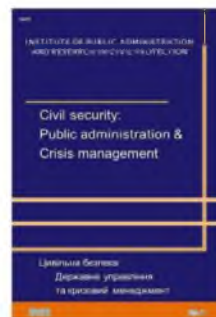

Civil Security: Public Administration and crisis management

journal homepage: sbcs.idundcz.dsns.gov.ua



УДК 614.841.415

Нуянзін Олександр

nuianzin_oleksandr@chipb.org.in

ORCID iD 0000-0003-2527-6073

Борисова Анна

borysova_anna@ukr.net

ORCID iD 0000-0002-8700-0761

РОЗРАХУНКОВЕ ОЦІНЮВАННЯ МЕЖІ ВОГНЕСТІЙКОСТІ ЗАЛІЗОБЕТОННОЇ ПЛИТИ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ВОГНЕВИХ ВИПРОБУВАНЬ БЕЗ МЕХАНІЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ

DOI: 10.33269/sbcs.2023.1.25-40

Анотація. Розкрито методику оцінки межі вогнестійкості залізобетонної плити на основі результатів вогневих випробувань без механічного навантаження та з урахуванням цих результатів на етапі розрахунку. Розроблено та охарактеризовано алгоритм оцінки межі вогнестійкості залізобетонної плити на основі результатів вогневих випробувань без механічного навантаження, який є підґрунтям загальної методики. Цей алгоритм включає інтерполяцію температурних розподілів та подальший розрахунок для визначення межі вогнестійкості за одночасного впливу температурних і силових навантажень на реальний розмір плити. Водночас враховуються схема та тип армування, а також особливості зміни міцності матеріалів під впливом нагрівання. Розроблено та обґрунтовано методику інтерпретації температурних показників прогріву залізобетонної плити, яка була нагріта в малогабаритній печі згідно зі стандартним температурним режимом пожежі. Зазначене дало змогу практично визначити межі її вогнестійкості, і це може бути частиною експериментально-розрахункового методу оцінки вогнестійкості. В роботі також описано схему розташування контрольних точок, в яких вимірюються температури, необхідні для проведення інтерполяції даних. Схема їхнього розташування наведена у графічному вигляді. Визначено температурні розподілення у перерізах залізобетонних плит. Розміри та характеристики цих плит відповідали

характеристикам досліджуваного зразка та температурам прогрівання його шарів під час експерименту. Крім того, враховано дані щодо довжини виробу та розподіленого навантаження, що спроектовано для роботи конструкції в будівлі. Таким чином, змінюючи ці параметри, можна визначити межу вогнестійкості для плит інших розмірів та з іншим робочим навантаженням. Експериментально показано, що зі збільшенням робочого навантаження на залізобетонну плиту її межа вогнестійкості знижується.

Ключові слова: оцінки межі вогнестійкості, розрахунок, залізобетонна плита, температура, навантаження, методика, алгоритм.

Вступ. Розрахункова оцінка меж вогнестійкості залізобетонної плити є важливим етапом під час проектування будівель, зокрема умов, де висуваються підвищені вимоги до пожежної безпеки. Врахування впливу високих температур на механічні властивості матеріалів є критичним для забезпечення стійкості конструкції під час пожежі. Однак є випадки, коли вогнестійкість плити потрібно визначати за результатами вогневих випробувань без механічного навантаження. Це може бути актуально для особливих ситуацій, коли вимоги до вогнестійкості є первинними, а вплив інших навантажень на конструкцію відбувається в межах припустимих значень.

Одним із основних завдань є забезпечення гарантованого часу для евакуації, тому необхідно, щоб будівельні конструкції відповідали необхідній межі вогнестійкості. Крім того, під час пошуково-рятувальних робіт підрозділи ОРС ЦЗ повинні мати впевненість в тому, що нагрівання будівельних конструкцій не призведе до їх обвалу. Порушення загальної стійкості будівлі в умовах пожежі відбувається через руйнування окремих елементів у каркасі споруди. З цією проблемою пов'язаний один з аспектів пожежної безпеки сучасних будівель – використання несучих будівельних конструкцій з гарантованою межею вогнестійкості.

Є різні способи оцінки вогнестійкості, проте немає універсального підходу. Для досягнення консенсусу між експериментами та розрахунками важливо використовувати спеціальні компактні засоби, в яких беруться до уваги особливості залізобетону і методики розрахунків, що враховують температурно-силові впливи. Це сприяє ефективному проведенню випробувань з гарантією вогнестійкості залізобетонних будівельних конструкцій, забезпеченню безпеки евакуації та здійсненню пошуково-рятувальних робіт.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Україна має декілька нормативних документів (EN 1363-1:1999, ISO 834-1: 1999, ISO/IEC 17025:2005), згідно з якими регулюють оцінку вогнестійкості залізобетонних плит. Ці документи встановлюють можливість проведення випробувань на зразках будівельних конструкцій, зокрема

плит, без прикладення механічного навантаження. Це особливо важливо для випробувань, де неможливо відтворити умови навантаження в лабораторії з технічних причин. Стандарти вказують на те, що можна досліджувати як фрагменти зразків будівельних конструкцій, так і конструкції спроектованих розмірів. Проте випробування нестандартизованих та великогабаритних конструкцій є проблемою з огляду на фінансові та технічні обмеження. Випробувальні печі можуть бути меншими за розміри досліджуваних конструкцій, що ускладнює проведення експериментів. З цією метою в роботах (Schmid J., Nuianzin O. M.) запропоновано ідею проведення експерименту з нагрівання малогабаритних елементів залізобетонних конструкцій у компактних вогневих установках відповідно до стандартних температурних режимів пожежі. Після цього проводяться верифікація експериментальних даних та розрахунки. В роботах (Veselivs'kyu, R B.; Demchyna V. H.) встановлено межу вогнестійкості, використовуючи втрату теплоізоляційної здатності фрагментів будівельних конструкцій, та досліджено зміну температури вздовж товщини стінової конструкції під час нагрівання за допомогою печі для теплофізичних випробувань малогабаритних елементів. У цьому разі піч була сконструйована таким чином, що використовувалося лише одне джерело нагрівання для прогріву камери. Відповідно до робіт (Nuianzin, O., Tyshchenko, O) зазначене впливає на рівномірність прогріву досліджуваних конструкцій та вказує на недосконалість конструкції печі. Ця робота є продовженням попередніх досліджень, зокрема (Nuianzin, O.), де для експериментів використовується малогабаритна установка для вивчення теплового впливу пожежі на будівельні конструкції, а також робіт (Veselivs'kyu, R B.; Demchyna V. H.), в яких вказуються значення рівномірного прогріву досліджуваних конструкцій під час випробувань на вогнестійкість. У цій праці наведено та проаналізовано результати експериментів з нагрівання малогабаритного елемента залізобетонної плити згідно зі стандартним температурним режимом пожежі.

Розроблена методика дає змогу на основі даних, одержуваних під час експериментальної частини методу, що заснована на односторонньому нагріванні залізобетонної стіни за стандартною температурною кривою пожежі у вогневій печі без механічного навантаження згідно зі стандартами (EN 1363-1:1999, ISO 834-1: 1999, ISO/IEC 17025:2005), оцінити межу вогнестійкості залізобетонних стін за несучою здатністю у разі застосування розрахунку на міцність (рис.1).

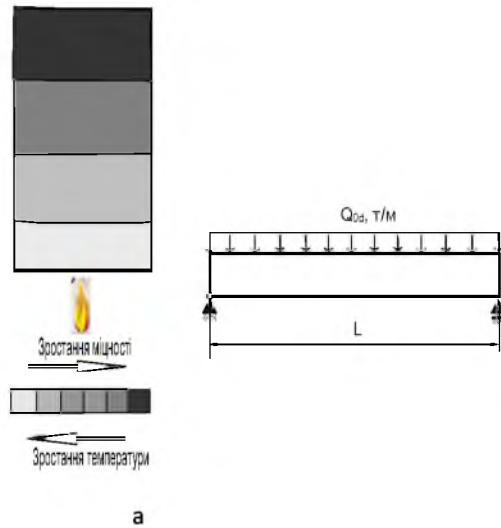


Рисунок 1 – Зміна міцності в перерізі плити залежно від температури (а) та розрахункова схема плити (б)

Мета статті. Розкриття методики оцінки межі вогнестійкості залізобетонної плити за результатами вогневих випробувань без механічного навантаження та врахування його на етапі розрахунку є метою цієї роботи.

Методи дослідження. Загальна експериментально-розрахункова методика дає змогу проводити випробування елементів плит будівельних конструкцій на вогнестійкість за температурним режимом згідно з (ДСТУ Б. В. 1..1-4-98) без прикладання механічного навантаження, що враховується на етапі розрахунку, вхідними даними для яких є експериментальні (Nuianzin, O.).

Методика використовується для визначення межі вогнестійкості елементів плит будівельних конструкцій, які піддаються впливу теплового потоку за одностороннього обігріву.

У методі враховуються зміни механічних властивостей кожного шару бетону і арматурної сталі залежно від їх температури нагріву. Зміна міцності залізобетонного елемента враховується під час розгляду параметрів напружено-деформованого стану в перерізі стіни відповідно до шарнірної схеми її закріплення, геометричних параметрів, класу міцності бетону і арматурної сталі. Рівняння, що описують напружено-деформований стан, взяті відповідно до рекомендацій (EN 1992-1-2:2005 Eurocode 2).

Для врахування зміни механічних властивостей залежно від температури була використана інтерполяція температур у вузлових

точках перерізу у разі застосування значень температур, які виміряні у контрольних точках перерізу під час проведення випробувань.

На рис. 2 наведена схема розбиття перерізу на прямокутні зони з вузловими точками, де будуть визначатися температури за допомогою інтерполяції.

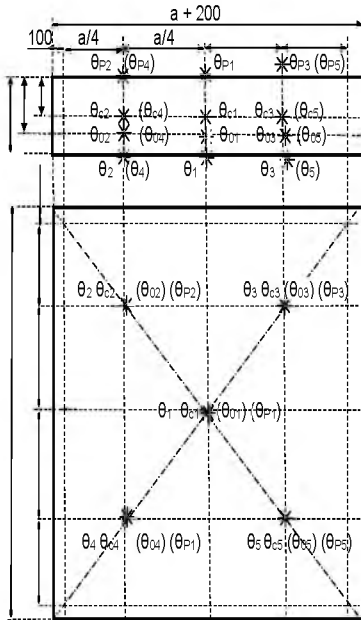


Рисунок 2 – Схема розташування термопар та розбиття перерізу плити на зони

Спосіб інтерполяції полягає у виконанні таких процедур.

1. За показниками термопар θ_{1-5} , θ_{c1-c3} знаходиться вираз, який апроксимує залежність температури від вертикальної координати вздовж поздовжньої вісі перерізу для кожного контрольного моменту часу k . Вираз має такий вигляд:

$$\theta_{v_{k,i}} = \theta_k + (\theta_{i,k} - \theta_{(i-1)k}) \left[\frac{i}{m} \right]^{Q_{v_k}} \quad (1)$$

Q_{v_k} – показник ступеня, що визначається через мінімізацію середньоквадратичної незв'язності з використанням виразу:

$$\Phi = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^m [\theta_{iM} - \theta_{iE}]^2 \rightarrow \min, \quad (2)$$

де m – кількість просторово-часових контрольних точок;

$\theta_{iE} \theta_{iM}$, – експериментальне та розраховане значення температури в i -тій просторовій контрольній точці у контрольний момент часу k .

2. Задаються початкові параметри функції, що наближує ізотерму, яка має такий вигляд:

$$j = x_0 \left(1 - \left(\frac{i}{x_0} \right)^{p_0 - (p_{\max} - p_0)x_0^n} \right)^{\frac{1}{p_0 - (p_{\max} - p_0)x_0^n}}, \quad (3)$$

де $p_0 = 1,8$, $p_{\max} = 15$ мінімальний та максимальний показники ступеня функції, що апроксимує ізотерми;

x_0 – початкове значення координати i функції, що апроксимує ізотерми;

$n = n_0$ – параметр, який піддається пошуку під час наближення поверхні для інтерполяції температур у вузлових точках.

3. У кожній контрольній точці визначається x_0 шляхом розв'язку виразу (3) як рівняння за відомих значень i, j . За отриманим значенням x_0 визначається температура у контрольній точці за виразом (1).

4. Варіюючи параметр n визначається таке його значення, за якого вираз (2) досягає мінімуму. Алгоритм пошуку мінімуму заснований на методі Ньютона.

5. Застосовуючи описаний алгоритм, визначається значення температур у вузлових точках перерізу в кожній контрольній момент часу випробування.

6. У кожній зоні визначається середня температура за чотирма вузловими точками.

7. Температури в арматурних стрижнях, де не відбувалося вимірювання, визначаються за алгоритмом як і для будь-якої вузлової точки перерізу.

Задача міцності визначається з огляду на значення максимального прогину плити, що визначається за формулою:

$$D = \frac{L^2}{400 \cdot b} \quad (4)$$

За значенням максимального прогину визначається максимальна кривизна згідно з формулою:

$$\chi = \frac{48D}{5L^2} = 24 \cdot 10^{-3} b^{-1} \quad (5)$$

За відомими найбільшою кривизною середніми значеннями температури кожної зони і температури арматурних стрижнів, а також координатами зазначеної зони і центра перерізу арматурного стрижня визначаються середні напруження кожної із зон та арматурних стрижнів за відповідними діаграмами «напруження-деформація». Діаграми деформування бетону залежно від температури нагріву наведені на рис. 3 і будуються за формулами:

$$\text{у разі } 0 < \varepsilon_b \leq \varepsilon_{cl,T}, \sigma_b(\varepsilon_b) = \frac{3\varepsilon_b R_{b,T}}{\varepsilon_{cl,T} \left(2 + \left(\frac{\varepsilon_b}{\varepsilon_{cl,T}} \right)^3 \right)}, \quad (6)$$

$$\text{у разі } \varepsilon_{cl,T} < \varepsilon_b < \varepsilon_{cu1,T}, \sigma_b(\varepsilon_b) = R_{b,T} - \frac{R_{b,T}(\varepsilon_b - \varepsilon_{cl,T})}{\varepsilon_{b2} - \varepsilon_{cl,T}},$$

де ε_b – відносна деформація бетону;

$R_{b,T}$ – розрахунковий опір бетону на стискання, залежний від температури нагріву бетону;

$\varepsilon_{cl,T}$ – гранична відносна деформація зростаючої гілки діаграми (рис. 3);

$\varepsilon_{cu1,T}$ – найбільша відносна деформація діаграми (рис. 3).

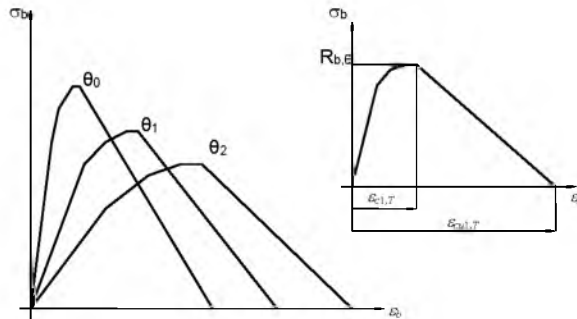


Рисунок 3 – Механічні властивості бетону у разі високих температур

Діаграми деформування арматурної сталі залежно від температури нагріву наведені на рис. 4 і будуються за формулами:

у разі $0 < \varepsilon_s < \varepsilon_{sp}$

у разі $\varepsilon_{sp} < \varepsilon_s \leq \varepsilon_{sy}$

у разі $\varepsilon_{sy} \leq \varepsilon_s \leq \varepsilon_{st}$

у разі $\varepsilon_{st} \leq \varepsilon_s \leq \varepsilon_{su2}$

у разі $\varepsilon_{su2} < \varepsilon_s$

$$\begin{aligned} \varepsilon_s &= E_{s,T} \varepsilon_s \\ \varepsilon_s &= R_{sp,T} - k + (p/q)[q^2 - (\varepsilon_{sy} - \varepsilon_s)^2]^{0,5}, \\ \varepsilon_s &= R_{s,T}, \\ \varepsilon_s &= R_{s,T} [1 - (\varepsilon_s - \varepsilon_{st}) / (\varepsilon_{s0} - \varepsilon_{st})], \\ \varepsilon_s &= 0, \end{aligned} \quad (7)$$

де q, p, k – деякі параметри, які визначаються за формулами:

$$\begin{aligned} q^2 &= (\varepsilon_{sy} - \varepsilon_{sp})(\varepsilon_{sy} - \varepsilon_{sp} + k/E_{s,T}), p^2 = k(\varepsilon_{sy} - \varepsilon_{sp})E_{s,T} + k^2 \\ k &= \frac{(R_{s,T} - R_{sp,T})^2}{(\varepsilon_{sy} - \varepsilon_{sp})E_{s,T} - 2(R_{s,T} - R_{sp,T})} \end{aligned} \quad (8)$$

У формули (7), (8) входять такі параметри:

$\varepsilon_{sp} = R_{sp,T}/E_{s,T}$ – деформація, за якої настає межа пропорційності;

$\varepsilon_{sy} = 0,02$ – деформація, за якої настає межа текучості;

$\varepsilon_{st} = 0,15$ – деформація, за якої починається спадна гілка діаграми;

$\varepsilon_{su2} = 0,2$ – найбільша деформація;

$R_{sp,T}$ – межа пропорційності сталі, $R_{s,T}$ – межа міцності сталі;

$E_{s,T}$ – модуль пружності сталі, залежний від температури нагріву.

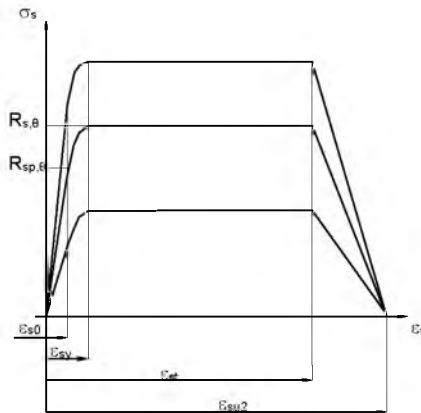


Рисунок 4 – Механічні властивості арматурної сталі у разі високих температур

За відомими напруженнями кожної із зон перерізу плити та арматурних стрижнів визначається момент, за якого досягається критична кривизна плити з використанням формули:

$$M_{\text{lim},fi} = \sum_{i=1}^z \sigma_{s_i}(\theta, \varepsilon_{s_i}) A_{s_i} \cdot \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sigma_{b_{i,j}}(\theta, \varepsilon_{b_{i,j}}) A_{b_{i,j}} d_{b_{i,j}} + \sum_{i=1}^l \sigma_{sd_i}(\theta, \varepsilon_{sd_i}) A_{sd_i} d_{sd_i}}{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sigma_{b_{i,j}}(\theta, \varepsilon_{b_{i,j}}) A_{b_{i,j}} + \sum_{i=1}^l \sigma_{sd_i}(\theta, \varepsilon_{sd_i}) A_{sd_i}}, \quad (9)$$

де $\sigma_{b_{i,j}}(\theta, \varepsilon_{b_{i,j}})$ – напруження у бетоні, які визначаються за формулами (6), для середнього значення температури поточної зони бетону у перерізі; $\sigma_{s_i}(\theta, \varepsilon_{s_i})$, $\sigma_{sd_i}(\theta, \varepsilon_{sd_i})$ – напруження у робочій та додатковій арматурі, які визначаються за формулами (7), (8); $d_{b_{i,j}}$, d_{sd_i} – відстані відповідно від центрів зон бетону перерізу, осей додаткових арматурних стрижнів до осі, що проходить через центри робочої арматури, причому для стрижнів нижче горизонтальної центральної вісі відстань має від'ємне значення. Деформації: $\varepsilon_{b_{i,j}} = x_{b_{i,j}}/\chi$, де $x_{b_{i,j}}$ – відстань центра зони до горизонтальної центральної вісі перерізу; $\varepsilon_{sd_i} = x_{sd_{i,j}}/\chi$, де $x_{sd_{i,j}}$ – відстань осі додаткового арматурного стрижня до горизонтальної центральної вісі перерізу; $\varepsilon_{s_i} = x_{s_{i,j}}/\chi$, де $x_{s_{i,j}}$ – відстань осі робочого арматурного стрижня до горизонтальної центральної вісі перерізу; $A_{b_{i,j}}$ – площа зон, на які розбитий переріз плити, A_{sd_i} , A_{s_i} – площі поперечних перерізів стрижнів робочої та додаткової арматури.

За формулою (9) будується графік залежності внутрішнього моменту від кривизни балки. Під час побудови графіка фіксується момент з найбільшим значенням, який розглядається як максимальний момент, що здатна витримувати плита у зазначений контрольний момент часу випробування.

За отриманими значеннями будується графік залежності максимального моменту від часу випробування. Порівнюючи поточне значення максимального моменту випробуваної плити із діючим моментом, що визначається за формулою, визначається настання граничного стану втрати несучої здатності:

$$M_{0d} = Q_{0d} L^2 / 8, \quad (10)$$

Для проведення розрахунку щодо оцінки межі вогнестійкості залізобетонних плит за результатами нагрівання у спеціальній малогабаритній вогневій печі необхідні такі дані: показники термопар у кожену хвилину випробувань згідно зі схемою на рис. 2; клас міцності

бетону та арматури; тип крупного заповнювача бетону; діаметри арматури, а також кількість та розташування стрижнів. Далі заносяться дані щодо геометричних розмірів перерізу плити і захисний шар бетону, розрахункова довжина плити та розрахункове розподілене навантаження (рис. 1).

Результати дослідження. Розглянемо конкретний приклад залізобетонної плити. На рис. 5 наведено вигляд перерізу плити та схема його армування відповідно до запропонованих у методиці.

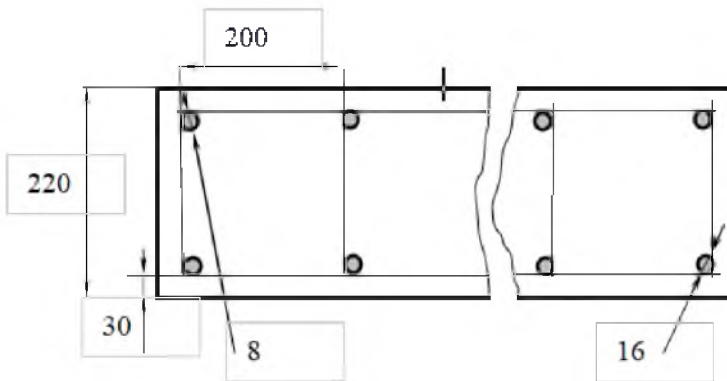


Рисунок 5 – Параметри армування плити у перерізі.

Таблиця 1 – Основні параметри залізобетонної плити

Параметр	Позначення	Значення	Одиниця виміру
Геометричні розміри			
• довжина	b	6	м
• товщина захисного шару	w	0,03	
• товщина	z	0,22	
Тип бетону	Важкий на гранітному заповнювачі	Клас С 30/35 (В30)	
Густина бетону	ρ_B	2230	кг/м ³
Робоча арматура:		Клас А240С	м
• діаметр більший	d_1	0,016	
• діаметр менший	d_2	0,008	
• крок	s	0,2	

Після інтерполяції були отримані розподіли температур, що наведено на рис. 6.

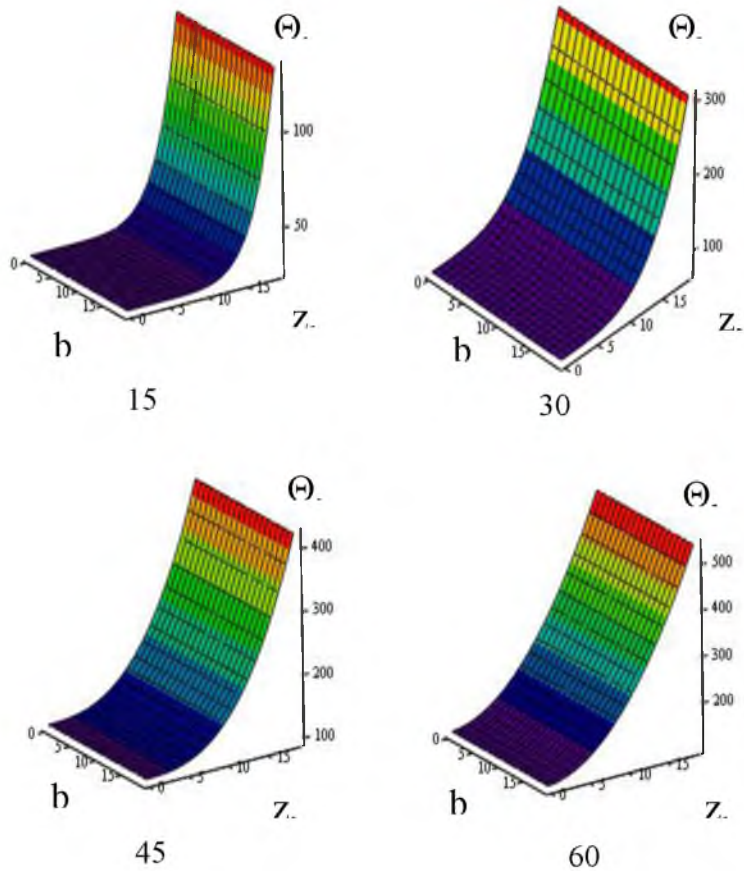


Рисунок 6 – Результати проведення інтерполяції температур за значеннями температур у контрольних точках перерізу

Унаслідок проведеного розрахунку було визначено, що межа вогнестійкості за 60 хв не настає, а ресурс несучої здатності складає 3 %. На рис. 7 наведено графік зниження несучої спроможності плити із запропонованими характеристиками.

На рис. 7 показані отримані результати. Зазначені плити відповідали характеристикам досліджуваного зразка та температурам прогрівання її шарів під час експерименту. Додатково вводились дані щодо довжини плити та розподіленого навантаження, що спроектовано для роботи конструкції в будівлі. Таким чином, змінивши їх, можливо визначити межу вогнестійкості для стін інших габаритів та з іншим робочим навантаженням. На рис. 8 продемонстровано зниження міцності плити висотою 6 м з розподіленим навантаженням 350 т/м^2 .

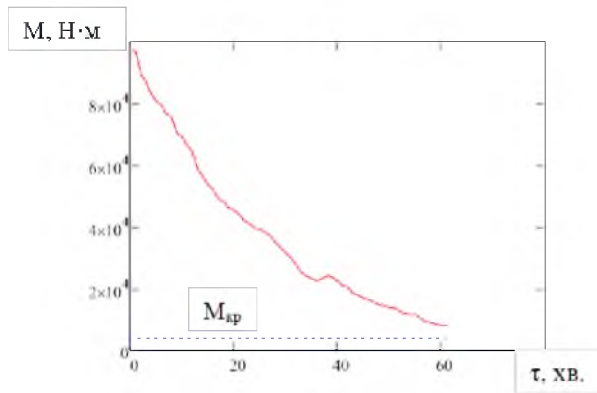


Рисунок 7 – Графік зниження несучої спроможності плити з розподіленим навантаженням $3,5 \text{ т/м}^2$ відповідно до результатів експериментального визначення температури у контрольних точках елементу конструкції

Оскільки межі вогнестійкості досягнуто не було, здійснено інтерполяцію температур прогрівання плити у ключових точках. В оригінальному методі час випробування можливо збільшити, але для проведення порівняння з даними інших досліджень виконано зазначені розрахунки. Далі розраховано межу вогнестійкості плити аналогічних параметрів (рис. 7).

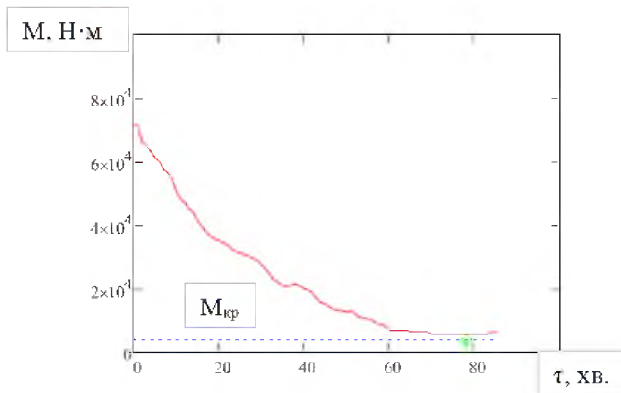


Рисунок 8 – Графік зниження несучої спроможності плити з розподіленим навантаженням $3,5 \text{ т/м}^2$ до моменту настання граничного стану втрати несучої здатності

Відповідно до отриманих результатів (рис. 8), межа вогнестійкості плити із заданими характеристиками настає на 78 хвилині.

Висновки. У цій роботі розкрито методику оцінки межі вогнестійкості залізобетонної плити за результатами вогневих випробувань без механічного навантаження та врахування його на етапі розрахунку, отримано конкретні результати.

За результатами цієї роботи встановлено таке:

1. Розроблено та охарактеризовано алгоритм оцінки межі вогнестійкості залізобетонної плити за результатами вогневих випробувань без механічного навантаження, що лягає в основу загальної методики. Він складається з інтерполяції температурних розподілів та подальшого розрахунку з визначення межі вогнестійкості за сумісної дії температурних та силових навантажень на плиту реальних розмірів. Враховуються схема та вид армування, а також особливості зміни міцності матеріалів під час нагрівання.

2. Розроблено та обгрунтовано методику інтерпретації температурних показників прогріву залізобетонної плити, нагрівання фрагментів якої здійснювалось у малогабаритній печі за стандартним температурним режимом пожежі, що дало змогу практично оцінити межу її вогнестійкості, і це може слугувати частиною експериментально-розрахункового методу оцінки вогнестійкості.

3. Описано схему розташування контрольних точок, де визначатимуться температури, яких необхідно і достатньо для проведення інтерполяції даних, наведено схему їхнього розташування у графічному вигляді.

Визначено температурні розподілення у перерізах залізобетонних плит. Їх розміри та характеристики відповідали характеристикам досліджуваного зразка та температурам прогрівання її шарів під час експерименту. Додатково вводились дані щодо довжини виробу та розподіленого навантаження, що спроектовано для роботи конструкції в будівлі. Таким чином, змінивши їх, можливо визначити межу вогнестійкості для колон інших габаритів та з іншим робочим навантаженням. Продемонстровано зниження міцності плити довжиною 6 м із розподіленим навантаженням 350 т/м². Оскільки межу вогнестійкості не досягнуто, виконано інтерполяцію температур прогрівання плити в ключових точках. У оригінальному методі час випробування можливо збільшити, але для порівняння з даними інших досліджень виконано ці розрахунки. Відповідно до отриманих результатів (рис. 8) межа вогнестійкості плити із заданими характеристиками настає на 78 хвилині.

Список використаних джерел

- EN 1363-1:1999. Fire resistance tests – Part 1: General requirements.
- ISO 834-1: 1999. Fire resistance tests –Elements of building construction – Part 1: General requirements.
- ISO/IEC 17025:2005. General requirements for the competence of testing and calibration laboratories.
- Schmid, J., Klippel, M., Just, A., & Frangi, A. (2014). Review and analysis of fire resistance tests of timber members in bending, tension and compression with respect to the Reduced Cross-Section Method. *Fire safety journal*, 68, 81–99. doi.org/10.1016/j.firesaf.2014.05.006.
- Перегін, А., Нуянзін, О. (2021). Етапи створення прототипу вогневої установки для визначення температурних розподілів малогабаритних фрагментів залізобетонних конструкцій. *Надзвичайні ситуації: попередження та ліквідація*: збірник наукових праць Черкаського інституту пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля Національного університету цивільного захисту України, 5(2), 75–82.
- Веселівський, Р. Б., Половко, А. П., Василенко, О. О. (2013). Експериментальне дослідження вогнестійкості огорожувальних конструкцій з фібролітовими плитами. *Пожежна безпека*, 23, 33–38.
- Піч для теплофізичних випробувань малогабаритних фрагментів будівельних конструкцій та окремих вузлів їх стикових з'єднань. Пат. 17160 Україна, МПК(2006) F23M5/00. / Б. Г. Демчина, В. С. Фіцик, А. П. Половко, А. Б. Пелех // заявл. 20.03.2006р., опубл. 15.09.2006. – Бюл. № 9.
- Nuianzin, O., Kryshal, D., Zemlianskiy, O., Nesterenko, A., & Samchenko, T. (2020, May). Study of the Heat and Mass Transfer in Special Furnaces During Fire Resistance Tests of Building Construction. In International Scientific Conference on *Woods & Fire Safety*, Springer, Cham.
- Nuianzin, O., Tyshchenko, O., Zhartovskyi, S., Zaika, P., & Peregin, A. (2019, December). The research of carrying capacity of reinforced concrete walls under uneven warming. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 708(1), p. 012063. IOP Publishing.
- Nuianzin, O. et al. (2023). Increasing the Efficiency and Environmental Friendliness of Fire Resistance Assessment Tools for Load-Bearing Reinforced Concrete Building Structures. *Ecol. Eng.*, 4, 138–146.
- ДСТУ-Н В 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).

References

- EN 1363-1:1999. Fire resistance tests – Part 1: General requirements [in English].
- ISO 834-1: 1999. Fire resistance tests –Elements of building construction – Part 1: General requirements [in English].
- ISO/IEC 17025:2005. General requirements for the competence of testing and calibration laboratories [in English].
- Schmid, J., Klippel, M., Just, A., & Frangi, A. (2014). Review and analysis of fire resistance tests of timber members in bending, tension and compression with respect to the Reduced Cross-Section Method. *Fire safety journal*, 68, 81–99. doi.org/10.1016/j.firesaf.2014.05.006 [in English].
- Perehin, A. V., Nuianzin, O. M. (2021). Etapy stvorennya prototypu vohnevoyi ustanovky dlya vyznachennya temperaturnykh rozpodiliv malohabarytnykh frahmentiv

zalizobetonnykh konstruktsiy [Stages of prototype creation of a fire installation for determining temperature distributions of small-sized fragments of reinforced concrete structures]. *Nadzvychnyi sytuatsiyi: poperedzhennya ta likviduvannya: zb. nauk. prats'*, Cherkasy: CHIPB NUTSZ Ukrayiny, 5(2), 75–82. [in Ukrainian].

Veseliv's'kyy, R. B., Polovko, A. P., Vasylenko, O. O. Eksperymental'ne doslidzhennya vohnestiykosti ohorodzhuval'nykh konstruktsiy z fibrolitovymy plytamy [Experimental study of fire resistance of fencing structures with fibrolite plates]. *Pozhezhna bezpeka*, 2013, 23, 33–38. [in Ukrainian].

Pich dlya teplofizychnykh vyprobuvan malohabarytnykh frahmentiv budivelnnykh konstruktsiy ta okremykh vuzliv yikh stykovykh z'yednan [Furnace for thermophysical tests of small fragments of building structures and individual nodes of their butt joints]. Pat. 17160 Ukrayina, MPK (2006) F23M5/00. / B. H. Demchyna, V. S. Fitsyk, A. P. Polovko, A. B. Pelekh // zayavl. 20.03.2006r., opubl. 15.09.2006. Byul. № 9. [in Ukrainian].

Nuianzin, O., Kryshchal, D., Zemlianskyi, O., Nesterenko, A., & Samchenko, T. (2020, May). Study of the Heat and Mass Transfer in Special Furnaces During Fire Resistance Tests of Building Construction. In International Scientific Conference on *Woods & Fire Safety*, Springer, Cham [in English].

Nuianzin, O., Tyshchenko, O., Zhartovskyi, S., Zaika, P., & Peregin, A. (2019, December). The research of carrying capacity of reinforced concrete walls under uneven warming. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 708(1), p. 012063. IOP Publishing [in English].

Nuianzin, O. et al. (2023). Increasing the Efficiency and Environmental Friendliness of Fire Resistance Assessment Tools for Load-Bearing Reinforced Concrete Building Structures. *Ecol. Eng.*, 4, 138–146. [in English].

ДСТУ-Н Б 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) [in Ukrainian].

CALCULATED ASSESSMENT OF THE FIRE RESISTANCE LIMIT OF A REINFORCED CONCRETE SLAB ACCORDING TO THE RESULTS OF FIRE TESTS WITHOUT MECHANICAL LOAD

Nuianzin Oleksandr, Borysova Anna

Abstract. This study presents a methodology for assessing the fire resistance limit of reinforced concrete slabs based on the results of fire tests conducted without mechanical loading and considering these results during the calculation phase. An algorithm for evaluating the fire resistance limit of reinforced concrete slabs has been developed and characterized, utilizing the results of fire tests conducted without mechanical loading, which forms the basis of the overall methodology. The algorithm involves interpolating temperature distributions and subsequently calculating the fire resistance limit while considering the simultaneous effect of temperature and applied loads on the actual size of the slab. The scheme and type of reinforcement, as well as the material strength variations under heating, are taken into account. Additionally, an interpretation methodology for temperature indicators during the heating of the reinforced concrete slab has been developed and justified. The slab was heated in a small-scale furnace according to the standard temperature fire regime, enabling a practical determination of its fire resistance limit and potentially serving as part of an experimental and computational approach to assessing fire resistance. The positioning scheme of control points, where temperature measurements necessary for data interpolation are conducted, is described. The graphical representation of their arrangement

is provided. Temperature distributions across the cross-sections of the reinforced concrete slabs have been determined. The dimensions and characteristics of these slabs corresponded to those of the investigated sample and the temperatures applied during the experiment. Furthermore, data regarding the length of the specimen and the distributed load designed for the structure in the building were considered. Thus, by modifying these parameters, it is possible to determine the fire resistance limit for slabs of different dimensions and with varying working loads. Experimental evidence demonstrates that increasing the working load on the reinforced concrete slab results in a decrease in its fire resistance limit.

Key words: fire resistance limits, calculation, reinforced concrete slab, temperature, load, methodology, algorithm.