

**ДЕРЖАВНА СЛУЖБА УКРАЇНИ З НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ УКРАЇНИ**



**МАТЕРІАЛИ
3-ї Міжнародної науково-практичної конференції
«Проблеми пожежної безпеки 2024»
(«Fire Safety Issues 2024»)**



ХАРКІВ 2024

Матеріали 3-ї Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми пожежної безпеки 2024» («Fire Safety Issues 2024»). – Х.: НУЦЗ України, 2024. – 261 с.

Організаційний комітет:

Голова оргкомітету

Гвоздь Віктор – тимчасово виконуючий обов'язки ректора НУЦЗ України, кандидат технічних наук, професор, заслужений працівник цивільного захисту України, Національний університет цивільного захисту України (м. Харків).

Заступник голови оргкомітету

Андронов Володимир – проректор НУЦЗ України з наукової роботи - начальник науково-дослідного центру, доктор технічних наук, професор, заслужений діяч науки і техніки України, Національний університет цивільного захисту України (м. Харків).

Члени оргкомітету

Ключка Юрій – проректор з навчальної та методичної роботи НУЦЗ України, доктор технічних наук, старший науковий співробітник, Національний університет цивільного захисту України (м. Харків).

Мирошник Олег – заступник начальника Черкаського інституту пожежної безпеки ім. Героїв Чорнобиля з навчальної та наукової роботи, доктор технічних наук, професор (м. Черкаси).

Ромін Андрій – начальник факультету пожежної безпеки НУЦЗ України, доктор наук з державного управління, професор, Національний університет цивільного захисту України (м. Харків).

Колєнов Олександр – заступник начальника факультету оперативно-рятувальних сил, кандидат наук з державного управління, доцент, Національний університет цивільного захисту України (м. Харків).

Пономаренко Роман – начальник факультету оперативно-рятувальних сил, доктор технічних наук, професор, Національний університет цивільного захисту України (м. Харків).

Метельов Олександр – начальник факультету техногенно-екологічної безпеки, кандидат технічних наук, доцент, Національний університет цивільного захисту України (м. Харків).

Tünde Anna Kovács – доцент, Факультет інженерії механіки та техніки безпеки, PhD, Університет Обуда (м. Будапешт).

Zoltán Nyikes – доцент, PhD, Університет Мілтона Фрідмана (м. Будапешт).

Гасанов Халід Шариф огли – начальник кафедри безпеки життєдіяльності, кандидат технічних наук, доцент, Академія МНС Азербайджанської Республіки (м. Баку).

Linda Makovická Osvaldová – доцент, кафедра протипожежної інженерії, PhD, Жилінський університет (м. Жиліна).

Ágoston Restás – начальник кафедри протипожежного захисту та менеджменту рятувальних операцій, PhD, Університет державної служби (Людовика) (м. Будапешт).

Прусський Андрій – начальник кафедри профілактики пожеж та безпеки життєдіяльності, доктор технічних наук, професор, Інститут державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту (м. Київ).

Карабин Василь – професор кафедри цивільного захисту та протимінної діяльності Львівського державного університету безпеки життєдіяльності, доктор технічних наук, професор (м. Львів).

Ніжник Вадим – начальник науково-дослідного центру протипожежного захисту, доктор технічних наук, професор, Інститут державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту (м. Київ).

Олійник Володимир – начальник кафедри пожежної і техногенної безпеки об'єктів та технологій, кандидат технічних наук, доцент, Національний університет цивільного

захисту України (м. Харків).

Шевченко Роман – начальник кафедри автоматичних систем безпеки і інформаційних технологій Національного університету цивільного захисту України, доктор технічних наук, професор (м. Харків).

Отрош Юрій – начальник кафедри пожежної профілактики в населених пунктах Національного університету цивільного захисту України, доктор технічних наук, професор (м. Харків).

Кустов Максим – начальник наукового відділу з проблем цивільного захисту та техногенно-екологічної безпеки, доктор технічних наук, професор, Національний університет цивільного захисту України (м. Харків).

Відповідальний секретар

Афанасенко Костянтин – заступник начальника кафедри пожежної і техногенної безпеки об'єктів та технологій, кандидат технічних наук, доцент, Національний університет цивільного захисту України (м. Харків).

Технічні секретарі

Вавренюк Сергій – професор кафедри пожежної і техногенної безпеки об'єктів та технологій, доктор наук з державного управління, Національний університет цивільного захисту України (м. Харків).

Кальченко Ярослав – старший викладач кафедри пожежної і техногенної безпеки об'єктів та технологій, PhD, Національний університет цивільного захисту України (м. Харків).

Укладачі не несуть відповідальності за зміст опублікованих матеріалів

Розглянуто на засіданні Вченої ради факультету пожежної безпеки (Протокол №6 від 30.01.24 р.)

С. М. Федченко, І. В. Федченко

*Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля
Національного університету цивільного захисту України*

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗНИЖЕННЯ МІЦНОСТІ БЕТОНУ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ ТАВРОВОГО ПЕРЕРІЗУ В УМОВАХ ВОГНЕВИХ ВИПРОБУВАНЬ

У роботі викладені результати досліджень щодо зниження міцнісних характеристик бетону залізобетонних конструкцій таврового перерізу залежно від тривалості теплового впливу стандартного температурного режиму. Дані, необхідні для дослідження зниження міцності бетону залізобетонних конструкцій таврового перерізу, були отримані шляхом проведення вогневих випробувань залізобетонних ригелів.

За результатами вогневих випробувань було одержано закономірність зміни міцності бетону у залежності від температури. Для прогнозування поведінки залізобетонних ригелів в умовах пожежі використовують експериментальний та розрахунковий методи оцінки їхньої вогнестійкості [1]. Ці методи нині застосовуються для оцінювання вогнестійкості залізобетонних конструкцій, зокрема залізобетонних ригелів, проте мають переваги та недоліки, що накладають певні специфічні умови при їхньому використанні і актуалізують зусилля, спрямовані на їх удосконалення.

Перший метод ґрунтується на проведенні вогневих випробувань. Високотемпературні випробування залізобетонних ригелів та балок відбуваються у відповідності до стандартів [2]. Згідно із цими стандартами, залізобетонний ригель повинен бути підданий тепловій дії в умовах механічного навантаження, що повністю відповідає діючому навантаженню у них згідно із розрахунковою схемою конструкції будівлі. Міцність бетону змінюється по-різному при підвищених температурах залежно від навантаження і умов нагрівання. Метод вогневих випробувань є універсальним для всіх будівельних конструкцій при визначенні всіх типів граничних станів. Проте даний метод не завжди може бути коректно застосований. Це обумовлено в основному неможливістю відтворити при експерименті повну відповідність умовам закріплення і навантаження елементу при його роботі як складової частини даної конструкції.

Розрахункові методи прогнозування функціонування залізобетонних конструкцій в умовах пожежі не мають таких обмежень і широко застосовуються на стадії проектування будівель і споруд, які б відповідали вимогам будівельних норм щодо їх вогнестійкості [3]. Такі методи за допомогою комп'ютерного моделювання надають можливість відтворити умови роботи будівельної конструкції при пожежі у повному обсязі. В алгоритми комп'ютерних програм закладені сучасні чисельні методи [4]. Переваги розрахункових методів оцінювання вогнестійкості залізобетонних ригелів полягають в універсальності, гнучкості, можливості врахувати будь-який набір граничних умов та конструктивних особливостей, а також режимів теплового впливу пожежі. Серед недоліків слід вказати на обмеженість початкових даних щодо феноменології поведінки матеріалів в умовах пожежі.

Як початкові дані для розрахункових методів оцінки вогнестійкості будівельних конструкцій використовують міцнісні характеристики бетону, що наведені у європейських нормах. У Eurocode 2 наведений коефіцієнт зниження характеристичної міцності бетону залежно від температури, що є універсальним та використовується при оцінці вогнестійкості розрахунковим методом для всіх типів залізобетонних конструкцій. Проте дослідження зразків, розміри яких наближені до реальних розмірів елементів будівель, дають більш точні результати.

Для отримання достовірних результатів щодо прогнозування вогнестійкості залізобетонних конструкцій розглядають метод вогневих випробувань і математичну обробку результатів, що надає гнучкість при врахуванні граничних умов для залізобетонних елементів [5, 6]. Цей підхід має перспективу для уточнення характеристик

матеріалів, що є компонентами залізобетону, безпосередньо через результати вимірювань при вогневих випробуваннях ригелів як альтернатива отриманню подібних даних через випробування лабораторних зразків відповідних матеріалів.

При проведенні вогневих випробувань отримується набір результатів вимірювань у вигляді залежностей від часу температурних показників в окремих точках перерізу та залежність максимального прогину ригеля від часу теплового впливу. Для визначення температур у будь-якій точці перерізів залізобетонних ригелів за точковими вимірюваннями температури у їх внутрішніх шарах, отриманими під час вогневих випробувань, проводиться процедура інтерполяції і встановлюються температури шарів, на які розбивається переріз ригеля. З використанням отриманих температурних розподілів та кривої залежності максимального прогину від часу ідентифікація механічних характеристик бетону на основі рівнянь рівноваги, побудованих з використанням деформаційної моделі.

Отже, для дослідження зниження міцності бетону залізобетонних конструкцій таврового перерізу в умовах вогневих випробувань розглянуто залізобетонні ригелі, конструктивна схема та схема розташування термопар для контролю температур у їх внутрішніх шарах зображені на рис. 1.

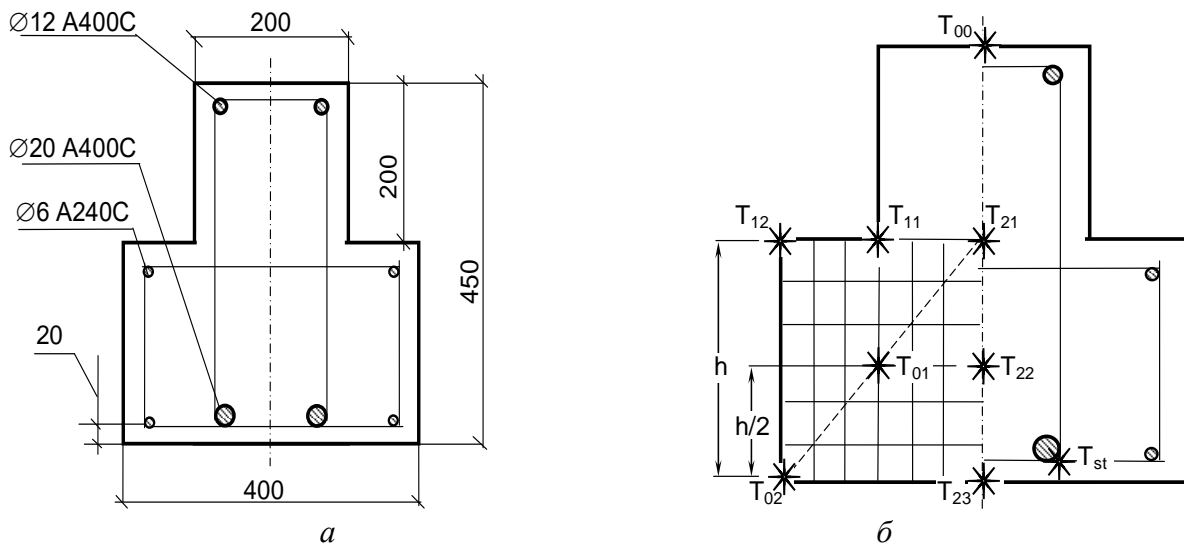


Рис. 1. Конструктивна схема залізобетонного ригеля – а; схема розташування термопар для контролю температур у внутрішніх шарах залізобетонного ригеля – б

Після проведення вогневих випробувань було отримано дані щодо температурних показників у камері печі та у внутрішніх шарах залізобетонних ригелів. Отримані результати показують задовільну відтворюваність експерименту, а отримана крива температур у камері печі не перевищує допустимі відхилення температурного режиму.

За показниками температури у внутрішніх шарах ригеля було проведено інтерполяцію за блок-схемою алгоритму визначення температури у вузлових точках перерізу шляхом інтерполяції температур за температурними показниками у контрольних точках перерізу, згідно із роботою [5] та побудовані температурні розподіли у залізобетонному ригелі для 15 хв, 30 хв, 45 хв, 60 хв тривалості вогневого випробування, що наведені у роботі [5].

У результаті проведення вогневих випробувань було отримано криву залежності максимального прогину від часу випробування (рис. 2). Отримані показники максимального прогину від часу випробування залізобетонних ригелів використовувалися при ідентифікації міцнісних характеристик бетону.

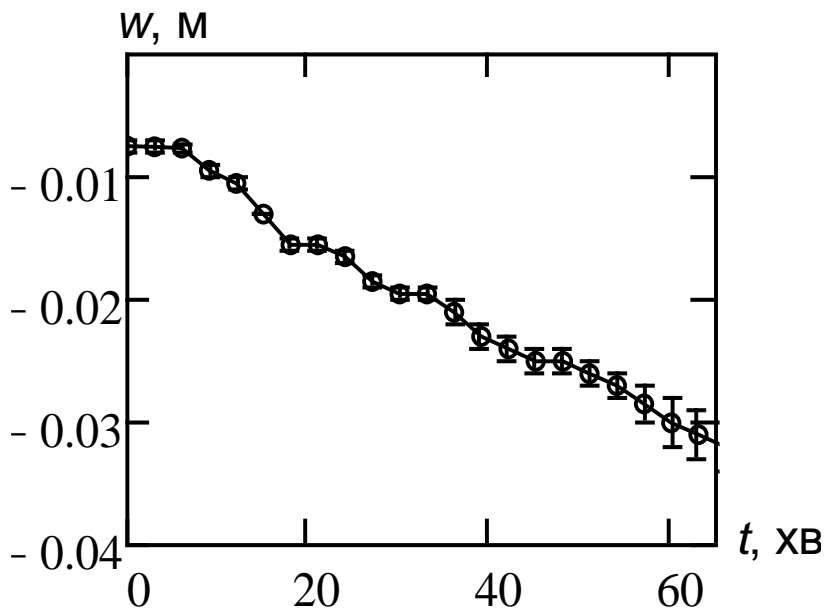


Рис. 2. Залежність величини середнього максимального прогину залізобетонних ригелів із відхиленнями

При застосуванні даних вимірювань температурних показників та величини середнього максимального прогину залізобетонних ригелів, які були отримані під час вогневих випробувань, та з використанням математичного апарату, описаного формулами, що наведені у роботі [5], було ідентифіковано залежність коефіцієнта зниження міцності бетону залізобетонного ригеля від температури.

На рис. 3 подано графіки усередненої залежності значення коефіцієнта зниження міцності бетону для досліджуваних залізобетонних ригелів та стандартної залежності, яка рекомендована настановами другої частини Eurocode 2.

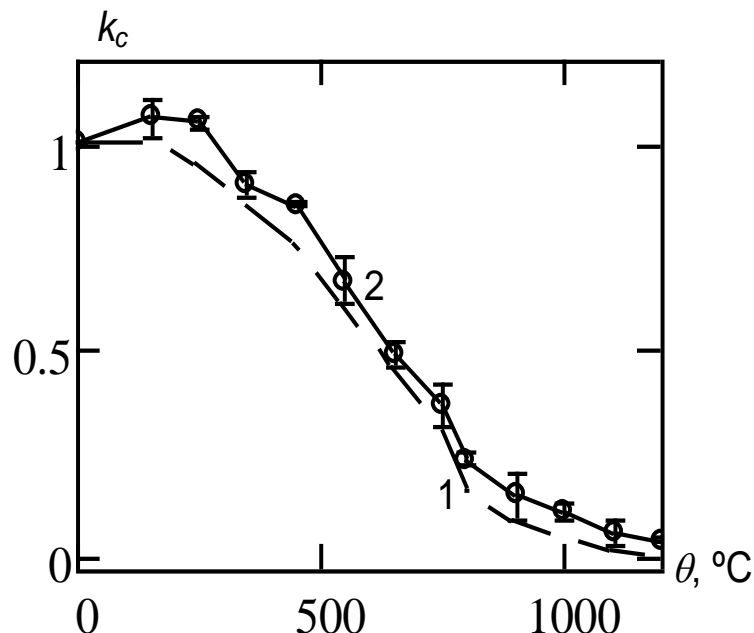


Рис. 3. Залежності коефіцієнта зниження міцності бетону: 1 – стандартна залежність; 2 – усереднена залежність для зразків № 1 та № 2 із відхиленнями

З метою спрощення автоматизації розрахунку із використанням отриманих даних щодо коефіцієнту зниження бетону отриману закономірність було апроксимовано за допомогою степеневі регресії:

$$k_c(\theta) = 1 + 1.505 \cdot 10^{-3} \theta - 7.123 \cdot 10^{-6} \theta^2 + 6.655 \cdot 10^{-9} \theta^3 - 1.921 \cdot 10^{-12} \theta^4. \quad (1)$$

Таким чином, було отримано уточнену залежність коефіцієнта зниження міцності бетону для залізобетонних ригелів, що дозволить підвищити точність результатів досліджень зниження міцності бетону залізобетонних конструкцій даного типу.

ЛІТЕРАТУРА

1. Analysis and prediction methods for the static properties of reinforced concrete beams under fire / Chaofeng Liu et as. *Structures*. 2023. Volume 47. P. 2319–2330.
2. ДСТУ Б В.1.1-13:2007 Захист від пожежі. Балки. Метод випробування на вогнестійкість (EN 1365-3:1999, NEQ): ДСТУ (Держ. Стандарт України) Наказ від 22.06.2007 № 64. 6 с.
3. Comparative fire behavior of reinforced concrete beams made of different concrete strengths / Kodur et as. *11th International Conference on Structures in Fire. The University of Queensland* 2020.
4. Probabilistic thermo-mechanical finite element analysis for the fire resistance of reinforced concrete structures / R. C. S. de Souza, M. Andreini et as. *Fire Safety Journal*. – 2019. – Vol. 104. – P. 22–33.
5. Федченко С. М. Удосконалення методу розрахунку на вогнестійкість залізобетонних балок та ригелів: дис. доктора філософії за спеціальністю – пожежна безпека. Черкаси. 2024, С. 198.
6. Інтерпретація результатів вогневих випробувань залізобетонних балок для оцінки їхньої межі вогнестійкості / С. В. Поздєєв, Ю. та ін. *Промислове будівництво та інженерні споруди*. – 2014. – № 2. – С. 14–18.

S. Fedchenko, I. Fedchenko

*Cherkasy Institute of Fire Safety named after the Heroes of Chornobyl
of the National University of Civil Protection of Ukraine*

STUDY OF THE DECREASE OF CONCRETE STRENGTH OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES OF A STEPPED SECTION UNDER FIRE TESTS

The article presents the results of studies of the regularity of changes in the concrete strength of reinforced concrete beams depending on the heating temperature of its inner layers under fire conditions by interpreting the temperature and deformation measurement results. As a result of the tests, obtained a set of measurement results in the form of time dependences of temperature indicators at individual cross-section points and the dependence of the maximum beam deflection on time, which are necessary to identify the coefficients of reduction in concrete strength of reinforced concrete beams under fire test conditions. At the next stage, to identify the dependence of the concrete strength of reinforced concrete beams, we used a method based on the compilation of systems of equilibrium equations of internal layers in the cross-section of a reinforced concrete beam, in which the unknown values are the coefficients of reduction of concrete strength for a range of temperatures every 100°C in the range from 20°C up to 1200°C, provided that the reduction factor for the specified heating temperature of the inner layer of concrete is determined by linear interpolation.