання прогину зразків залізобетонних сходових маршів під час випробувань на вогнестійкість сходового маршу

На рис. 2 наведені криві швидкості наростання величини максимального прогину зразків залізобетонних сходових

Виклад основного матеріалу дослідження.

Використовуючи дані вогневих випробувань зразків залізобетонних сходових маршів [7–8], були визначені максимальний прогин під час нагрівання за стандартним температурним режимом пожежі. На рис. 1 наведені криві залежностей найбільшого прогину у вертикальному напрямку зразків залізобетонних сходових маршів від часу вогневого впливу. Криві, наведені на рис. 1, також показані разом із горизонтальною лінією, рівень якої відповідає критичному значенню прогину. Граничним станом за ознакою втрати несучої здатності (ознака R) є стан, за якого виконується одна з таких умов:

- значення прогину (D) конструкції перевищує значення

$$D=L^2/400b \text{ мм}; \quad (1),$$

- швидкість наростання деформації (dD/dt) перевищує значення

$$dD/dt=L^2/9000b \text{ мм/хв.}, \quad (2),$$

де: L – прогин, мм; b – розрахункова висота перерізу конструкції, мм.

Якщо значення прогину не більше $L/30$, то граничною деформацією є тільки граничне значення прогину (D).

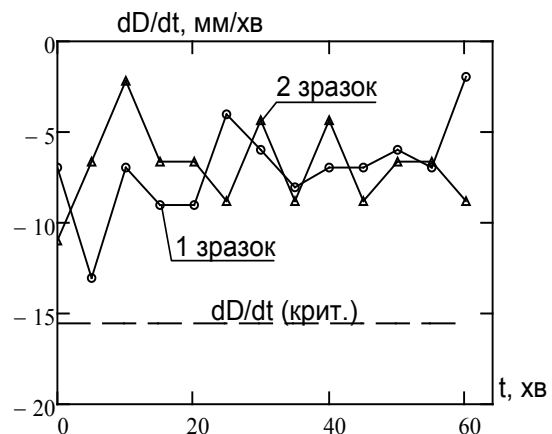


Рисунок 2 – Швидкість наростання величини максимального прогину зразків залізобетонних сходових маршів за результатами випробувань на вогнестійкість

маршів за результатами випробувань на вогнестійкість.

Під час проведення аналізу результатів експериментів, наведених на

рис. 1 та 2, зазначено: у процесі вогневих випробувань появи граничного стану за фіксацією втрати несучої здатності зразків залізобетонних сходових маршів, що регламентовано у будівельних стандартах, чинних в Україні [1–4], щодо проведення вогневих випробувань залізобетонних сходових маршів, не спостерігалось. Також здійснено замір тріщин, що утворилися після завершення завогневого впливу на сходовий марш, відповідно до методики, описаної у [8]. Результати засвідчили відсутність появи тріщин, що здатні загрожувати руйнуванням зразкам залізобетонних сходових маршів.

Загалом результати проведених вогневих випробувань залізобетонних сходових маршів дають змогу зробити висновок, що досліджувані зразки відповідають класу вогнестійкості R 60.

На рис. 3 паведені побудовані криві середніх величин найбільшого прогину зразків залізобетонних сходових маршів

разом із отриманими відхиленнями під час вогневих випробувань.

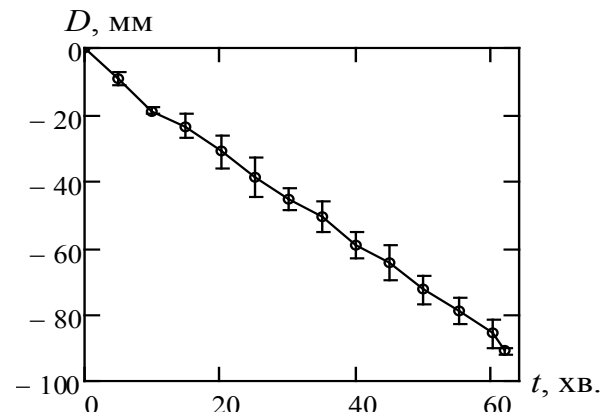


Рисунок 3 – Залежність середніх величин найбільшого прогину зразків залізобетонних сходових маршів разом із отриманими відхиленнями під час вогневих випробувань

На фотоматеріалах вогневих випробувань було зафіксовано тріщиноутворення та дроблення бетону зразків залізобетонних сходових маршів.

На рис. 4 наведені фотознімки ушкоджень після вогневих випробувань.



Рисунок 4 – Зовнішній вигляд дефектів бетону, що виникли у бетоні зразків залізобетонних сходових маршів після вогневих випробувань

У бетоні досліджуваних зразків залізобетонних сходових маршів унаслідок вогневих випробувань спостерігалась поява тріщин. Водночас загальний вигляд їх розподілу наведено на рис. 5.

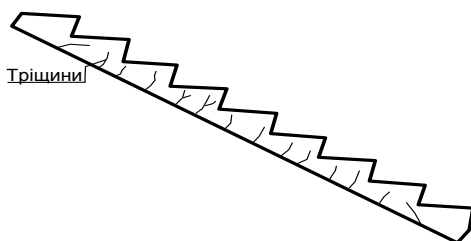


Рисунок 5 – Розташування тріщин у бетонній основі сталезалізобетонної плити сходового маршу

Для аналізу характеру розвинення тріщин у бетоні залізобетонних сходових маршів була оцінена середня висота тріщин на зовнішній поверхні у зразках у процесі випробувань. Розмір тріщин під зразками та на них під час та по завершенню випробувань вимірювався за допомогою спеціальних метрологічних засобів, що відповідали вимогам [9]. На рис. 6 наведені криві зміни середньої висоти тріщин від часу вогневого впливу.

Незначні тріщини існували на поверхні зразка до початку вогневого впливу ($t = 0$ хв.), висота тріщин h_c вже складала не більше 30 мм, що є дефектами,

які виникають під час виготовлення, сушіння та транспортування залізобетонних виробів. За результатами вогневого впливу ($t = 60$ хв.) висота тріщин h_c складає 90 мм. Заміри проводились лише на зовнішній боковій поверхні сходового маршу під час експериментальних досліджень.

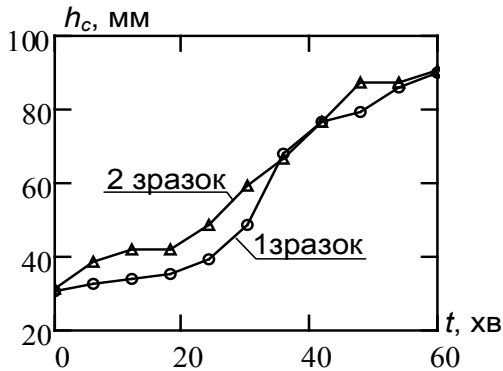


Рисунок 6 – Криві залежностей від часу вогневого впливу середньої висоти тріщин на зовнішній поверхні у різних зразках залізобетонних сходових маршів

Отримані дані під час вогневих випробувань зразків залізобетонних сходових маршів дають змогу зробити висновок, що механічні процеси, які відбуваються у внутрішніх шарах, відповідають теоретичним уявленням та результатам експериментальних досліджень, що відомі з робіт [5–8]. Під тепловим впливом в умовах випробувань досліджувані зразки залізобетонних сходових маршів мали деформацію згину і максимальний прогин зразків постійно зростає донизу, тобто у бік, звідки здійснювався температурний вплив у вогневій печі. На температурних кривих нагріву внутрішніх шарів зразків залізобетонних сходових маршів існує горизонтальна ділянка із показниками температури близько 100 °С, що може бути пояснено випаровуванням наявної вологи у порах бетону.

Висновки та напрями подальших досліджень.

За результатами, отриманими під час проведення дослідження, вивчено механічні процеси, що відбуваються у внутрішніх шарах залізобетонних сходових маршів за результатами випробувань на вогнестійкість, а також проаналізовано наростання і максимальне значення прогину зразків. Зазначене дало змогу підсумувати результати, що викладено нижче:

1. У процесі вогневих випробувань поява граничного стану за фіксацією втрати несучої здатності зразків залізобетонних сходових маршів, що регламентована у будівельних стандартах, чинних в Україні [1–4] щодо проведення вогневих випробувань залізобетонних сходових маршів, не спостерігалася. Аналіз утворення тріщин за обраною методикою показав відсутність їхнього виникнення, тому загрози руйнування зразків залізобетонних сходових маршів з цієї причини не було. Загалом унаслідок проведених вогневих випробувань досліджувані зразки відповідають класу вогнестійкості R 60.

2. Під час проведення випробувань проаналізовано максимальні значення прогину та швидкості наростання деформації, що склали 92 мм та 2,6 мм/хв відповідно.

3. Результати, отримані в цій роботі, дають можливість розробити та створити комп'ютерні моделі поведінки залізобетонних сходових маршів в умовах теплового впливу стандартного температурного режиму пожежі та перевірити адекватність виконаних розрахунків. На основі цього можна встановити закономірності та побудувати математичну модель зміни межі вогнестійкості залізобетонних сходових маршів з огляду на їхні конструктивні параметри.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДСТУ Б В.1.1-23:2009 (EN1363-6:2004, MOD). Захист від пожежі. Сходи. Метод випробування на вогнестійкість. Київ : Мірегіонбуд України, 2010. 33 с.
2. EN 1992-1-2:2005 Eurocode 2 : Design of concrete structures Part 1–2 : General rules – Structural fire design, Brussels, 2004.

3. ДБН В 1.1-7:2016. Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги. [Чинний від 2017-06-01]. Київ : Мінрегіон України, 2017. 35 с.
4. Будівельні конструкції. Методи випробувань на вогнестійкість. Загальні вимоги. Пожежна безпека (ISO 834 : 1975) : ДСТУ Б В.1.1-4-98*. [Чинний від 28.10.1998]. К. : Укрархбудінформ, 2005. 20 с.
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. 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. Vol. 1006. P. 107–116.
7. Несен І. Дослідження поведінки залізобетонного сходового маршу в умовах теплового впливу пожежі. *Науковий вісник : Цивільний захист та пожежна безпека*. 2022. № 2(14). С. 143–152.
8. Дослідження теплового впливу на залізобетонні сходові марші в умовах вогневих випробувань / І. Несен, О. Некора, С. Поздеев, А. Бондар / Надзвичайні ситуації : попередження та ліквідація, 2022. Т. 6. № 2. С. 73–82.
9. Метрологія. Державні випробування засобів вимірювальної техніки. Основні положення, організація, порядок проведення і розгляду результатів. ДСТУ 3400:2006 [чинний від 01.04.2007]. Вид. офіц. Київ: Укрметртестстандарт.

REFERENCES

1. 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. [in Ukrainian].
2. DSTU-N B EN 1992-1-2:2005 Eurocode 2.: Design of concrete structures Part 1-2: General rules – Structural fire design, Brussels, (EN 1992-1-2:2004, IDT) [in Ukrainian].
3. Pozhezhna bezpeka ob'ektiv budivnytstva. Zahalni vymohy [Fire safety of construction sites. general requirements]. (2017). DBN V 1.1-7:2016 from 1 June 2017. Kyiv: Minrehion Ukrainy [in Ukrainian].
4. Budivelni konstruktсии. Metody vyprobuvan na vohnestiikist. Zahalni vymohy. Pozhezhna bezpeka [Building structures. Fire resistance test methods. General requirements. Fire Security] (ISO 834: 1975). (2005). DSTU B V.1.1-4-98* from 28 October 1998. Kyiv:Ukrarkhbuildinform [in Ukrainian]
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. [in English].
6. Shnal, T., Pozdieiev, S., Nuianzin, O., (2020) Improvement of the Assessment Method for Fire Resistance of Steel Structures in the Temperature Regime of Fire under Realistic Conditions, Volume 1006 – pp. 107 – 116. Materials Science Forum [in English].
7. Nesen, I. (2022). Doslidzhennya povedinky zalizobetonnoho skhodovoho marshu v umovakh teplovoho vplyvu pozhezhi. [Study of the behavior of a reinforced concrete staircase under the conditions of the thermal effect of a fire]. *Naukovyy visnyk: Tsyvil'nyy zakhyst ta pozhazhna bezpeka*. № 2(14). P. 143–152. [in Ukrainian].
8. Nesen, I., Nekora, O., Pozdyeyev, S., Bondar, A. (2022). Doslidzhennya teplovoho vplyvu na zalizobetonni skhodovi marshi v umovakh vohnevnykh vyprobuvan [Study of thermal effects on reinforced concrete stairwells under conditions of fire tests] *Nadzvychnayni sytuatsiyi: poperedzhennya ta likvidatsiya*. P. 73-82. [in Ukrainian].
9. Metrolohiia. Derzhavni vyprobuвання zasobiv vymiriuvalnoi tekhniki. Osnovni polozhennia, orhanizatsiia, poriadok provedennia i rozghliadu rezultativ. [Metrology. State tests of measuring equipment. Basic provisions, organization, procedure for conducting and reviewing results] (2006) DSTU 3400:2006. Kyiv : Ukrmetrteststandart. [in Ukrainian].

FIRE TESTS RESULTS OF DEFLECTION MEASUREMENTS OF REINFORCED CONCRETE STAIRCASE SAMPLES ANALYSIS

I. Nesen

Cherkasy Institute of Fire Safety named after Heroes of Chornobyl of the National University of Civil Defense of Ukraine, Ukraine

KEYWORDS: ANNOTATION

fire test,
reinforced
concrete,
staircase,
deflection, crack,
thermocouple,
loss of bearing
capacity

In this work, the results obtained during the fire resistance tests of reinforced concrete staircases were analyzed, namely, the mechanical processes that take place in the inner layers of the material were studied, as well as the rate of growth and the maximum value of the deflection of the samples were analyzed. In the process of fire tests, the appearance of the limit state by fixing the loss of load-bearing capacity of samples of reinforced concrete staircases was not observed. Control of the formation of cracks according to the chosen method confirmed the absence of the appearance of cracks that would threaten the destruction of samples of reinforced concrete staircases. In general, according to the results of the fire tests, the studied samples correspond to the fire resistance class R 60. The maximum values of the deflection and the rate of growth of deformation were indicated. In addition, the results of the study of cracks and crushing of concrete of samples of reinforced concrete staircases during fire tests were analyzed. The obtained data allow us to conclude that the mechanical processes taking place in the inner layers correspond to theoretical ideas. Under the influence of heat in the test conditions, the examined samples of reinforced concrete staircases had bending deformation and the maximum deflection of the samples constantly increased downwards. On the temperature curves of the heating of the inner layers of samples of reinforced concrete staircases, there is a horizontal section with temperature indicators of about 100 °C, which can be explained by the evaporation of the moisture present in the pores of the concrete.