

Оцінка вогнестійкості залізобетонних колон уточненими розрахунковими методами

Євген Дмитренко¹, Тарас Донець², Катерина Одноліток³, Олег Фесенко⁴

^{1,3} Національний університет біоресурсів і природокористування України
15, вул. Героїв Оборони, Київ, Україна, 03041

^{2,4} Державне підприємство «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій»
5/2, вул. Преображенська, Київ, Україна, 03037

¹zdmitrenko26@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0001-9737-943X>

²donets@ndibk.gov.ua, <http://orcid.org/0000-0002-2203-5824>

³kateooo014@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0001-9302-5749>

⁴fesenko@ndibk.gov.ua, <http://orcid.org/0000-0001-8154-2239>

DOI: 10.32347/2522-4182.8.2021.82-96

Анотація. Стаття містить результати розрахунку на вогнестійкість залізобетонних колон уточненими методами.

Для колон, які випробовують без навантаження, визначають розподілення значень температури по перерізу та в арматурі. Вогнестійкість колон, які були випробувані без навантаження, визначають за даними вимірювань температури, розрахунковими методами, що відповідають вимогам ДБН В.1.1-7 і ДБН В.1.2-7.

Відповідно до основних положень табличного методу вогнестійкість залізобетонних колон визначається залежно від геометричних параметрів (розміри перерізу, відстань до осі арматури, коефіцієнт армування, довжина або висота елемента), рівня навантаження під час пожежі, умов нагрівання під час пожежі (кількість обігріваних сторін).

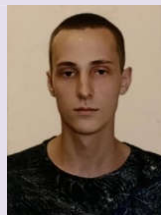
Аварійне розрахункове сполучення навантажень під час пожежі складається із характерних значень постійних та змінних тривалих навантажень, із урахуванням коефіцієнта надійності за відповідальністю γ_n для класу наслідків (відповідальності) об'єкта (СС2) і типу розрахункової ситуації (аварійна).

Теплофізичний розрахунок колони було виконано за умов, що моделюють вогневий вплив пожежі, яка розвивається за стандартним температурним режимом. За таких умов прийнято, що колона зазнає вогневого впливу з чотирьох сторін протягом 120 хв, що відповідає нормованому класу вогнестійкості R 120.

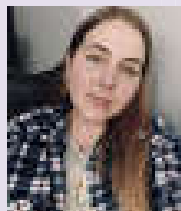
Тепловий стан колони було визначено із



Євген Дмитренко
старший викладач
Кафедри будівництва,
к.т.н.



Тарас Донець
інженер 3-ї категорії
сектору вогнестійкості
будівельних конструкцій



Катерина Одноліток
магістерка 2-року навчання



Олег Фесенко
завідувач сектору вогнестійкості
будівельних конструкцій,
к.т.н.

застосуванням нестационарних моделей, що враховують радіаційно-конвективний теплообмін у газовому середовищі від джерела теплового впливу до поверхні конструкцій, конвективний теплообмін у конструкції, радіаційно-конвективний теплообмін від конструкції у

навколишнє середовище. Залишкову несучу здатність залізобетонної колони після вогневого впливу пожежі було обчислено для її приведеного перерізу, який визначено за допомогою зонального методу згідно з положеннями ДСТУ-Н Б В.2.6-197 і ДСТУ-Н Б EN 1992-1-2.

Межу вогнестійкості колон за ознакою втрати несучої здатності було визначено на підставі аналізу результатів теплофізичного і статичного розрахунку.

Ключові слова: вогнестійкість; колона; теплофізичний розрахунок; статичний розрахунок.

ВСТУП

Згідно з ДСТУ Б В.1.1-14 [1] для колон нормованим граничним станом з вогнестійкості є граничний стан за ознакою втрати несучої здатності (R).

Визначення межі вогнестійкості колон за ознакою втрати несучої здатності шляхом випробування часто є ускладненим через технічну неможливість прикладення навантаження.

Для колон, які випробовують без навантаження, необхідно отримати розподілення значень температури по перерізу та в арматурі. Вогнестійкість колон, які були випробувані без навантаження, визначають за даними вимірювань температури, розрахунковими методами, що відповідають вимогам ДБН В.1.1-7 і ДБН В.1.2-7 [2, 3].

У разі застосування методів розрахунку на вогнестійкість необхідно забезпечити належну точність і достовірність їх результатів [4-13].

У сучасних програмних комплексах на основі методу скінчених елементів, таких як Ansys Mechanical [14], ЛІРА-САПР [15], SCAD Office, Robot Structure та ін., реалізовані розрахункові методи оцінки вогнестійкості будівельних конструкцій.

Застосування програмних комплексів для оцінки вогнестійкості було розглянуто на прикладі розрахунку залізобетонних колон громадської будівлі.

Будівля шестиповерхова, прямокутна в плані розмірами в осях 16,75x32,66 м. Конструктивна схема будівлі – монолітний каркас із ядрами жорсткості у вигляді стін сходової клітки, та ліфтових шахт. Поздовжній крок колон 6,35, 6,0 та 7,0 м. Поперечний – 8,0 м та 6,15. Колони прямокутного і квадратного перерізу розмірами 400x600 мм та 400x400 мм.

Клас наслідків (відповідальності) будівлі – СС2 за ДБН В.1.2-14:2018 [16]. Ступінь вогнестійкості будівлі – II.

Розрахункова схема будівлі була розроблена у ПК ЛІРА-САПР. Апроксимація конструкцій будівлі була виконана стрижневими і пластинчастими скінченими елементами, див. рис. 1.

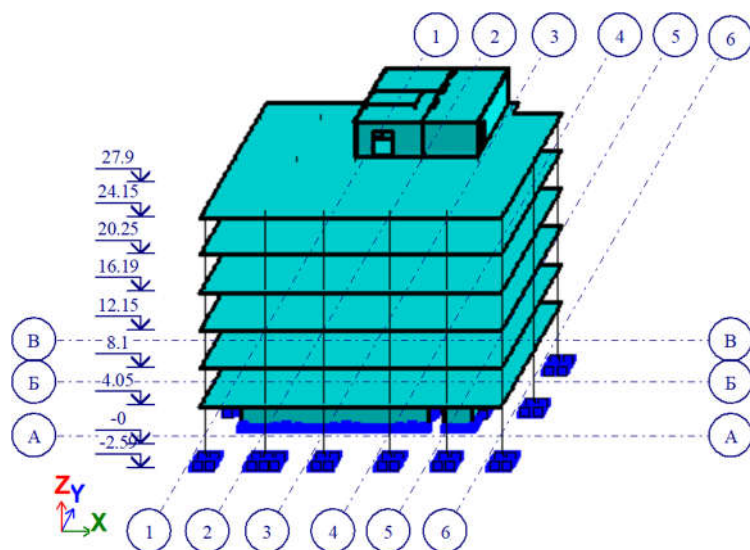


Рис. 1. Розрахункова схема будівлі
Fig. 1. Design scheme of the building

МЕТА І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Метою дослідження є визначення межі вогнестійкості залізобетонних колон чисельними методами розрахунку.

Предметом дослідження є вогнестійкість залізобетонних колон за ознакою втрати несучої здатності (R).

Об'єктом дослідження є вогнестійкість позацентрово-стиснутих залізобетонних конструкцій.

Під час дослідження було вирішено такі задачі:

1) Аналіз розрахункових методів оцінки вогнестійкості будівельних конструкцій;

2) Встановлення нормативних вимог щодо вогнестійкості колон;

3) Визначення розподілу температури в перерізі залізобетонної колони внаслідок вогневого впливу за стандартним температурним режимом пожежі (теплофізичний розрахунок вогнестійкості);

4) Визначення залишкової несучої залізобетонної колони, що зазнала вогневого впливу за стандартним температурним режимом пожежі (статичний розрахунок вогнестійкості).

Розрахунок залізобетонних конструкцій на вогнестійкість виконують такими методами за ДСТУ-Н Б EN 1992-1-2 [17]:

- табличні дані;
- спрощені методи розрахунку;
- уточнені методи розрахунку.

ОЦІНКА ВОГНЕСТІЙКОСТІ КОЛОН ЗА ТАБЛИЧНИМИ ДАНИМИ

Відповідно до основних положень табличного методу вогнестійкість залізобетонних колон визначається залежно від геометричних параметрів (розміри перерізу, відстань до осі арматури, коефіцієнт армування, довжина або висота елемента), рівня навантаження під час пожежі, умов нагрівання під час пожежі (кількість обігріваних сторін).

Мінімальні значення розмірів поперечного перерізу та відстані до осі арматури колон, що необхідні для забезпечення їх нормованого класу вогнестійкості, наведені в таблиці 1 відповідно до вимог ДСТУ-Н Б В.2.6-197 [18].

Мінімальні значення ширини колони b_{min} та відстані до осі поздовжньої арматури a , що наведені в таблиці 1, чинні, зокрема, за таких умов:

- коефіцієнт зниження розрахункового рівня навантаження у разі пожежі – $\eta_{fi} \leq 0,7$;
- довжина колони – $l_{o,fi} = 0,5l \leq 4$ м;
- ступінь армування – $A_s / A_c < 0,04$.

Табл. 1 Мінімальні розміри та відстань до осі арматури колон
Table 1. Minimum column dimensions and axis distances for columns

Нормований клас вогнестійкості	Мінімальні розміри, мм		
	Ширина колони/ відстань до осі робочої арматури, b_{min}/a		
	$\mu_{fi}=0,2$	$\mu_{fi}=0,5$	$\mu_{fi}=0,7$
1	2	3	4
R 120	250/40 350/35	350/45** 450/40**	350/57** 450/51**

** – мінімум 8 стрижнів

Для оцінки вогнестійкості табличним методом визначальним критерієм є коефіцієнт використання колон під час пожежі μ_{fi} :

$$\mu_{fi} = N_{Ed,fi} / N_{Rd}, \quad (1)$$

де

$N_{Ed,fi}$ – розрахункове навантаження (зусилля) під час пожежі, кН;
 N_{Rd} – несуча здатність колони за нормальної температури, кН.

Зусилля в колонах від розрахункового сполучення навантажень у разі пожежі, $N_{Ed,fi}$, були визначені за результатами ста-

тичного розрахунку будівлі у програмному комплексі Лира-САПР 2020.

Аварійне розрахункове сполучення навантажень під час пожежі складалося із характеристичних значень постійних та змінних тривалих навантажень, із урахуванням коефіцієнта надійності за відповідальністю $\gamma_n=0,975$ для класу наслідків (відповідальності) об'єкта (СС2) і типу розрахункової ситуації (аварійна). Схеми розподілу зусиль N (кН) в елементах колон будівлі від основного та аварійного

розрахункового сполучення навантажень наведені на рис. 2.

На підставі аналізу розрахункових зусиль в елементах колон будівлі було встановлено їх максимальні значення:

- для основного РСН – $N_{Ed}=4298,5$ кН (рис. 2а);
- для аварійного РСН – $N_{Ed,fi}=3132,0$ кН (рис. 2б).

Значення характеристик колон, що необхідні для розрахунку на вогнестійкість, наведені в таблиці 2.

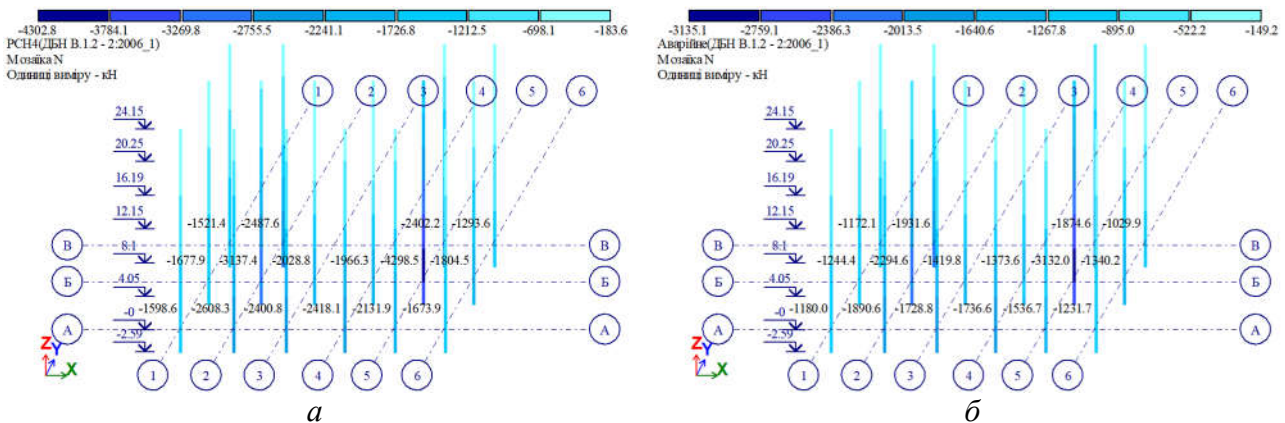


Рис.2. Зусилля N (кН) в елементах колон:
 а - основне розрахункове сполучення навантажень (РСН);
 б - аварійне розрахункове сполучення навантажень

Fig. 2. Internal forces N (kN) of column elements:
 а - the main design load combination;
 б - an accidental design load combination

Табл. 2 Характеристики колони для оцінки вогнестійкості
Table 2. Column characteristics for the fire resistance assessment

Позначення колони	Розміри перерізу, мм	Висота, мм	Клас бетону	Армування		Відстань до осі арматури, мм	Вогневий вплив, сторін
				Поздовжнє	Поперечне		
1	2	3	4	5	6	7	8
Км-2.1	400x600	3800	C25/30	6Ø20+6Ø16 A500C	Ø10 A240C	45	4

Розрахунок несучої здатності залізобетонних колон за нормальної температури, N_{Rd} , було виконано деформаційним методом відповідно до вимог ДБН В.2.6-98 [19] і ДСТУ Б В.2.6-156 [20], а також згідно з

рекомендаціями посібника до ДБН [21]. Напружено-деформований стан поперечного перерізу колон при позacentровому стиску було визначено для першої форми рівноваги перерізу за ДСТУ Б В.2.6-156 [20]:

$$\frac{bf_{cd}}{\chi} \sum_{k=1}^s \frac{a_k}{k+1} \left(\frac{\varepsilon_{c(1)}^{k+1} - \varepsilon_{c(2)}^{k+1}}{\varepsilon_{c1}^{k+1}} \right) + \sum_{i=1}^n \sigma_{si} A_{si} - N = 0 \quad (2)$$

$$\frac{bf_{cd}}{\chi^2} \sum_{k=1}^5 \frac{a_k}{k+2} \left(\frac{\varepsilon_{c(1)}^{k+2} - \varepsilon_{c(2)}^{k+2}}{\varepsilon_{c1}^{k+2}} \right) + \sum_{i=1}^n \sigma_{si} A_{si} (x_1 - z_{si}) - M = 0 \quad (3)$$

За результатами розв'язання системи рівнянь (2) і (3) було побудовано діаграму «поздовжнє зусилля-деформація стиснутої грані» для поперечного перерізу залізобетонних колон. Найбільше значення нормальної сили на графіку відповідає несучій

здатності колони і становить $N_{Rd,1}=5445,8$ кН, див. рис. 3.

Коефіцієнт використання під час пожежі для колони становить:

$$\mu_{fi} = N_{Ed,fi} / N_{Rd} = 3132,0 / 5445,8 = 0,575.$$

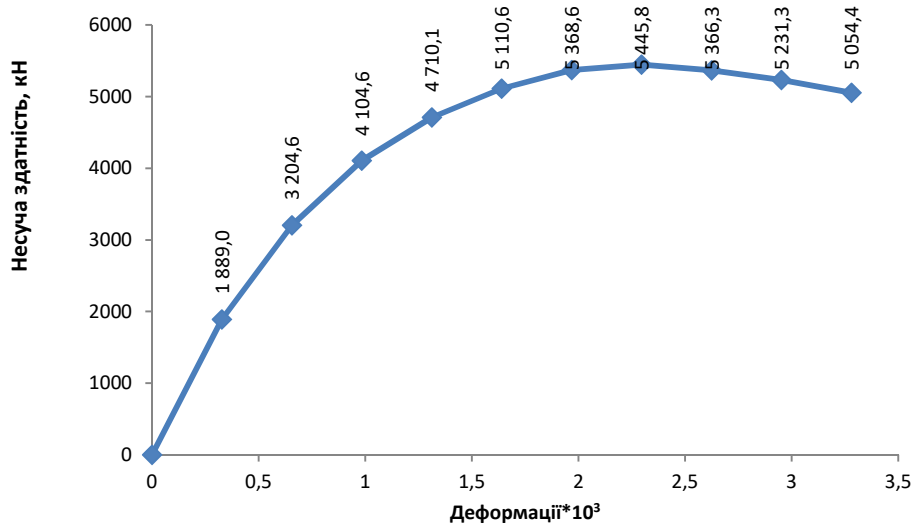


Рис. 3. Діаграма «стискальна сила-деформація» колони за нормальних температур

Fig. 3. Compressive force-strain relationship of column at normal temperature

Коефіцієнт зниження η_{fi} розрахункового рівня навантаження у разі пожежі для колони становить:

$$\eta_{fi} = E_{d,fi} / E_d = 3132,0 / 4298,5 = 0,73 > 0,7.$$

Довжина колони під час пожежі –

$$l_{o,fi} = 0,5l = 0,5 \cdot 4,05 = 2,025 < 4 \text{ м.}$$

Ступінь армування колони –

$$A_s / A_c = (1407 + 2199) / (400 \cdot 600) = 0,015 < 0,04.$$

Результати оцінки вогнестійкості колони зведено до таблиці 3.

Табл. 3. Результати оцінки вогнестійкості колони

Table 3. Results for fire resistance assessment

Колона	Довжина колони, м	Рівень навантаження η_{fi}	Ступінь армування	Коефіцієнт використання μ_{fi}	Ширина перерізу, мм	Відстань до осі, мм
1	2	3	4	5	6	7
КМ-2.1	2,025	0,73	0,015	0,575	400	45

За результатами аналізу табличних даних було встановлено, що значення Коефіцієнт зниження $\eta_{fi}=0,73$ розрахункового рівня навантаження у разі пожежі для колони перевищує допустиме значення 0,7.

Це не відповідає умовам застосування табличних даних для оцінки вогнестійкості колон.

Далі було виконано теплофізичний і статичний розрахунок колон на вогнестійкість.

РЕЗУЛЬТАТИ ТЕПЛОФІЗИЧНОГО РОЗРАХУНКУ

Теплофізичний розрахунок колони було виконано за умов, що моделюють вогневий вплив пожежі, яка розвивається за стандартним температурним режимом. За таких умов прийнято, що колона зазнає вогневого впливу з чотирьох сторін протягом 120 хв, що відповідає нормованому класу вогнестійкості R 120.

Тепловий стан колони було визначено із застосуванням нестационарних моделей, що враховують радіаційно-конвективний теплообмін у газовому середовищі від джерела теплового впливу до поверхні конструкції, конвективний теплообмін у конструкції, радіаційно-конвективний теплообмін від конструкції у навколишнє середовище [2, 3].

Розрахунок розподілу температури у перерізах колони, що зазнає вогневого впливу пожежі, було виконано за допомогою програмних комплексів Ansys Mechanical 2021 і Ліра-САПР 2020.

Розрахунок за допомогою ПК Ліра-САПР 2020 R3 було виконано із застосу-

ванням двох підходів: експрес-аналіз в режимі підбору арматури та динамічний розрахунок теплопровідності.

Сітка скінченних елементів у перерізі колони була прийнята розмірами 20x20 мм, як така що показала найкращу збіжність результатів розрахунку.

Суттєвою відмінністю у розрахунках є те, що у Ansys Mechanical 2021 R1 Academic були використані нелінійні залежності теплофізичних характеристик від підвищених температур, натомість у Ліра-САПР 2020 R3 використано значення теплофізичних характеристик при температурі в бетоні 300 °С.

Аналіз результатів теплофізичного розрахунку колони було виконано на підставі отриманих ізополів розподілу температури в колоні, графіків зміни температури в перерізі колони і в арматурі, які наведено на рис. 4-10.

Порівняльний аналіз результатів теплофізичних розрахунків колони при 120 хв вогневого впливу за стандартним температурним режимом пожежі, що були виконані у різних програмних комплексах, виконуємо щодо значень результатів за Ansys Mechanical 2021 R1 Academic, див. таблицю 4 і рис. 11.

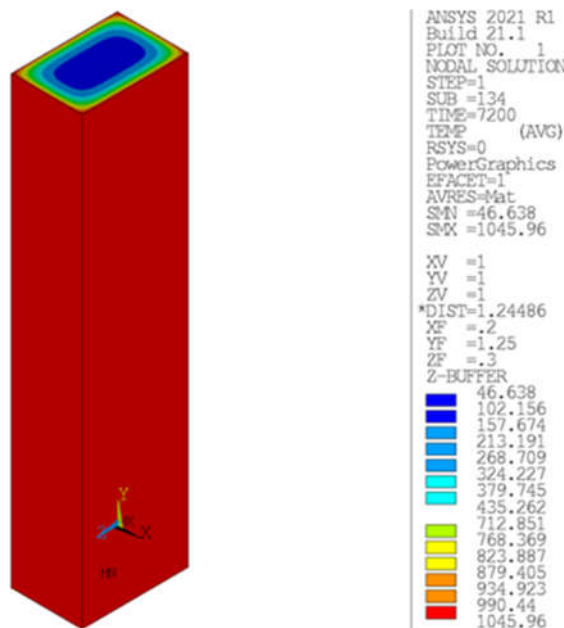


Рис. 4. Розподіл температури в колоні після 120 хв вогневого впливу пожежі (Ansys 2021)

Fig. 4. Thermal distribution in column after 120 min in fire exposure (Ansys 2021)

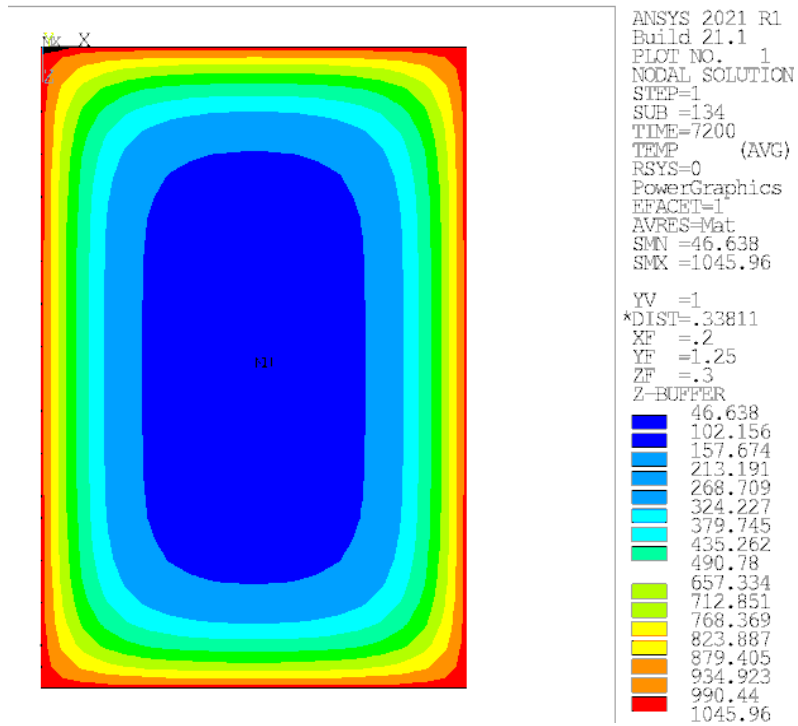


Рис. 5. Розподіл температури в перерізі колони після 120 хв вогневого впливу пожежі (Ansys)
Fig. 5. Cross-sectional temperature distribution in column after 120 min of fire exposure (Ansys)

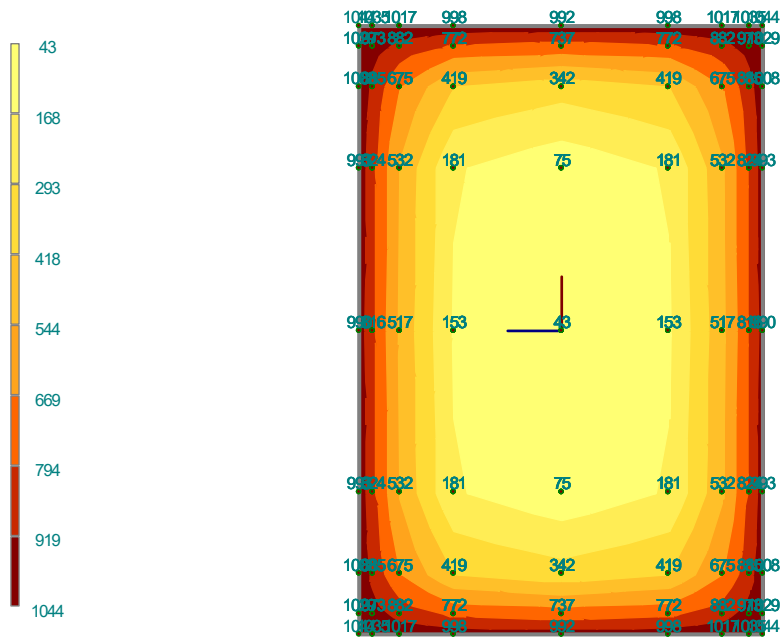


Рис. 6. Ізополя температури в перерізі колони (ПК Ліра-САПР 2020, експрес аналіз)
Fig. 6. Temperature isofields of column cross-section (SP LIRA-SAPR 2020, express analysis)

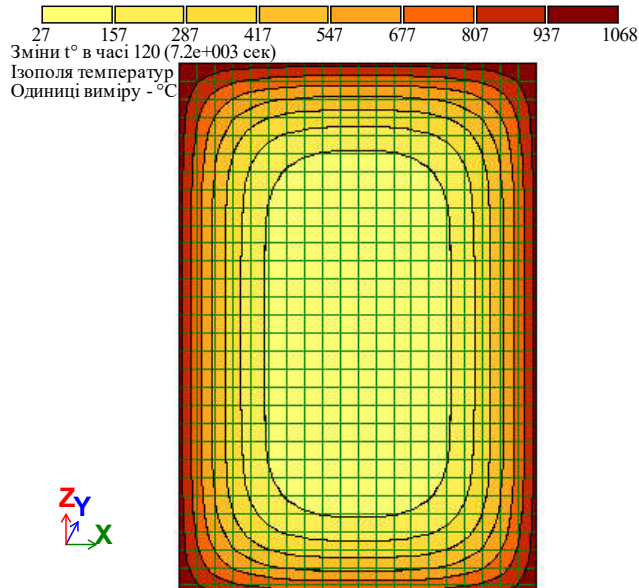


Рис. 7 Ізополя температури в перерізі колони (ПК Ліра-САПР, динамічний розрахунок)
Fig. 7. Thermal isofields for column cross-section (SP LIRA-SAPR, dynamic analysis)

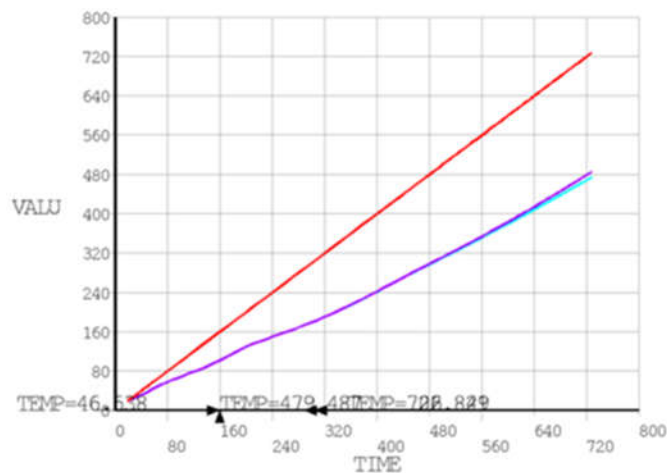


Рис. 8. Графіки зміни температури в арматурі колони (Ansys)
Fig. 8. The variation of column reinforcement temperature (Ansys)

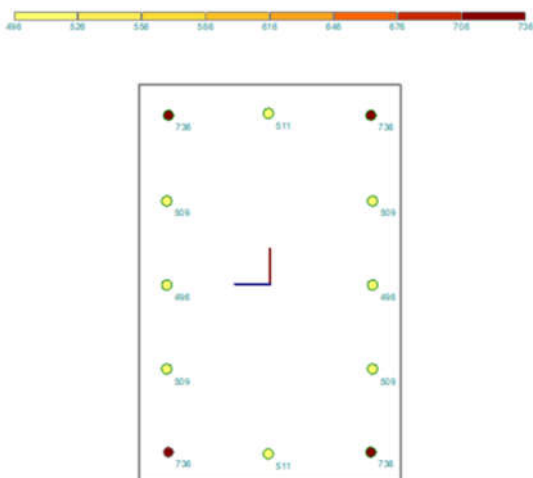


Рис. 9. Температура в арматурі колони (ПК Ліра-САПР 2020, експрес аналіз)

Fig. 9. Values of temperature in reinforcement of column (SP LIRA-SAPR 2020, express analysis)

Табл. 4. Результати теплофізичного розрахунку колони
Table 4. Comparison of thermal analysis results for RC column

Температура, °C	Значення параметру для різних програмних комплексів					
	Ansys Mechanical 2021 R1 Academic	Ліра-САПР 2020 R3				
		Експрес-аналіз	Похибка щодо Ansys, %	Динамічний розрахунок	Похибка щодо Ansys, %	Похибка щодо Ліра, %
1	2	3	4	5	6	7
Мінімальна в бетоні	46,6	43	7,7	27	42,1	37,2
Максимальна в бетоні	1046	1044	0,2	1068	-2,1	-2,3
Мінімальна в арматурі	474	496	-4,6	509	-7,4	-2,6
Максимальна в арматурі	726,8	736	-1,3	759	-4,4	-3,1

Найбільше відхилення значень температури зафіксована щодо мінімальної температури в ядрі перерізу колони і становить 37,2% та 42,1%. Однак, це значне відхилення не є суттєвим, оскільки значення температури не перевищують 100 °C і не спричи-

няють зниження міцності бетону колони. В цілому, сходиність результатів у різних програмних комплексах Ansys Mechanical 2021 R1 Academic і Ліра-САПР 2020 R3 є задовільною.

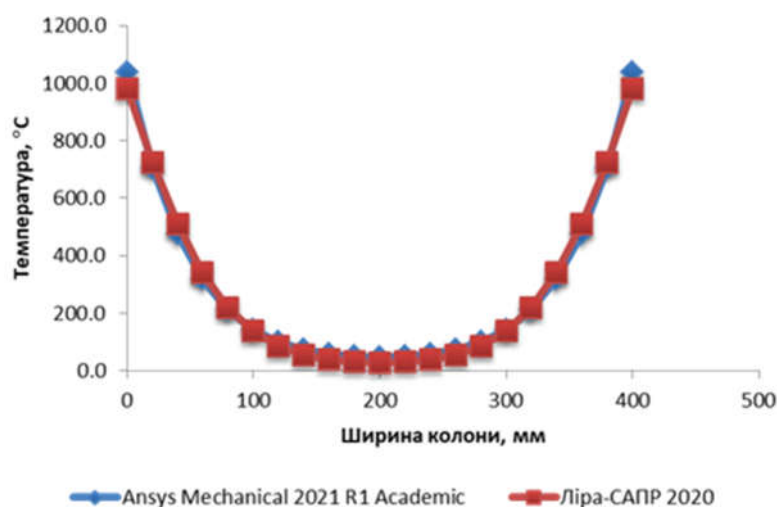


Рис. 10. Графіки розподілу температури по ширині перерізу колони

Fig. 10. Thermal distribution diagram for column cross-section

РЕЗУЛЬТАТИ СТАТИЧНОГО РОЗРАХУНКУ

Залишкову несучу здатність залізобетонної колони після вогневого впливу пожежі було обчислено для її приведеного перерізу, який визначено за допомогою зонального методу згідно з положеннями ДСТУ-Н Б В.2.6-197 [18] і ДСТУ-Н Б EN 1992-1-2 [17].

Зональний метод розрахунку на вогнестійкість передбачає розділення половини перерізу колони на $n \geq 3$ паралельних зон однакової товщини, для яких визначається середня температура θ_m і відповідна середня міцність бетону на стиск $f_{cd,(\theta)}$ [17, 18].

Пошкоджений внаслідок пожежі поперечний переріз колони було представлено приведеним (зменшеним) поперечним перерізом. Зменшення поперечного пере-

різу колони базується на визначенні товщини a_{z1} пошкодженої зони обігріваних поверхонь.

Ширину пошкодженої зони a_{z1} перерізу колони було визначено в такій послідовності:

а) половину перерізу колон розділено на $n=10$ паралельних зон однакової товщини;

б) значення середньої температури бетону $\theta_{c,(i)}$ для кожної зони перерізу колони було отримано за результатами теплофізичного розрахунку, див. рис. 11;

в) коефіцієнти зниження міцності бетону на стиск $k_c(\theta_i)$ для відповідної температури було визначено згідно з ДСТУ-Н Б В.2.6-197 [18] за допомогою графіка зниження характеристичної міцності бетону від температури, див. рис. 12.

Значення середньої температури бетону, °С, і відповідні коефіцієнти зниження

міцності бетону на стиск $k_{c,(\theta_i)}$ наведено в таблиці 5.

г) середній коефіцієнт зниження міцності бетону, що враховує зміну температури кожної зони перерізу, було визначено за формулою:

$$k_{c,m} = \frac{(1-0,2/n)}{n} \cdot \sum_{i=1}^n k_{c,(\theta_i)} = 0,8. \quad (4)$$

Ширину пошкодженої зони перерізу колон a_{z1} було розраховано за формулою:

$$a_{z1} = w \left[1 - \left(\frac{k_{c,m}}{k_{c,(\theta_M)}} \right)^{1,3} \right] = 50,36 \text{ мм}, \quad (5)$$

де

$w=200$ мм – половина ширини перерізу колони, мм;

$k_{c,(\theta_M)} = 1,00$ – коефіцієнт зниження міцності бетону на стиск у точці М на осі симетрії перерізу колони.

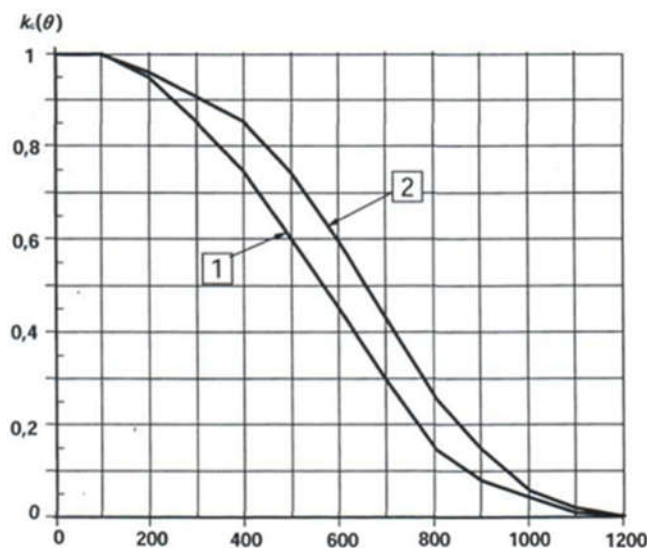


Рис. 11. Коефіцієнт зниження характеристичної міцності бетону

Fig. 11. Coefficient $k_c(\theta)$ allowing for decrease of characteristic strength f_{ck} of concrete

Табл. 5. Середня температура в паралельних зонах перерізу колон

Table 5. Average temperature of column cross-sectional parallel zones

Позначення	Значення температури, °С, і коефіцієнтів зниження $k_c(\theta_i)$ міцності бетону											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	М	
Колона	$\theta_{c,(i)}$	871,1	588,4	396,6	265,9	176,5	119,6	86,6	66,59	54,21	48,29	46,9
КМ-2.1	$k_{c,(i)}$	0,1	0,467	0,753	0,884	0,962	0,99	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

Розміри поперечного перерізу колон було зменшено на величину a_{z1} із тих сторін, що зазнали вогневого впливу внаслідок пожежі. Розрахункові значення ширини і висоти перерізу колони становлять:

$$b_{fi} = b - 2 \cdot a_{z1} = 400 - 2 \cdot 50,4 = 299,2 \text{ мм},$$

$$h_{fi,ich} = h - 2 \cdot a_{z1} = 600 - 2 \cdot 50,4 = 499,2 \text{ мм}.$$

Міцність бетону та арматури колони було прийнято з урахуванням їх зниження внаслідок вогневого впливу пожежі.

Температура в арматурі колони визначена за теплофізичним розрахунком, див. рис. 8. Значення температури, коефіцієнти зниження та міцність арматури наведені в таблиці 6; графіки зниження міцності арматури наведені на рис. 13

Табл. 6. Значення характеристик арматури колони за підвищених температур
Table 6. Values for the parameters of the reinforcing steel at elevated temperatures

Позначення характеристики	Кутові стрижні	Стрижні біля короткої сторони	Стрижні біля довгої сторони	
1	2	3	4	5
$\theta_s, ^\circ\text{C}$	736	511	509	496
$k_{s,(\theta)}$	0,093	0,544	0,549	0,575
$f_{sd,fi(\theta_m)}, \text{МПа}$	46,4	272,1	274,4	287,6

Зменшену міцність арматури колони було обчислено за формулою:

$$f_{sd,fi(\theta_m)} = k_{s,(\theta)} \times f_{sd}, \quad (6)$$

θ – температура i -того стрижня;
 $k_{s,(\theta_i)}$ – коефіцієнт зниження міцності i -го стрижня;
 f_{sd} – розрахункова міцність арматури за нормальних температур.

де

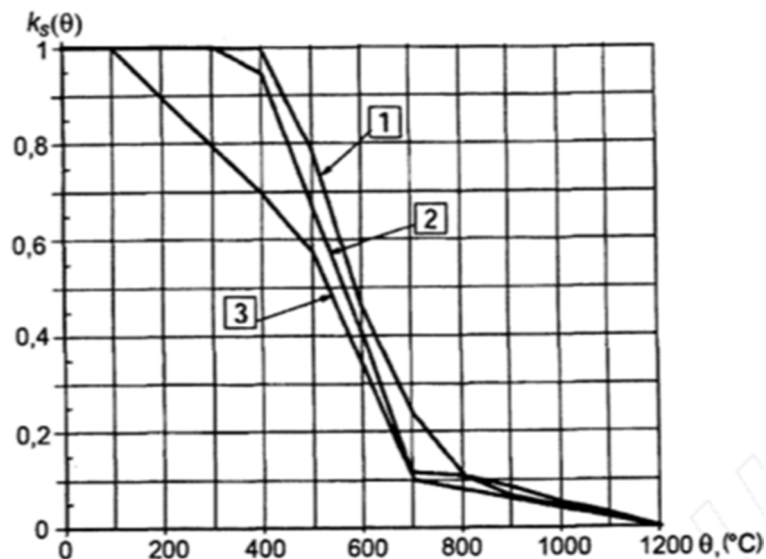


Рис. 12. Коефіцієнт зниження характеристичного опору f_{yk} розтягнутої та стиснутої арматури (значення класу N)

Fig. 12. Coefficient allowing for decrease of characteristic strength f_{yk} of tension and compression reinforcement (Class N)

Залишкову несучу здатність приведенного перерізу колони за нормальних температур при стиску було визначено деформаційним методом для 1-ї форми рівноваги перерізу згідно з ДСТУ Б В.2.6-156 [20].

За результатами розв'язання системи рівнянь (2) і (3) було побудовано графік «поздовжня сила-деформація стиснутої грані» (рис. 14) для приведенного перерізу колони. Найбільше значення нормальної сили на

графіку відповідає несучій здатності колони під час пожежі $N_{u,fi}$.

Значення залишкової несучої здатності колони Км-2.1 становить $N_{u,fi} = 3802,8$ кН і перевищує розрахункове зусилля в колоні $N_{Ed,fi} = 3132$ кН від аварійного РСН (рис. 4). Таким чином, несуча здатність колони після 120 хв вогневого впливу за стандартним температурним режимом пожежі забезпечена.

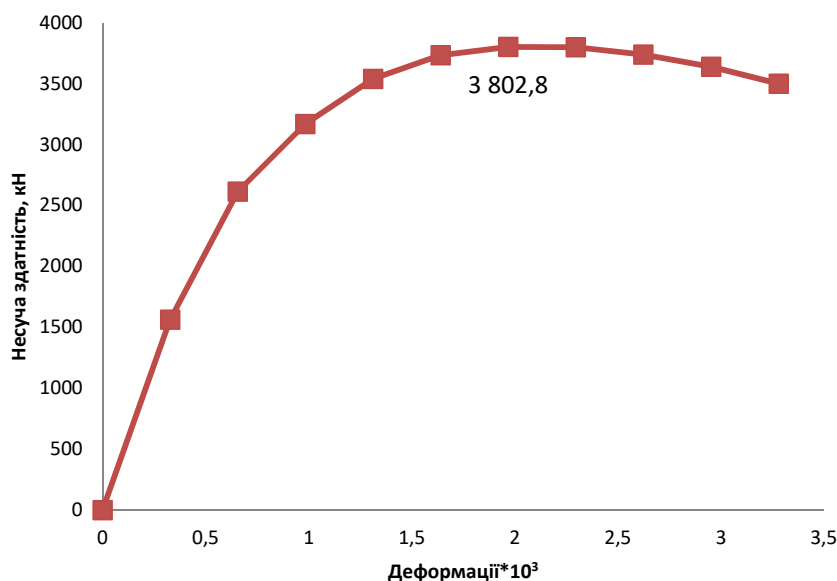


Рис. 13. Діаграма «стискальна сила-деформація стиснутої грані» колони після 120 хв вогневого впливу пожежі

Fig. 13. Compressive force-strain relationship of column after 120 minutes in fire exposure

На підставі аналізу результатів теплофізичного і статичного розрахунку було встановлено, що межа вогнестійкості колон за ознакою втрати несучої здатності R становить щонайменше 120 хв. Нормований клас вогнестійкості $R120$ для колон будівлі забезпечено.

ВИСНОВКИ

За результатами оцінки вогнестійкості залізобетонних колон розрахунковими методами було зроблено такі висновки:

1. Коефіцієнт зниження розрахункового рівня навантаження у разі пожежі для найбільш навантаженої колони будівлі становить $\eta_{fi}=0,73$, що перевищує допустиме зна-

чення 0,7. Це не відповідає умовам застосування табличних даних для оцінки вогнестійкості колон.

2. Порівняльний аналіз результатів теплофізичних розрахунків колони при 120 хв вогневого впливу за стандартним температурним режимом пожежі, що були виконані програмних комплексах Ansys Mechanical 2021 R1 Academic і Ліра-САПР 2020 R3, показав їх задовільну збіжність.

3. Статичний розрахунок приведенного перерізу колони, пошкодженого внаслідок вогневого впливу тривалістю 120 хв за стандартним температурним режимом пожежі, виконано деформаційним методом за ДБН

В.2.6-98:2009. Несуча здатність залізобетонної колони забезпечена.

4. На підставі аналізу результатів теплофізичного і статичного розрахунку було встановлено, що межа вогнестійкості колон за ознакою втрати несучої здатності R перевищує 120 хв. Нормований клас вогнестійкості R120 для колон будівлі забезпечено.

ЛІТЕРАТУРА

1. ДСТУ Б В.1.1-14:2007. Захист від пожежі. Колони. Метод випробування на вогнестійкість (EN 1365-4:1999, NEQ): чинний від 2008-01-01. – К.: Мінрегіонбуд України, 2007 – 12 с. (Національний стандарт України).
2. ДБН В.1.1-7:2016. Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги: – чинні від 2017-06-01. – К.: Мінрегіон України, 2017. – 47 с. – (Державні будівельні норми)
3. ДБН В.1.2-7:2008. Основні вимоги до будівель і споруд. Пожежна безпека: – чинні з 2008-10-01. – Київ: Мінрегіонбуд України, 2008 – 30 с. – (Державні будівельні норми)
4. Немчинов Ю.І., Поклонський В.Г., Коник Х.З., Рясюк Р.В., Фесенко О.А. Дослідження вогнестійкості будівельних конструкцій. *Наука та будівництво. К., ДП НДІБК. 2014. №2. С.11 – 16*
5. Поклонський В.Г., Фесенко О.А., Тарасюк В.Г., Немчинов Ю.І., Байтала Х.З. і ін. Розрахунок залізобетонних конструкцій на вогнестійкість відповідно до Єврокоду 2. Практичний посібник. Київ: *Інтертехнологія, 2016. - 83 с.*
6. Колякова В.М., Божинський М.О., Фесенко О.А. Розподіл температури в перерізі залізобетонної плити. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві. Луцьк: ЛНТУ. 2016. №5.- С.232-239*
7. Барашиков А.Я., Колякова В.М., Халік Н. Теплотехнічні властивості бетону. *Зб. наук. праць. Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди, Рівне: НУВГП. 2008. С. 3-7*
8. Колякова В.М., Божинський М.О. Розрахунково-теоретичні дослідження розподілу температури в перерізі залізобетонної конструкції східчастих складок. *Будівельні конструкції. Теорія і практика, Вип. № 1 (2017). С. 149-157.*
9. Поклонський В.Г., Фесенко О.А., Байтала Х.З., Круковський П.В., Новак С.В. Розрахункові методи оцінки вогнестійкості будівельних конструкцій за Єврокодами. *Будівельні конструкції. К., ДП НДІБК. 2016. Вип. 83 (2).-С. 380-389*
10. Бакін П.І., Немчинов Ю.І., Поклонський В.Г., Рясюк Р.В., Тарасюк В.Г., Фесенко О.А. Визначення вогнестійкості будівельних конструкцій розрахунковими методами відповідно до стандартів, що впроваджують Єврокоди. *Світ геотехніки. Вип. 1. 2011. – С. 12-15*
11. Байтала Х.З., Бакін П.І., Донець Т.П., Фесенко О.А. Практична реалізація уточнених методів розрахунку будівельних конструкцій на вогнестійкість. *Збірник тез доповідей II Міжнародної науково-практичної конференції «Агроінженерія: сучасні проблеми та перспективи розвитку», присвячена 90-й річниці з дня заснування механіко-технологічного факультету НУБіП України. К., НУБіП України. 2019. С.238-240*
12. Фомін С.Л., Поклонський В.Г. Вогнестійкість залізобетонних конструкцій при проектуванні за національними стандартами, гармонізованими з Єврокодами. *Будівельні конструкції: Міжвідомчий науково-технічний збірник наукових праць (будівництво). К., ДП НДІБК, 2011. Вип. 74: в 2-х кн.: Книга 1. — С. 68-88*
13. Фомін С.Л. Огнестойкость статически неопределимых железобетонных конструкций. *Макіївка: Вестник ДонГАСА: Сучасні будівельні конструкції і матеріали. 2006. Вып. 2006-5(61) – С. 66-70*
14. Калінін Є.І. Основи роботи в скінченно-елементному програмному комплексі ANSYS. Конспект лекцій. Частина 2. *Харків: Видавництво ХНАДУ, 2013. – 135 с.*
15. Водопьянов Р.Ю., Титок В.П., Артамонова А.Е., Ромашкина М.А. Программный комплекс ЛИРА-САПР. Руководство пользователя. Обучающие примеры. *Под редакцией академика РААСН Городецкого А.С. Электронное издание. 2017. – 535 с.*
16. ДБН В.1.2-14:2018. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд. – чинні від 2019-01-01. – Київ: Мінрегіон України, 2018. – 36 с. – (Державні будівельні норми)
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) – Чинний від 2014-07-01 – К.: *Мінрегіон України*, 2013. – 135 с. – (Національний стандарт України)
18. **ДСТУ-Н Б В.2.6-197:2014.** Настанова з проектування залізобетонних колон. Розрахунок на вогнестійкість. – Чинний з 2015-07-01. – К.: *Мінрегіонбуд України*, 2015. – 42 с. – (Національний стандарт України)
19. **ДБН В.2.6-98:2009.** Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення. - чинні від 2011-06-01. – Київ: *Мінрегіонбуд України*, 2011. – 71 с. – (Державні будівельні норми)
20. **ДСТУ Б В.2.6-156:2010.** Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування. – Чинний з 2011-06-01. – Київ: *Мінрегіонбуд України*, 2011. – 118 с. (Національний стандарт України)
21. **Бабаєв В.М., Бамбура А.М., Пустовойтова О.М. та ін.** Практичний розрахунок елементів залізобетонних конструкцій за ДБН В.2.6-98:2009 у порівнянні з розрахунками за СНиП 2.03.01-84* і EN 1992-1-1 (Eurocode 2). За заг. ред. В.С. Шмуклера. *Харків: Золоті сторінки*. 2015 — 208 с.

REFERENCES

1. **DSTU B V.1.1-14:2007.** Zakhyst vid pozhezhni. Kolony. Metod vyprovuvannya na vohnestiikist (EN 1365-4:1999, NEQ): chynnyi vid 2008-01-01. – К.: *Minrehionbud Ukrainy*, 2007 – 12 s. (*Natsionalnyi standart Ukrainy*) (in Ukrainian)
2. **DBN V.1.1-7:2016.** Pozhezhna bezpeka ob'ektiv budivnytstva. Zahalni vymohy: – chynni vid 2017-06-01. – К.: *Minrehion Ukrainy*, 2017. – 47 s. – (*Derzhavni budivelni normy*) (in Ukrainian)
3. **DBN V.1.2-7:2008.** Osnovni vymohy do budivel i sporud. Pozhezhna bezpeka: – chynni z 2008-10-01. – Kyiv: *Minrehionbud Ukrainy*, 2008 – 30 s. – (*Derzhavni budivelni normy*) (in Ukrainian)
4. **Nemchynov Yu.I., Poklonskyi V.H., Konyk Kh.Z., Rasiuk R.V., Fesenko O.A.** Doslidzhennia vohnestiikosti budivelnykh konstrukttsii. Nauka ta budivnytstvo. К., *DP NDIBK*. 2014. №2. S.11 – 16 (in Ukrainian)
5. **Poklonskyi V.H., Fesenko O.A., Tarasiuk V.H., Nemchynov Yu.I., Baitala Kh.Z. i in.** Rozrakhunok zalizobeton-nykh konstrukttsii na vohnestiikist vidpovid-no do Yevrokodu 2. *Praktychnyi posibnyk*. Kyiv: *Intertekhnolohiia*, 2016. - 83 s. (in Ukrainian)
6. **Koliakova V.M., Bozhynskyi M.O., Fesenko O.A.** Rozpodil temperatury v pererizi zalizobetonnoi plyty. *Suchasni tekhnolohii ta metody rozrakhunkiv u budivnytstvi*. Lutsk: *LNTU*. 2016. №5. S.232-239 (in Ukrainian)
7. **Barashykov A.Ia., Koliakova V.M., Khalik N.** Teplotekhnichni vlastyvosti betonu. *Zb. nauk. prats. Resursoekonomni materialy, konstrukttsii, budivli ta sporudy*, Rivne: *NUVHP*. 2008. S. 3-7 (in Ukrainian)
8. **Koliakova V.M., Bozhynskyi M.O.** Rozrakhunkovo-teoretychni doslidzhennia rozpodilu temperatury v pererizi zalizobetonnoi konstrukttsii skhidchastykh skladok. *Budivelni konstrukttsii. Teoriia i praktyka*, Vyp. № 1 (2017). S. 149-157. <https://doi.org/10.32347/2522-4182.1.2017.149-157> (in Ukrainian)
9. **Poklonskyi V.H., Fesenko O.A., Baitala Kh.Z., Krukovskyi P.H., Novak S.V.** Rozrakhunkovi metody otsinky vohnestiikosti budivelnykh konstrukttsii za Yevrokodamy. *Budivelni konstrukttsii*. К., *DP NDIBK*. 2016. Vyp. 83 (2).-S. 380-389 (in Ukrainian)
10. **Bakin P.I., Nemchynov Yu.I., Poklonskyi V.H., Rasiuk R.V., Tarasiuk V.H., Fesenko O.A.** Vyznachennia vohnestiikosti budivelnykh konstrukttsii rozrakhunkovymy metodamy vidpovidno do standartiv, shcho vprovadzhuut Yevrokody. *Svit heotekhniky*. Vyp. 1. 2011. – S. 12-15 (in Ukrainian)
11. **Baitala Kh.Z., Bakin P.I., Donets T.P., Fesenko O.A.** Praktychna realizatsiia utochnenykh metodiv rozrakhunku budivelnykh konstrukttsii na vohnestiikist. *Zbirnyk tez dopovidei II Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii «Ahroinzheneriia: suchasni problemy ta perspektyvy rozvytku»*, prysviachena 90-y richnytsi z dnia zasnuvannia mekhaniko-tekhnolohichnoho fakultetu *NUBiP Ukrainy*. К., *NUBiP Ukrainy*. 2019. S.238-240 (in Ukrainian)
12. **Fomin S.L., Poklonskyi V.H.** Vohnestiikist zalizobetonnykh konstrukttsii pry proektuvanni za natsionalnymy standartamy, harmonizovanymy z Evrokodamy. *Budivelni konstrukttsii: Mizhvidomchyi naukovo-tekhnichniy zbirnyk naukovykh prats (budivnytstvo)*. К., *DP NDIBK*, 2011. Vyp. 74: v 2-kh kn.: *Knyha 1.* — S. 68-88 (in Ukrainian)
13. **Fomyn S.L.** Ohnestoikost statychesky neopredelymykh zhelezobetonnykh konstrukttsiyi. *Makiivka: Vestnyk DonHASA: Suchasni budivelni konstrukttsii i materialy*. 2006. Vyp.

2006-5(61) – S. 66-70 (in Russian)

14. **Kalinin Ye.I.** Osnovy roboty v skinchenno-elementnomu prohrannomu kompleksi ANSYS. *Konspekt leksii. Chastyna 2. Kharkiv: Vydavnytstvo KhNADU, 2013. 135 s. (in Ukrainian)*
15. **Vodopianov R.Iu., Tytok V.P., Artamonova A.E., Romashkyna M.A.** Prohrannnyi kompleks LYRA-SAPR. *Rukovodstvo polzovatelia. Obuchaiushchye prymeri. Pod redaktsiyei akademika RAASN Horodetskoho A.S. Elektronnoe yzdanye. 2017. – 535 s. (in Ukrainian)*
16. **DBN V.1.2-14:2018.** Zahalni pryntsyry zabezpechennia nadiinosti ta konstruktyvnoi bezpeky budivel i sporud. – chynni vid 2019-01-01. – Kyiv: *Minrehion Ukrainy, 2018. – 36 s. – (Derzhavni budivelni normy) (in Ukrainian)*
17. **DSTU-N B EN 1992-1-2:2012.** Yevrokod 2. Proektuvannia zalizobetonnykh konstruksii. Chastyna 1-2. Zahalni polozhennia. Rozrakhunok konstruksii na vohnestiikist. (EN 1992-1-2:2004, IDT) – *Chynnyi vid 2014-07-01 – K.: Minrehion Ukrainy, 2013. – 135 s. – (Natsionalnyi standart Ukrainy) (in Ukrainian)*
18. **DSTU-N B V.2.6-197:2014.** Nastanova z proektuvannia zalizobetonnykh kolon. Rozrakhunok na vohnestiikist. – Chynnyi z 2015-07-01. – K.: *Minherionbud Ukrainy, 2015. – 42 s. – (Natsionalnyi standart Ukrainy) (in Ukrainian)*
19. **DBN V.2.6-98:2009.** Betonni ta zalizobetonni konstruksii. Osnovni polozhennia. - chynni vid 2011-06-01. – Kyiv: *Minrehionbud Ukrainy, 2011. – 71 s. – (Derzhavni budivelni normy) (in Ukrainian)*
20. **DSTU B V.2.6-156:2010.** Konstruksii budynkiv i sporud. Betonni ta zalizobetonni konstruksii z vazhkoho betonu. Pravyla proektuvannia. – *Chynnyi z 2011-06-01. – Kyiv: Minrehionbud Ukrainy, 2011. – 118 s. (Natsionalnyi standart Ukrainy) (in Ukrainian)*
21. **Babaiev V.M., Bambura A.M., Pustovoitova O.M. ta in.** Praktychni rozrakhunok elementiv zalizobetonnykh konstruksii za DBN V.2.6-98:2009 u porivnianni z rozrakhunkamy za SNyP 2.03.01-84* i EN 1992-1-1 (*Eurocode 2*). *Za zah. red. V.S. Shmuklera. Kharkiv: Zoloti storinky. 2015 — 208 s. (in Ukrainian)*

Fire resistance assessment of RC columns with advanced calculation methods

Yevhen Dmytrenko, Taras Donets, Kateryna Odnolitok, Oleg Fesenko

Summary This paper contains the results of fire resistance calculation of reinforced concrete columns with advanced calculation methods.

For columns that are tested unloaded, determine the cross-sectional temperature distribution and values of temperature in reinforcement. The fire resistance of columns that have been tested without load is determined according to temperature measurements, with calculation methods according to the requirements of DBN B.1.1-7 and DBN B.1.2-7.

According to the tabulated method, the fire resistance of reinforced concrete columns is determined by geometric parameters such as cross-section width, axis distance of the reinforcement, amount of reinforcement, length or height of the element, load level during the fire exposure, heating conditions during the fire exposure (number of fire exposed sides).

Accidental combination of actions during the fire situation consists of characteristic values of permanent and variable long-term actions taking into account the safety factor for the consequence class of the object (CC2) and the type of design situation (accidental).

Thermal analysis of the column was performed under conditions of the standard fire exposure. In such conditions it was assumed that the column is exposed to fire with four sides for 120 minutes that corresponds to the required fire resistance class R120.

The thermal state of the column was determined using transient thermal models that take into account radiation-convective heat transfer in the ambient from the heat source to the structural surface, convective heat transfer in the structure, radiation-convective heat exchange from the structure to the ambient environment.

The residual load-bearing capacity of the reinforced concrete column after the fire exposure was calculated with the reduced cross-section determined using zone method in accordance with the requirements of DSTU-N B B.2.6-197 and DSTU-N B EN 1992-1-2.

The fire resistance period of columns for the load-bearing criterion was determined on the basis of the results of of thermal and static analysis.

Keywords. Fire resistance; column; thermal analysis; static analysis.