

**ДЕРЖАВНА СЛУЖБА НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ УКРАЇНИ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ПОЖЕЖНОЇ ТА
ТЕХНОГЕННОЇ БЕЗПЕКИ**

Кафедра державного нагляду у сфері пожежної та техногенної безпеки

Рудешко І.В.

МЕТОДИЧНИЙ ПОСІБНИК
щодо самостійної роботи
*з дисципліни «Будівельні матеріали і конструкції та їх поведінка при
пожежі»*

Перевірка відповідності класів вогнестійкості залізобетонних конструкцій за
Єврокодом 2 (частина 1-2)

Для здобувачів вищої освіти за першим бакалаврським рівнем освіти за спеціальністю 261
«Пожежна безпека» у галузі знань 26 «Цивільна безпека» та
спеціальністю 263 «Цивільний захист» у галузі знань 26 «Цивільна безпека»

Черкаси 2025

Метою посібника щодо самостійної роботи є надання допомоги здобувачам вищої освіти за першим бакалаврським рівнем освіти за спеціальністю 261 «Пожежна безпека» у галузі знань 26 «Цивільна безпека» у виборі та вивченні навчального матеріалу з дисципліни «Будівельні матеріали і конструкції, та їх поведінка при пожежі», за темою «Залізобетонні конструкції. Перевірка відповідності класів вогнестійкості залізобетонних конструкцій за Єврокодом 2 (частина 1-2)».

Надані короткі відомості про основні принципи перевірки класів вогнестійкості залізобетонних конструкцій за таблицями і спрощеним (зонним) методом, зокрема: плити перекриття, балки, колони, стіни.

Інженерні розрахунки і конструювання залізобетонних конструкцій повинні виконуватись відповідно до діючих Державних Будівельних Норм з використанням нормативної, довідкової та навчальної літератури, наданої у кінці посібника.

Рекомендовано кафедрою державного нагляду у сфері пожежної та техногенної безпеки

ЗМІСТ

1. Загальні вказівки і вимоги.....	
2. Приклади розв'язання задач.....	
2.1. Перевірка відповідності класу вогнестійкості залізобетонної плити перекриття.....	
2.2. Перевірка відповідності класу вогнестійкості залізобетонної балки перекриття.....	
2.3. Перевірка відповідності класу вогнестійкості залізобетонної колони.....	
2.4. Перевірка відповідності класу вогнестійкості стіни.....	
3. Список використаних літературних джерел.....	
4. Додатки.....	

1. ЗАГАЛЬНІ ВКАЗІВКИ І ВИМОГИ

Мета самостійної роботи – надання здобувачам вищої освіти навичок з перевірки відповідності класів вогнестійкості залізобетонних конструкцій, зокрема: плити перекриття, балки, колони, стіни згідно частини 1-2 Єврокоду 2, затвердженого ДСТУ-Н Б EN 1992-1-2:2012 «Проектування залізобетонних конструкцій. Частина 1-2. Загальні положення. Розрахунок конструкцій на вогнестійкість (EN 1992-1-2:2004, IDT)».

У посібнику надаються приклади виконання задач з перевірки відповідності класів вогнестійкості залізобетонних конструкцій (залізобетонної плити перекриття, балки, стіни, колони) згідно 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), за таблицями і зонним методом. Кожна задача має закінчуватися висновком.

Варіант задачі визначається останніми двома цифрами залікової книжки для здобувачів вищої освіти. Відповідно до таблиці 1 по вертикалі приймається передостання цифра, по горизонталі остання цифра. На лінії межі їх перетину знаходяться вихідні данні для виконання самостійної роботи. Наприклад, якщо номер залікової книжки (службового посвідчення) 012, тоді відповідно до таблиці 1 вихідні завдання приймаються на лінії межі їхнього перетину і складаються з номерів завдань: 13, 28, 43, 58. Перелік завдань та приклади їхнього виконання надано нижче.

Виконані у роботі завдання і розрахунки мають супроводжуватись короткими поясненнями, посиланнями на нормативну, довідкову і навчальну літературу, розрахунковими схемами та рисунками.

Усі розрахункові формули слід виписувати у літерному позначенні, прийнятому за нормативними документами, а потім робити числові підстановки величин, які входять до формули у порядку розташування літерних позначок.

Якщо результат розрахунків має розмірність, то крім числа додають одиниці виміру.

Таблиця 1. Обирання варіанту.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	1, 16, 31, 46	2, 17, 32, 47	3, 18, 33, 48	4, 19, 34, 49	5, 20, 35, 50	6, 21, 36, 51	7, 22, 37, 52	8, 23, 38, 53	9, 24, 39, 54	10, 25, 40, 55
1	11, 26, 41, 56	12, 27, 42, 57	13, 28, 43, 58	14, 29, 44, 59	15, 30, 45, 60	1, 17, 33, 47	2, 18, 34, 48	3, 19, 35, 49	4, 20, 36, 50	5, 21, 37, 51
2	6, 22, 38, 52	7, 23, 39, 53	8, 24, 40, 54	9, 25, 41, 55	10, 26, 42, 56	11, 27, 43, 57	12, 28, 44, 58	13, 29, 45, 59	14, 30, 31, 60	15, 16, 32, 46

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
3	1, 19, 34, 47	2, 20, 35, 48	3, 21, 36, 49	4, 22, 37, 50	5, 23, 38, 51	6, 24, 39, 52	7, 25, 40, 53	8, 26, 41, 54	9, 27, 42, 55	10, 28, 43, 56
4	11, 29, 44, 57	12, 30, 45, 58	13, 16, 31, 59	14, 17, 32, 60	15, 18, 33, 46	1, 19, 34, 47	2, 20, 35, 48	3, 21, 36, 49	4, 22, 37, 50	5, 23, 38, 51
5	6, 24, 39, 52	7, 25, 40, 53	8, 26, 41, 54	9, 27, 42, 55	10, 28, 43, 56	11, 29, 44, 57	12, 30, 45, 58	13, 16, 31, 59	14, 17, 32, 60	15, 18, 33, 46
6	1, 19, 34, 47	2, 20, 35, 48	3, 21, 36, 49	4, 22, 37, 50	5, 23, 38, 51	6, 24, 39, 52	7, 25, 40, 53	8, 26, 41, 54	9, 27, 42, 55	10, 28, 43, 56
7	11, 29, 44, 57	12, 30, 45, 58	13, 16, 31, 59	14, 17, 32, 60	15, 18, 33, 46	1, 19, 34, 47	2, 20, 35, 48	3, 21, 36, 49	4, 22, 37, 50	5, 23, 38, 51
8	6, 24, 39, 52	7, 25, 40, 53	8, 26, 41, 54	9, 27, 42, 55	10, 28, 43, 56	11, 29, 44, 57	12, 30, 45, 58	13, 16, 31, 59	14, 17, 32, 60	15, 18, 33, 46
9	1, 19, 34, 47	2, 20, 35, 48	3, 21, 36, 49	4, 22, 37, 50	5, 23, 38, 51	6, 24, 39, 52	7, 25, 40, 53	8, 26, 41, 54	9, 27, 42, 55	10, 28, 43, 56

Перелік завдань

1. Перевірка відповідності класу вогнестійкості залізобетонної плити перекриття. Ступінь вогнестійкості будівлі III; клас бетону С 25/30; розмір перерізу 300 мм (висота) × 1600 мм (ширина); відстань до осі арматури 25 мм; поздовжнє армування, що складається з чотирьох стержнів діаметром 22 мм, арматура А500, A_s —площа поперечного перерізу арматури 1520 мм²; довжина прольоту плити $l=4$ м та рівномірно-розподілене навантаження $F_d = 30$ кН/м.
2. Перевірка відповідності класу вогнестійкості залізобетонної плити перекриття. Ступінь вогнестійкості будівлі III; клас бетону С 16/20; розмір перерізу 200 мм (висота) × 2500 мм (ширина); відстань до осі арматури 25 мм; поздовжнє армування, що складається з чотирьох стержнів діаметром 18 мм, арматура А400, A_s —площа поперечного перерізу арматури 942 мм²; довжина прольоту плити $l=6$ м та рівномірно-розподілене навантаження $F_d = 25$ кН/м.
3. Перевірка відповідності класу вогнестійкості залізобетонної плити перекриття. Ступінь вогнестійкості будівлі III; клас бетону С25/30; розмір перерізу 200 мм (висота) × 2000 мм (ширина); відстань до осі арматури 40 мм; поздовжнє армування, що складається з 3 стержнів діаметром 18 мм, A_s —площа поперечного перерізу арматури 763 мм², арматура А400; довжина прольоту плити $l=8$ м та рівномірно-розподілене навантаження $F_d=30$ кН/м.
4. Перевірка відповідності класу вогнестійкості залізобетонної плити перекриття. Ступінь вогнестійкості будівлі II; на клас бетону С16/20; розмір перерізу 200 мм (висота) × 1600 мм (ширина); відстань до осі арматури 40 мм; поздовжнє армування, що складається з 4 стержнів діаметром 22 мм, арматура А500, A_s – площа поперечного перерізу

- арматури дорівнює 1520 мм^2 ; довжина прольоту плити $l=9 \text{ м}$ та рівномірне-розподілене навантаження $F_d=40 \text{ кН/м}$.
5. Перевірка відповідності класу вогнестійкості залізобетонної плити перекриття. Ступінь вогнестійкості будівлі І; клас бетону С16/20; розмір перерізу $200 \text{ мм} \times 2000 \text{ мм}$; відстань до осі арматури 30 мм ; поздовжнє армування, що складається з чотирьох стержнів діаметром 16 мм , арматура А400, A_s — площа поперечного перерізу арматури 804 мм^2 ; довжина прольоту плити $l=6 \text{ м}$ та рівномірне-розподілене навантаження $F_d=25 \text{ кН/м}$.
 6. Перевірка відповідності класу вогнестійкості залізобетонної плити перекриття. Ступінь вогнестійкості – І; клас бетону – С16/20; розміри перерізу $h \times b = 200 \times 2500 \text{ мм}$; відстань до осі арматури – 15 мм ; поздовжнє армування, що складається з трьох стержнів діаметром 18 мм , арматура А500, A_s — площа поперечного перерізу арматури 763 мм^2 ; довжина прольоту плити – 8 м та рівномірне-розподілене навантаження $F_d=30 \text{ кН/м}$;
 7. Перевірка відповідності класу вогнестійкості залізобетонної плити перекриття. Ступінь вогнестійкості будівлі ІІ; клас бетону С 30/35; розмір перерізу 200 мм (висота) $\times 2000 \text{ мм}$ (ширина); відстань до осі арматури 30 мм ; поздовжнє армування, що складається з двох стержнів діаметром 25 мм арматура А400, A_s —площа поперечного перерізу арматури 982 мм^2 , довжина прольоту плити $l=6 \text{ м}$ та рівномірне-розподілене навантаження $F_d = 25 \text{ кН/м}$.
 8. Перевірка відповідності класу вогнестійкості залізобетонної плити перекриття. Ступінь вогнестійкості будівлі ІІ; клас бетону С25/30; розмір перерізу 200 мм (висота) $\times 2000 \text{ мм}$ (ширина); відстань до осі арматури 25 мм ; поздовжнє армування, що складається з 3 стержнів діаметром 18 мм , арматура А400, A_s – площа поперечного перерізу арматури дорівнює 763 мм^2 ; довжина прольоту плити $l=6 \text{ м}$ та рівномірне-розподілене навантаження $F_d=25 \text{ кН/м}$.
 9. Перевірка відповідності класу вогнестійкості залізобетонної плити перекриття. Ступінь вогнестійкості будівлі ІІ; клас бетону С30/35; розмір перерізу 200 мм (висота) $\times 1600 \text{ мм}$ (ширина); відстань до осі арматури 25 мм ; поздовжнє армування, що складається з 4 стержнів діаметром 22 мм , арматура А500, A_s – площа поперечного перерізу арматури дорівнює 1520 мм^2 ; довжина прольоту плити $l=6 \text{ м}$ та рівномірне-розподілене навантаження $F_d=25 \text{ кН/м}$.
 10. Перевірка відповідності класу вогнестійкості залізобетонної плити перекриття. Ступінь вогнестійкості будівлі І; клас бетону С 30/35; розмір перерізу 200 мм (висота) $\times 2000 \text{ мм}$ (ширина); відстань до осі арматури 40 мм ; поздовжнє армування, що складається з чотирьох стержнів діаметром 16 мм арматура А400, A_s —площа поперечного перерізу арматури 804 мм^2 ; довжина прольоту плити $l=8 \text{ м}$ та рівномірне-розподілене навантаження $F_d = 30 \text{ кН/м}$.

11. Перевірка відповідності класу вогнестійкості залізобетонної плити перекриття. Ступінь вогнестійкості будівлі III; клас бетону С 25/30; розмір перерізу 200 мм (висота) × 2000 мм (ширина); відстань до осі арматури 25 мм; поздовжнє армування, складається з трьох стержнів діаметром 18 мм, арматура А500, A_s —площа поперечного перерізу арматури 762 мм²; довжина прольоту плити $l=6$ м та рівномірне-розподілене навантаження $F_d = 25$ кН/м.
12. Перевірка відповідності класу вогнестійкості залізобетонної плити перекриття. Ступінь вогнестійкості будівлі III; клас бетону С 16/20; розмір перерізу 200 мм (висота) × 2500 мм (ширина); відстань до осі арматури 25 мм; поздовжнє армування, що складається з чотирьох стержнів діаметром 18 мм арматура А400, A_s —площа поперечного перерізу арматури 942 мм²; довжина прольоту плити $l=6$ м та рівномірне-розподілене навантаження $F_d = 25$ кН/м.
13. Перевірка відповідності класу вогнестійкості залізобетонної плити перекриття. Ступінь вогнестійкості будівлі I; клас бетону С 25/30; розмір перерізу 800 мм (висота) × 500 мм; відстань до осі арматури 30 мм; поздовжнє армування, що складається з трьох стержнів діаметром 18 мм, арматура А400, A_s —площа поперечного перерізу арматури 942 мм²; довжина прольоту плити 4 м та рівномірне-розподілене навантаження $F_d = 30$ кН/м.
14. Перевірка відповідності класу вогнестійкості залізобетонної плити перекриття. Ступінь вогнестійкості будівлі III; клас бетону С25/30; розмір перерізу 200 мм (висота) × 2000 мм (ширина); на відстань до осі арматури 40 мм; поздовжнє армування, що складається з 3 стержнів діаметром 18 мм, арматура А400, A_s — площа поперечного перерізу арматури дорівнює 942 мм²; вказує на довжину прольоту плити $l=8$ м та дію рівномірно-розподіленого навантаження $F_d=30$ кН/м.
15. Перевірка відповідності класу вогнестійкості залізобетонної плити перекриття. Ступінь вогнестійкості будівлі I; клас бетону С16/20; розміри перерізу, 200 × 2000 мм (ширина); відстань до осі арматури, 40 мм; поздовжнє армування, що складається з 4 стержнів діаметром 16 мм, арматура А 400, A_s – площа поперечного перерізу арматури дорівнює 804 мм²; прольоту балки, 6 м та рівномірне-розподілене навантаження $F_d = 25$ кН/м.
16. Перевірка відповідності класу вогнестійкості залізобетонної балки сходової клітини. Ступінь вогнестійкості будівлі III; клас бетону С 25/30; розмір перерізу 300 мм × 160 мм; відстань до осі арматури 25 мм; поздовжнє армування, що складається з чотирьох стержнів діаметром 22 мм, арматура А500, A_s —площа поперечного перерізу арматури 1520 мм². довжина прольоту балки $l=5$ м та рівномірне-розподілене навантаження $F_d = 30$ кН/м.
17. Перевірка відповідності класу вогнестійкості залізобетонної балки сходової клітини. Ступінь вогнестійкості будівлі III; клас бетону С 16/20; розмір перерізу 800 мм × 500 мм; відстань до осі арматури 25 мм;

поздовжнє армування, складається з трьох стержнів діаметром 18 мм, арматура А400, A_s - площа поперечного перерізу арматури 942 мм²; довжина прольоту балки 6 м та рівномірне-розподілене навантаження $F_d = 25$ кН/м.

18. Перевірка відповідності класу вогнестійкості залізобетонної балки сходової клітини. Ступінь вогнестійкості будівлі III; клас бетону С25/30; розмір перерізу 600 х 300 мм; відстань до осі арматури 40 мм; поздовжнє армування, що складається з 3 стержнів діаметром 18 мм, арматура А400, A_s – площа поперечного перерізу арматури дорівнює 763 мм²; довжина прольоту балки $l=4$ м та рівномірне-розподілене навантаження $F_d=30$ кН/м.
19. Перевірка відповідності класу вогнестійкості залізобетонної балки сходової клітини. Ступінь вогнестійкості будівлі II; клас бетону С16/20; розмір перерізу 300 х 160 мм; відстань до осі арматури 40 мм; поздовжнє армування, що складається з 4 стержнів діаметром 22 мм, арматура А500, A_s – площа поперечного перерізу арматури дорівнює 1520 мм²; довжина прольоту балки $l=5$ м та рівномірне-розподілене навантаження $F_d=40$ кН/м.
20. Перевірка відповідності класу вогнестійкості залізобетонної балки сходової клітини. Ступінь вогнестійкості будівлі I; клас бетону С16/20; розмір перерізу 600 мм х 300 мм; відстань до осі арматури 30 мм; поздовжнє армування, що складається з чотирьох стержнів діаметром 16 мм, арматура А400, A_s – площа поперечного перерізу арматури 804 мм²; довжина прольоту балки $l=6$ м та рівномірне-розподілене навантаження $F_d=25$ кН/м.
21. Перевірка відповідності класу вогнестійкості залізобетонної балки сходової клітини. Ступінь вогнестійкості будівлі I; клас бетону – С16/20; розміри перерізу 800×500 мм; відстань до осі арматури 30 мм; поздовжнє армування що складається з чотирьох стержнів діаметром 16 мм, арматура А400, A_s – площа поперечного перерізу арматури 804 мм²; довжина прольоту балки $l=4$ та рівномірне-розподілене навантаження $F_d=25$ кН/м.
22. Перевірка відповідності класу вогнестійкості залізобетонної балки сходової клітини. Ступінь вогнестійкості будівлі II; клас бетону С 30/35; розмір перерізу 600 мм × 300 мм; відстань до осі арматури 30 мм; поздовжнє армування, що складається з двох стержнів діаметром 25 мм, арматура А400, A_s –площа поперечного перерізу арматури 982 мм², довжина прольоту балки $l=6$ м та рівномірне-розподілене навантаження $F_d = 25$ кН/м.
23. Перевірка відповідності класу вогнестійкості залізобетонної балки сходової клітини. Ступінь вогнестійкості будівлі II; клас бетону С25/30; розмір перерізу 600 х 300 мм; відстань до осі арматури 25 мм; поздовжнє армування, що складається з 3 стержнів діаметром 18 мм, арматура А400, A_s – площа поперечного перерізу арматури дорівнює 763 мм²; довжина

- прольоту плити $l=6$ м та рівномірне-розподілене навантаження $F_d=25$ кН/м. F_d
24. Перевірка відповідності класу вогнестійкості залізобетонної балки сходової клітини. Ступінь вогнестійкості будівлі II; клас бетону C30/35; розмір перерізу 300 x 160 мм; відстань до осі арматури 25 мм; поздовжнє армування, що складається з 4 стержнів діаметром 22 мм, арматура A500, A_s – площа поперечного перерізу арматури дорівнює 1520 мм²; довжина прольоту балки $l=6$ м та рівномірне-розподілене навантаження $F_d=25$ кН/м. F_d
25. Перевірка відповідності класу вогнестійкості залізобетонної балки сходової клітини. Ступінь вогнестійкості будівлі I; клас бетону C 20/25; розмір перерізу 800 мм × 500 мм; відстань до осі арматури 40 мм; поздовжнє армування, що складається з двох стержнів діаметром 25 мм, арматура A400, A_s –площа поперечного перерізу арматури 982 мм²; довжина прольоту балки 5 м та рівномірне-розподілене навантаження $F_d = 40$ кН/м.
26. Перевірка відповідності класу вогнестійкості залізобетонної балки сходової клітини. Ступінь вогнестійкості будівлі III; клас бетону C 25/30; розмір перерізу 600 мм × 300 мм; відстань до осі арматури 23 мм; поздовжнє армування, що складається з трьох стержнів діаметром 18 мм, арматура A500, A_s –площа поперечного перерізу арматури 762 мм²; довжина прольоту балки 6 м та рівномірне-розподілене навантаження $F_d = 25$ кН/м.
27. Перевірка відповідності класу вогнестійкості залізобетонної балки сходової клітини. Ступінь вогнестійкості будівлі III; клас бетону C 16/20; розмір перерізу 800 мм × 500 мм; відстань до осі арматури 25 мм; поздовжнє армування, що складається з трьох стержнів діаметром 18 мм, арматура A400, A_s - площа поперечного перерізу арматури 942 мм²; довжина прольоту балки 6 м та рівномірне-розподілене навантаження $F_d = 25$ кН/м.
28. Перевірка відповідності класу вогнестійкості залізобетонної балки сходової клітини. Ступінь вогнестійкості будівлі I; клас бетону C 25/30; розмір перерізу 800 мм × 500 мм; відстань до осі арматури 20 мм; поздовжнє армування, що складається з трьох стержнів діаметром 18 мм, арматура A400, A_s –площа поперечного перерізу арматури 942 мм²; довжина прольоту балки 5 м та рівномірне-розподілене навантаження $F_d = 30$ кН/м.
29. Перевірка відповідності класу вогнестійкості залізобетонної балки сходової клітини. Ступінь вогнестійкості будівлі III; клас бетону C25/30; розмір перерізу 600 мм x 300 мм; відстань до осі арматури 40 мм; поздовжнє армування, що складається з 3 стержнів діаметром 18 мм, арматура A400, A_s – площа поперечного перерізу арматури дорівнює 763 мм²; довжина прольоту балки $l=4$ м та рівномірне-розподілене навантаження $F_d=30$ кН/м.
30. Перевірка відповідності класу вогнестійкості залізобетонної балки сходової клітини. Ступінь вогнестійкості будівлі I; клас бетону C16/20; розміри перерізу 600 мм × 300 мм; відстань до осі арматури 40 мм; поздовжнє

- армування що складається з 4 стержнів діаметром 16 мм, арматура А400, A_s – площа поперечного перерізу арматури дорівнює 804 мм²; довжину прольоту балки $l=6$ м та рівномірне-розподілене навантаження $F_d=25$ кН/м.
31. Перевірка відповідності класу вогнестійкості залізобетонної колони. Ступінь вогнестійкості будівлі IV; клас бетону С 25/30; розмір перерізу 300 мм × 300 мм; відстань до осі арматури 13 мм; поздовжнє армування, що складається з чотирьох стержнів діаметром 16 мм, арматура А500, A_s –площа поперечного перерізу арматури 804 мм²; довжина колони 3,5 м, постійне навантаження колони G_k – 900 кН та змінне навантаження Q_k – 500 кН.
 32. Перевірка відповідності класу вогнестійкості залізобетонної колони. Ступінь вогнестійкості будівлі IV; на клас бетону С 16/20; розмір перерізу 300 мм × 300 мм;- відстань до осі арматури 13 мм; - поздовжнє армування, що складається з чотирьох стержнів діаметром 18 мм, арматура А400С, A_s - площа поперечного перерізу арматури 1018 мм², довжина колони 3 м, постійне навантаження колони G_k – 800 кН та змінне навантаження Q_k – 360 кН.
 33. Перевірка відповідності класу вогнестійкості залізобетонної колони. Ступінь вогнестійкості будівлі IV; клас бетону С 25/30; розмір перерізу 300 мм × 300 мм; відстань до осі арматури 16 мм; поздовжнє армування, що складається з чотирьох стержнів діаметром 18 мм маркою сталі А400С, A_s –площа поперечного перерізу арматури 1018 мм², довжина колони 4 м, постійне навантаження колони G_k – 1000 кН та змінне навантаження Q_k – 600 кН.
 34. Перевірка відповідності класу вогнестійкості залізобетонної колони. Ступінь вогнестійкості будівлі II; клас бетону С 16/20; розмір перерізу 300 мм × 300 мм; відстань до осі арматури 16 мм; поздовжнє армування, що складається з чотирьох стержнів діаметром 16 мм, арматура А500С, A_s –площа поперечного перерізу арматури 804 мм²; довжина колони 3,5 м, постійне навантаження колони G_k – 900 кН та змінне навантаження Q_k – 500 кН.
 35. Перевірка відповідності класу вогнестійкості залізобетонної колони. Ступінь вогнестійкості будівлі IIIб; клас бетону С 20/25; розмір перерізу 300 мм х 300 мм; відстань до осі арматури 18 мм; поздовжнє армування, складається з чотирьох стержнів діаметром 22 мм, арматура А400С, A_s –площа поперечного перерізу арматури 1520 мм²; довжина колони 3 м, постійне навантаження G_k – 800 кН та змінне навантаження Q_k – 360 кН.
 36. Перевірка відповідності класу вогнестійкості залізобетонної колони. Ступінь вогнестійкості будівлі – IIIб; клас бетону – С16/20; розміри перерізу 300×300 мм; відстань до осі арматури 15 мм; поздовжнє армування, що складається з чотирьох стержнів діаметром 18 мм; арматура А500, A_s –площа поперечного перерізу арматури 1016 мм²; довжина колони 4 м, постійне навантаження G_k –1000 кН та змінне навантаження Q_k –600 кН.
 37. Перевірка відповідності класу вогнестійкості залізобетонної колони. Ступінь вогнестійкості будівлі II; клас бетону С 30/35; розмір перерізу

- 300 мм × 300 мм; відстань до осі арматури 18 мм; поздовжнє армування, що складається з чотирьох стержнів діаметром 25 мм, арматура А400С, A_s —площа поперечного перерізу арматури 1964 мм²; довжина колони 3 м, постійне навантаження колони G_k – 800 кН та змінне навантаження Q_k – 360 кН.
38. Перевірка відповідності класу вогнестійкості залізобетонної колони. Ступінь вогнестійкості будівлі II; клас бетону С 25/30; розмір перерізу 300 мм × 300 мм; відстань до осі арматури 20 мм; поздовжнє армування, що складається з чотирьох стержнів діаметром 18 мм, арматура А400С, A_s —площа поперечного перерізу арматури 1018 мм²; довжина колони 3 м, постійне навантаження колони G_k – 800 кН та змінне навантаження Q_k – 360 кН.
39. Перевірка відповідності класу вогнестійкості залізобетонної колони. Ступінь вогнестійкості будівлі II; клас бетону С 30/35; розмір перерізу 300 мм × 300 мм; відстань до осі арматури 20 мм; поздовжнє армування, що складається з чотирьох стержнів діаметром 16 мм, арматура А500С, A_s —площа поперечного перерізу арматури 804 мм², довжина колони 3 м, постійне навантаження колони G_k – 800 кН та змінне навантаження Q_k – 360 кН.
40. Перевірка відповідності класу вогнестійкості залізобетонної колони. Ступінь вогнестійкості будівлі II; клас бетону С 30/35; розмір перерізу 300 мм × 300 мм; відстань до осі арматури 16 мм; поздовжнє армування, що складається з чотирьох стержнів діаметром 18 мм, арматура А400С, A_s —площа поперечного перерізу арматури 1018 мм²; довжина колони 3 м, постійне навантаження колони G_k – 800 кН та змінне навантаження Q_k – 360 кН.
41. Перевірка відповідності класу вогнестійкості залізобетонної колони. Ступінь вогнестійкості будівлі II; клас бетону С 30/35; розмір перерізу 300 мм × 300 мм; на відстань до осі арматури 13 мм; поздовжнє армування, що складається з чотирьох стержнів діаметром 18 мм, арматура А500С, A_s —площа поперечного перерізу арматури 1018 мм²; довжина колони 3 м, постійне навантаження колони G_k – 820 кН та змінне навантаження Q_k – 380 кН.
42. Перевірка відповідності класу вогнестійкості залізобетонної колони. Ступінь вогнестійкості будівлі IV, клас бетону С 20/25; розмір перерізу 300 мм × 300 мм; на відстань до осі арматури 13 мм; поздовжнє армування, що складається з чотирьох стержнів діаметром 20 мм, арматура А400С, A_s - площа поперечного перерізу арматури 1256 мм²; довжина колони 3 м, постійне навантаження колони G_k – 800 кН та змінне навантаження Q_k – 360 кН.
43. Перевірка відповідності класу вогнестійкості залізобетонної колони. Ступінь вогнестійкості будівлі IIIб; клас бетону С 25/30; розмір перерізу 300 мм × 300 мм; відстань до осі арматури 20 мм; поздовжнє армування, що складається з чотирьох стержнів діаметром 20 мм, арматура А400С, A_s —площа поперечного перерізу арматури 1256 мм²; довжина колони 4 м,

постійне навантаження колони $G_k = 1000$ кН та змінне навантаження $Q_k = 600$ кН.

44. Перевірка відповідності класу вогнестійкості залізобетонної колони. Ступінь вогнестійкості будівлі IV; клас бетону С 25/30; розмір перерізу 300 мм × 300 мм; відстань до осі арматури 16 мм; поздовжнє армування, що складається з чотирьох стержнів діаметром 18 мм, арматура А400С, A_s —площа поперечного перерізу арматури 1018 мм²; довжина колони 4 м, постійне навантаження колони $G_k = 1000$ кН та змінне навантаження $Q_k = 600$ кН.
45. Перевірка відповідності класу вогнестійкості залізобетонної колони. Ступінь вогнестійкості будівлі IIIб; клас бетону С16/20; розміри перерізу 300 мм × 300 мм; відстань до осі арматури 16 мм; поздовжнє армування, що складається з чотирьох стержнів діаметром 22 мм, арматура А400, A_s —площа поперечного перерізу арматури 1520 мм²; довжина колони 4м; постійне навантаження $G_k = 800$ кН, тимчасове навантаження $Q_k = 360$ кН.
46. Перевірка відповідності класу вогнестійкості залізобетонної стіни. Ступінь вогнестійкості будівлі II; клас бетону С 25/30; розмір перерізу 3000 мм × 200 мм; відстань до осі арматури 25 мм; поздовжнє армування, що складається з чотирьох стержнів діаметром 16 мм, арматура А500, A_s —площа поперечного перерізу арматури 804 мм²; постійне навантаження стіни $G_k = 900$ кН та змінне навантаження $Q_k = 500$ кН.
47. Перевірка відповідності класу вогнестійкості залізобетонної стіни. Ступінь вогнестійкості будівлі II; клас бетону С 16/20; розмір перерізу 3200 мм × 200 мм; відстань до осі арматури 25 мм; поздовжнє армування, що складається з чотирьох стержнів діаметром 20 мм, арматура А400С, A_s —площа поперечного перерізу арматури 1256 мм²; постійне навантаження стіни $G_k = 700$ кН та змінне навантаження $Q_k = 500$ кН.
48. Перевірка відповідності класу вогнестійкості залізобетонної стіни. Ступінь вогнестійкості будівлі II; клас бетону С 25/30; розмір перерізу 2700 мм × 200 мм; відстань до осі арматури 35 мм; поздовжнє армування, що складається з чотирьох стержнів діаметром 20 мм, арматура А400С, A_s —площа поперечного перерізу арматури 1256 мм²; постійне навантаження стіни $G_k = 800$ кН та змінне навантаження $Q_k = 400$ кН.
49. Перевірка відповідності класу вогнестійкості залізобетонної стіни. Ступінь вогнестійкості будівлі I; клас бетону С 16/20; розмір перерізу 3000 мм × 200 мм; відстань до осі арматури 35 мм; поздовжнє армування, що складається з чотирьох стержнів діаметром 16 мм, арматура А500С, A_s —площа поперечного перерізу арматури 804 мм²; постійне навантаження стіни $G_k = 900$ кН, та змінне навантаження $Q_k = 600$ кН.
50. Перевірка відповідності класу вогнестійкості залізобетонної стіни. Ступінь вогнестійкості будівлі IIIа; клас бетону С 16/20; розмір перерізу 3000 мм х 200 мм; відстань до осі арматури 30 мм; поздовжнє армування, що складається з чотирьох стержнів діаметром 22 мм, арматура А400С, A_s —площа поперечного перерізу арматури 1520 мм²; постійне навантаження стіни $G_k = 700$ кН та змінне навантаження $Q_k = 500$ кН.

51. Перевірка відповідності класу вогнестійкості залізобетонної стіни. Ступінь вогнестійкості будівлі IIIa; клас бетону C16/20; розмір перерізу 3200 мм × 200 мм; відстань до осі арматури 15 мм; поздовжнє армування, що складається з чотирьох стержнів діаметром 18 мм, арматура A500C, A_s – площа поперечного перерізу арматури 1018 мм²; постійне навантаження стіни G_k – 800 кН та змінне навантаження Q_k – 400 кН.
52. Перевірка відповідності класу вогнестійкості залізобетонної стіни. Ступінь вогнестійкості будівлі I; клас бетону C 30/35; розмір перерізу 2700 мм × 200 мм; відстань до осі арматури 30 мм; поздовжнє армування, що складається з чотирьох стержнів діаметром 25 мм, арматура A400C, A_s – площа поперечного перерізу арматури 1964 мм²; постійне навантаження стіни G_k – 700 кН та змінне навантаження Q_k – 500 кН.
53. Перевірка відповідності класу вогнестійкості залізобетонної стіни. Ступінь вогнестійкості будівлі I; клас бетону C 25/30; розмір перерізу 2700 мм × 200 мм; відстань до осі арматури 25 мм; поздовжнє армування, що складається з чотирьох стержнів діаметром 20 мм, арматура A400C, A_s – площа поперечного перерізу арматури 1256 мм²; постійне навантаження стіни G_k – 700 кН та змінне навантаження Q_k – 500 кН.
54. Перевірка відповідності класу вогнестійкості залізобетонної стіни. Ступінь вогнестійкості будівлі I; клас бетону C 30/35; розмір перерізу 3000 мм × 200 мм; відстань до осі арматури 25 мм; поздовжнє армування, що складається з чотирьох стержнів діаметром 16 мм, арматура A500C, A_s – площа поперечного перерізу арматури 804 мм²; постійне навантаження стіни G_k – 700 кН та змінне навантаження Q_k – 500 кН.
55. Перевірка відповідності класу вогнестійкості залізобетонної стіни. Ступінь вогнестійкості будівлі I; клас бетону C 30/35; розмір перерізу 2700 мм × 200 мм; відстань до осі арматури 30 мм; поздовжнє армування, що складається з чотирьох стержнів діаметром 22 мм, арматура A400C, A_s – площа поперечного перерізу арматури 1520 мм²; постійне навантаження стіни G_k – 800 кН та змінне навантаження Q_k – 400 кН.
56. Перевірка відповідності класу вогнестійкості залізобетонної стіни. Ступінь вогнестійкості будівлі II; клас бетону C 30/35; розмір перерізу 2700 мм × 200 мм; відстань до осі арматури 17 мм; поздовжнє армування, що складається з чотирьох стержнів діаметром 18 мм, арматура A500C, A_s – площа поперечного перерізу арматури 1018 мм²; постійне навантаження стіни G_k – 700 кН та змінне навантаження Q_k – 500 кН.
57. Перевірка відповідності класу вогнестійкості залізобетонної стіни. Ступінь вогнестійкості будівлі II; клас бетону C 16/20; розмір перерізу 3200 мм × 200 мм; відстань до осі арматури 25 мм; поздовжнє армування, що складається з чотирьох стержнів діаметром 24 мм, арматура A600, A_s – площа поперечного перерізу арматури 1809 мм²; постійне навантаження стіни – G_k 700 кН та змінне навантаження Q_k – 500 кН.
58. Перевірка відповідності класу вогнестійкості залізобетонної стіни. Ступінь вогнестійкості будівлі IIIa; клас бетону C 25/30; розмір перерізу 3200 мм × 200 мм; відстань до осі арматури 20 мм; поздовжнє армування, що

складається з чотирьох стержнів діаметром 20 мм, арматура А400С, A_s —площа поперечного перерізу арматури 1256 мм²; постійне навантаження стіни G_k — 800 кН та змінне навантаження Q_k — 400 кН.

59. Перевірка відповідності класу вогнестійкості залізобетонної стіни. Ступінь вогнестійкості будівлі II; клас бетону С 25/30; розмір перерізу 2700 мм × 200 мм; відстань до осі арматури 35 мм; поздовжнє армування, що складається з чотирьох стержнів діаметром 25 мм, арматура А400С, A_s —площа поперечного перерізу арматури 1963 мм²; постійне навантаження стіни G_k — 1000 кН, та змінне навантаження Q_k — 500 кН.

60. Перевірка відповідності класу вогнестійкості залізобетонної стіни. Ступінь вогнестійкості будівлі IIIа; клас бетону С16/20; розмір перерізу 2700 × 200 мм; відстань до осі арматури 35 мм; поздовжнє армування, складається з чотирьох стержнів діаметром 22 мм, арматура А400, A_s —площа поперечного перерізу арматури 1520 мм²; постійне навантаження стіни G_k — 700 кН, тимчасове навантаження Q_k =500 кН.

Перевірка відповідності класу вогнестійкості залізобетонної плити перекриття

1. Вихідні дані:

- 2. Визначаємо, необхідний нормований клас вогнестійкості плити перекриття паркінгу 9-ти поверхового багатосекційного житлового будинку за табл. 2.**

Ступінь вогнестійкості	Мінімальні значення класів вогнестійкості будівельних конструкцій і максимальні значення груп поширення вогню по них								
	Стіни				Колони	Сходові площадки, косоури, сходи, балки, марші сходових кліток	Пере-криття міжповерхові (у т.ч. горизонтні та над підвалами)	Елементи суміщених покриттів	
	несучі та сходових кліток	само-несучі	зовнішні ненесучі	внутрішні ненесучі (перегородки)				плити, настили, прогони	балки, ферми, арки, рами
I	REI 150 M0	REI 90 M0	E 30 M0	EI 30 M0	R 150 M0	R 60 M0	REI 60 M0	RE 30 M0	R 30 M0
II	REI 120 M0	REI 60 M0	E 15 M0	EI 15 M0	R 120 M0	R 60 M0	REI 45 M0	RE 15 M0	R 30 M0
III	REI 120 M0	REI 60 M0	E 15, M0 E 30, M1	EI 15 M1	R 120 M0	R 60 M0	REI 45 M1	Не нормуються	
IIIa	REI 60 M0	REI 30 M0	E 15 M1	EI 15 M1	R 15 M0	R 60 M0	REI 15 M0	RE 15 M1	R 15 M0
IIIb	REI 60 M1	REI 30 M1	E 15, M0 E 30, M1	EI 15 M1	R 60 M1	R 45 M0	REI 45 M1	RE 15, M0 RE 30, M1	R 45 M1
IV	REI 30 M1	REI 15 M1	E 15 M1	EI 15 M1	R 30 M1	R 15 M1	REI 15 M1	Не нормуються	
IVa	REI 30 M1	REI 15 M1	E 15 M2	EI 15 M1	R 15 M0	R 15 M0	REI 15 M0	RE 15 M2	R 15 M0
V	Не нормуються								

Враховуючи, що приміщення паркінгу необхідно відокремлювати від житлової частини будинку перекриттям, що за проектом спирається на несучі стіни (R 120) та колони (R 120) у будівлі II ступеня вогнестійкості, нормований клас плити перекриття паркінгу має бути не нижчим за – R 120.

3. Переходимо до табличного методу.

Використовуємо таблицю 5.8 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).

Таблиця 3. Мінімальні розміри та відстані до осі арматури вільно опертих суцільних залізобетонних плит, що працюють в одному та двох напрямках з ненапруженою та попередньо напруженою арматурою

Нормована вогнестійкість Standard fire resistance	Мінімальні розміри, мм Minimum dimensions (mm)			
	Товщина плити h_s , мм Slab thickness h_s (mm)	Відстань до осі арматури a axis-distance a		
		в одному напрямку	в двох напрямках two way:	
			$l_y/l_x \leq 1,5$	$1,5 < l_y/l_x \leq 2$
1	2	3	4	5
REI 30	60	10*	10*	10*
REI 60	80	20	10*	15*
REI 90	100	30	15*	20
REI 120	120	40	20	25
REI 180	150	55	30	40
REI 240	175	65	40	50

l_x та l_y прольоти плити, що працюють в двох напрямках (два напрями під прямими кутами), де l_y довший проліт.
 l_x and l_y are the spans of a two-way slab (two directions at right angles) where l_y is the longer span.
 Для попередньо напружених плит потрібно зазначити збільшення відстані до осі арматури згідно 5.2 (5).
 For prestressed slabs the increase of axis distance according to 5.2 (5) should be noted.
 Відстань до осі арматури в колонках 4 та 5 для плит, що працюють в двох напрямках, відноситься до плит опертих з чотирьох сторін. Інакше їх треба розглядати як плиту, що працює в одному прольотному напрямку.
 The axis distance a in Column 4 and 5 for two way slabs relate to slabs supported at all four edges. Otherwise, they should be treated as one-way spanning slab.
 *) Як правило, захисний шар бетону уточнюється згідно з EN 1992-1-1
 Normally the cover required by EN 1992-1-1 will control.

Враховуючи, що задана плита вільно оперта, і працює у одному напрямку використовуємо 3 стовпчик.

За результатами перевірки встановлено, що за табличним методом задана товщина плити, що розглядається – 200 мм перевірку проходить, але відстань до осі арматури 30 мм недостатня, потрібно 40мм.

4. Приступаємо до спрощеного (зонного) методу.

Поперечний переріз плити розглядаємо як такий, що зазнає вогневого впливу з одного боку – знизу. Відстань до вісі арматури $a = 30$ мм.

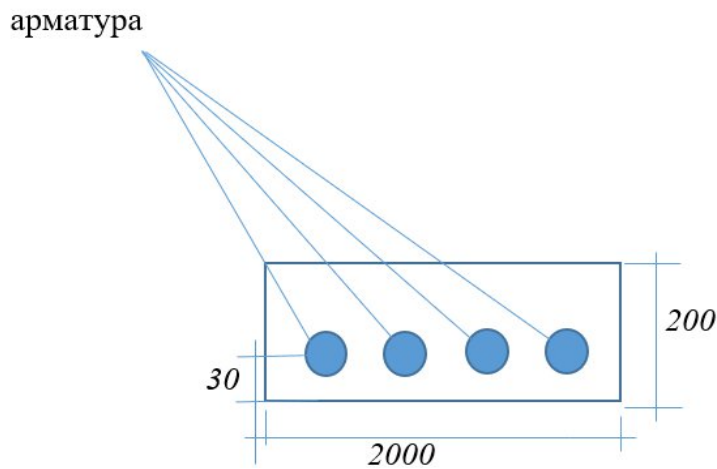


Рисунок 1. Переріз залізобетонної плити перекриття.

Приведення поперечного перерізу базується на визначенні a_z – пошкодженої зони обігрівної поверхні.

Приступаємо до використання рисунку А.2 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).

$\frac{1}{2}$ товщині перерізу плити 100 мм ділимо на 5 однакових паралельних зон (n), тобто на 20 мм кожну.

За рисунком А.2 визначаємо температури для середини кожної зони перерізу та для центру всього перерізу Θ_M , тобто на 100 мм:

$$\Theta_1 (10\text{мм}) = 840\text{ }^{\circ}\text{C},$$

$$\Theta_2 (30\text{мм}) = 580\text{ }^{\circ}\text{C},$$

$$\Theta_3 (50\text{мм}) = 390\text{ }^{\circ}\text{C},$$

$$\Theta_4 (70\text{мм}) = 280\text{ }^{\circ}\text{C},$$

$$\Theta_5 (90\text{мм}) = 180\text{ }^{\circ}\text{C},$$

$$\Theta_M = 150\text{ }^{\circ}\text{C}.$$

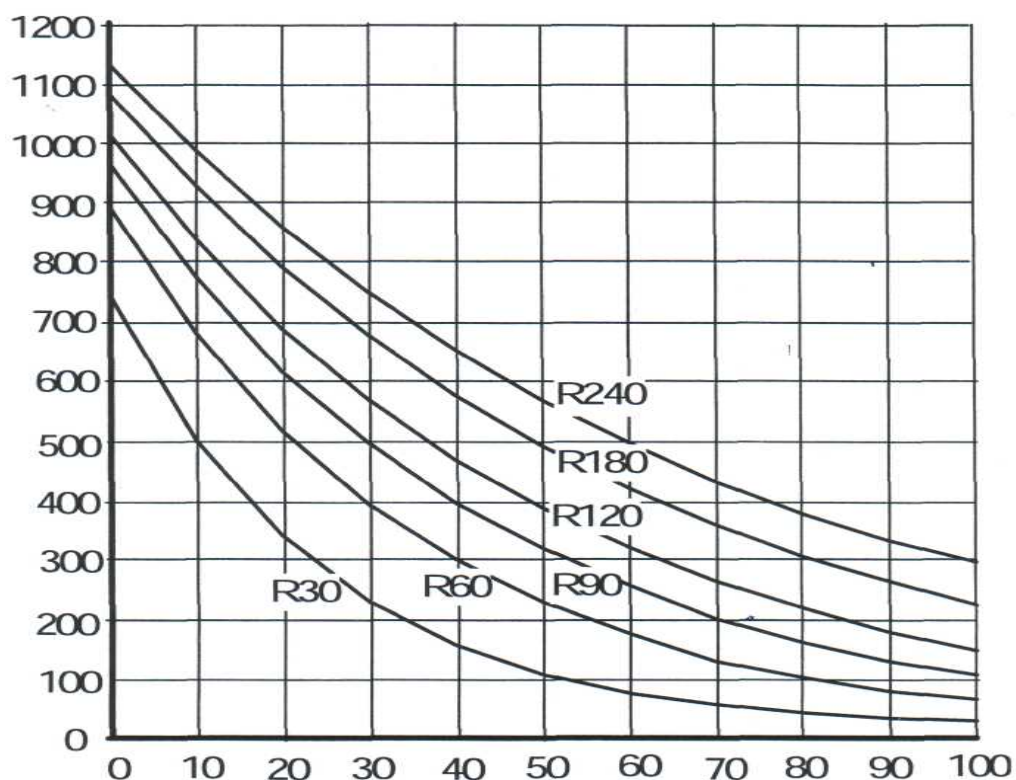


Рисунок 2. Температурні криві плит (висота $h = 200$ мм) для R30 – R240.

5. Визначаємо відповідні коефіцієнти зниження міцності бетону на стиск $k_c (\theta_i)$

Таблиця 4. Значення параметрів діаграми “напруження-деформація” для звичайного бетону на силікатному та карбонатному заповнювачі за підвищених температур

Температура бетону, θ , °C Concrete temp. θ [°C]	Силікатний заповнювач Siliceous aggregates			Карбонатний заповнювач Calcareous aggregates		
	$f_{c,\theta}/f_{ck}$	$\varepsilon_{cl,\theta}$	$\varepsilon_{cu1,\theta}$	$f_{c,\theta}/f_{ck}$	$\varepsilon_{cl,\theta}$	$\varepsilon_{cu1,\theta}$
1	2	3	4	5	6	7
20	1,00	0,0025	0,0200	1,00	0,0025	0,0200
100	1,00	0,0040	0,0225	1,00	0,0040	0,0225
200	0,95	0,0055	0,0250	0,97	0,0055	0,0250
300	0,85	0,0070	0,0275	0,91	0,0070	0,0275
400	0,75	0,0100	0,0300	0,85	0,0100	0,0300
500	0,60	0,0150	0,0325	0,74	0,0150	0,0325
600	0,45	0,0250	0,0350	0,60	0,0250	0,0350
700	0,30	0,0250	0,0375	0,43	0,0250	0,0375
800	0,15	0,0250	0,0400	0,27	0,0250	0,0400
900	0,08	0,0250	0,0425	0,15	0,0250	0,0425
1000	0,04	0,0250	0,0450	0,06	0,0250	0,0450
1100	0,01	0,0250	0,0475	0,02	0,0250	0,0475
1200	0,00	-	-	0,00	-	-

$k_c (\Theta_1) = 0,122$; $k_c (\Theta_2) = 0,48$; $k_c (\Theta_3) = 0,76$; $k_c (\Theta_4) = 0,87$; $k_c (\Theta_5) = 0,96$; $k_c (\Theta_M) = 0,975$, враховуючи що за умовами бетон з силікатним заповнювачем.

Визначаємо середній коефіцієнт зниження міцності бетону для визначеної частини, що враховує при розрахунку зміни кожної зони за формулою:

$$k_{c,m} = \frac{(1-0,2/n)}{n} \sum_{i=1}^n k_c(\Theta_i) = \frac{(1-0,2/5)}{5} \cdot (0,122 + 0,48 + 0,75 + 0,87 + 0,96) = 0,61$$

Розраховуємо висоту пошкодженої зони плити за формулою:

$$a_z = w_{u1} - \frac{k_{c,m}}{k_c(\Theta_M)} w_{u1} = 100 \cdot 1 - \frac{0,61}{0,975} w_{u1} = 37,4 \text{ мм}; \text{ приймаємо } 38 \text{ мм}$$

Зменшимо висоту поперечного перерізу плити на величину $a_z = 38$ мм з однієї сторони, що зазнає вогневого впливу.

Розрахункова висота перерізу $h_{fi} = 200 - 38 = 162$ мм, ширина b_{fi} залишається такою ж самою 2000 мм.

6. Визначаємо температуру в арматурних стержнях:

$\Theta = 580$ °C, $k_s(\Theta) (580$ °C) = 0,382, тому $k_v(\Theta)$ - середній коефіцієнт зниження міцності арматури = 0,382

$k_s(\Theta) = 1,0$	для $20^\circ\text{C} \leq \Theta \leq 100^\circ\text{C}$
$k_s(\Theta) = 0,7 - 0,3(\Theta - 400)/300$	для $100^\circ\text{C} < \Theta \leq 400^\circ\text{C}$
$k_s(\Theta) = 0,57 - 0,13(\Theta - 500)/100$	для $400^\circ\text{C} < \Theta \leq 500^\circ\text{C}$
$k_s(\Theta) = 0,1 - 0,47(\Theta - 700)/200$	для $500^\circ\text{C} < \Theta \leq 700^\circ\text{C}$
$k_s(\Theta) = 0,1(1200 - \Theta)/500$	для $700^\circ\text{C} < \Theta \leq 1200^\circ\text{C}$

Визначаємо зменшену міцність арматури залежно від температури стержнів.

$$f_{su,fi}(\Theta_M) = 0,87 \times f_{yk} \times k_v(\Theta) = 0,87 \times 500 \times 0,382 = 166,17 \text{ МПа}$$

де f_{yk} = межа текучості арматури (характеристичне значення)

7. Проводимо розрахунок плити перекриття на вогнестійкість. (тобто порівнюємо її несучу здатність і навантаження за умови пожежі).

Спочатку знаходимо висоту стиснутої зони бетону:

$$x = (f_{su,fi} \times A_s) / (0,576 \times f_{ck} \times b \times 0,8) =$$

$$= (166,17 \times 1520) / (0,576 \times 25000000 \times 2,0 \times 0,8) = 10,96 \text{ мм} \approx 11 \text{ мм}$$

де f_{ck} – характеристична міцність бетону на стиск (за маркою бетону C25/30)

$f_{su,fi}$ – зменшена міцність арматури, залежно від температури стержнів (дивиться п.6)

A_s – площа поперечного перерізу арматурних стрижнів

b – ширина перерізу плити (2,0 м)

$$z = d - 0,5x = 132 - 0,5 \times 11 = 126,5 \text{ мм}$$

$$d = h_{fi} - a = 162 - 30 = 132 \text{ мм}$$

a – відстань до вісі арматури (30 мм)

h_{fi} – розрахункова висота перерізу плити (із врахуванням пошкодженої зони)

d – робоча висота перерізу

z – плече внутрішньої пари сил

Визначаємо несучу здатність плити перекриття і навантаження на неї за умови пожежі:

$$M_{Rd,fi} = f_{su,fi}(\Theta_M) \times z \times A_s = 166,17 \times 126,5 \times 1520 = 31,95 \text{ кНм}$$

$$M_{Ed,fi} = F_d l^2 / 8 \times 0,7 = 25000 \times 36 / 8 \times 0,7 = 78,75 \text{ кНм}$$

$$M_{Ed,fi} \geq M_{Rd,fi}$$

Висновок: оскільки навантаження на плиту при пожежі, а саме $M_{Ed,fi}$ більше за її несучу здатність при пожежі $M_{Rd,fi}$ залізобетона плита перекриття не відповідає нормованому класу вогнестійкості REI 120.

Перевірка відповідності класу вогнестійкості залізобетонної балки сходової клітини

Визначити вогнестійкість залізобетонної ненапруженої вільноопертої балки
за допомогою табличних даних та спрощеним (зонним) методом.

1. Вихідні данні.

- ступінь вогнестійкості будівлі II;
- клас бетону C 25/30;
- розмір перерізу 600 мм × 300 мм;
- відстань до осі арматури 21 мм;
- поздовжнє армування, що складається з чотирьох стержнів діаметром 22 мм, арматура A500, A_s –площа поперечного перерізу арматури 1520 мм².
- довжина прольоту балки 6 м та рівномірно-розподілене навантаження $F_d = 25$ кН/м.

2. Визначаємо, необхідний нормований клас вогнестійкості балки за таблицею 2.

Нормований клас вогнестійкості балки сходової клітини у будівлі II
ступеня вогнестійкості – R 60.

3. Переходимо до табличного методу.

Використовуємо таблицю 5 Мінімальні розміри та відстані до осі арматури вільно опертих балок виготовлених із ненапруженого та попередньо напруженого залізобетону.

Таблиця 5. Мінімальні розміри та відстані до осі арматури вільно опертих балок виготовлених із ненапруженого та попередньо напруженого залізобетону

Нормована вогнестійкість Standard fire resistance	Мінімальні розміри, мм Minimum dimensions (mm)						
	Можливі сполучення a та b_{min} , де a – середня відстань до осі арматури, а b_{min} – ширина балки				Товщина стінки балки, b_w Web thickness b_w		
					Клас WA Class WA	Клас WB Class WB	Клас WC Class WC
1	2	3	4	5	6	7	8
R30	$b_{min}=80$ $a=25$	120 20	160 15*	200 15*	80	80	80
R60	$b_{min}=120$ $a=40$	160 35	200 30	300 25	100	80	100
R90	$b_{min}=150$ $a=50$	200 45	300 40	400 35	110	100	100
R120	$b_{min}=200$ $a=65$	240 60	300 55	500 50	130	120	120
R180	$b_{min}=240$ $a=80$	300 70	400 65	600 60	150	150	140
R240	$b_{min}=280$ $a=90$	350 80	500 75	700 70	170	170	160

За результатами перевірки встановлено, що за табличним методом задана ширина конструкції 300 мм відповідає класу R60, однак відстань до осі арматури 21 мм не відповідає відповідному класу вогнестійкості (мінімальна відстань повинна бути не менше 25 мм при ширині перерізу балки 300 мм).

4. Приступаємо до спрощеного (зонного) методу.

Поперечний переріз балки розглядаємо як такий, що зазнає вогневого впливу з трьох сторін. Знизу та з двох боків.

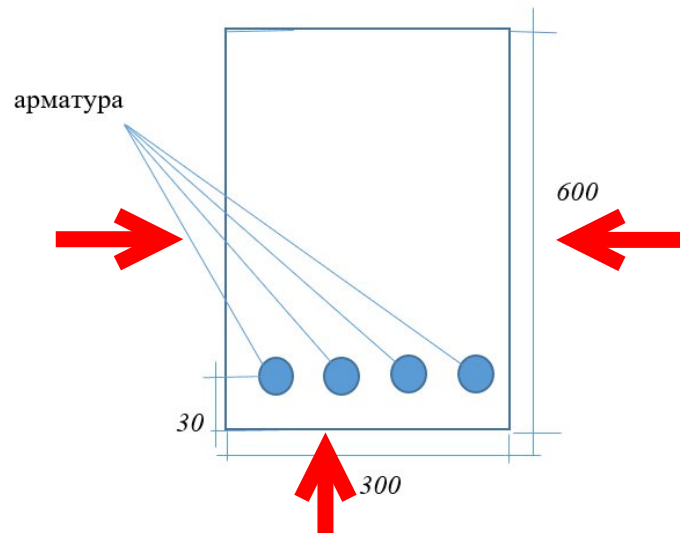


Рисунок 3. Переріз залізобетонної балки.

Приведення поперечного перерізу базується на визначенні a_z — пошкодженої зони поверхні, що обігривається.

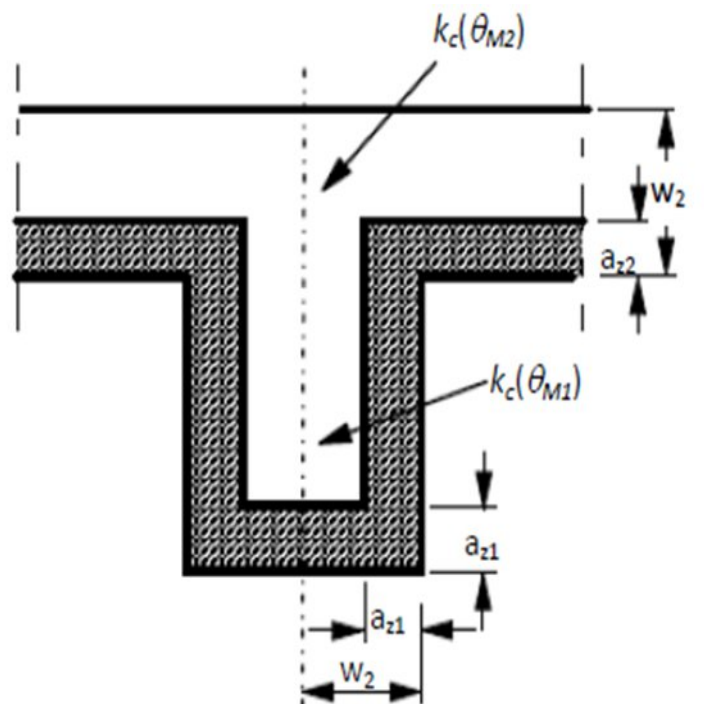


Рисунок 4. Приведений поперечний переріз балки.

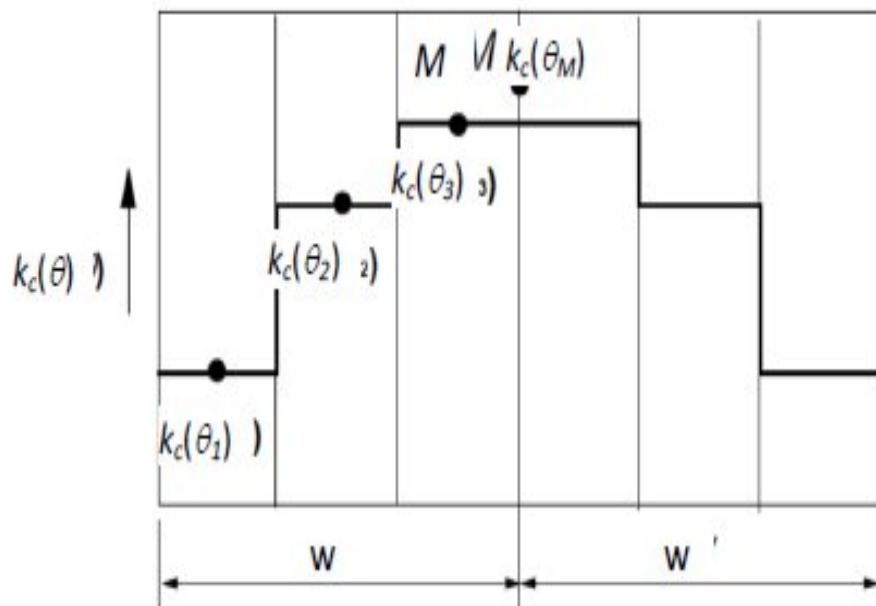


Рисунок 5. Схема розділення перерізу на зони однакової ширини.

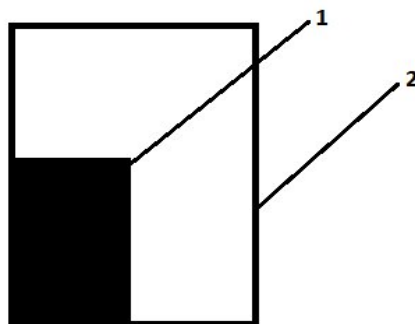


Рисунок 6. Площа поперечного перерізу, для якого наведені температурні криві.

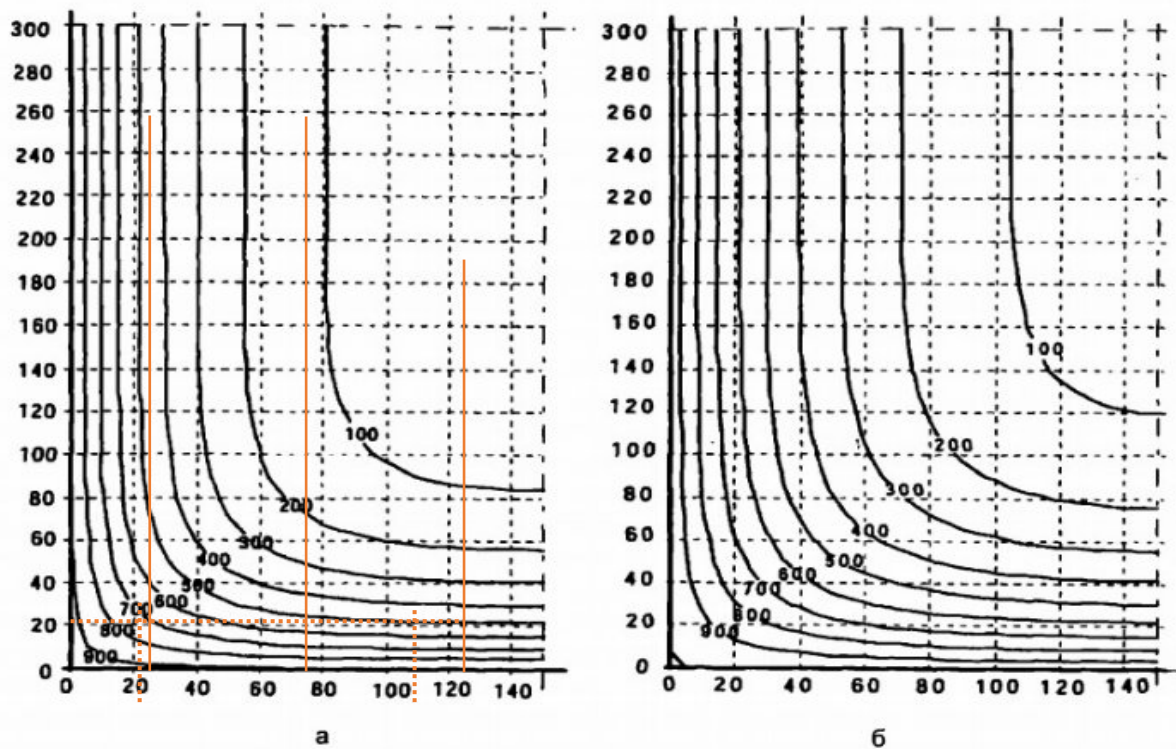
1 – площа з температурними кривими; 2 – площа поперечного перерізу.

5. Приступаємо до використання додатку «А».

Температурні криві ДСТУ-Н Б В.2.6-196:2014 Настанови з проектування залізобетонних балок, розрахунок на вогнестійкість.

Враховуючи заданий переріз балки 600 мм × 300 мм підбираємо відповідні температурні криві.

Відповідно рисунку 4 прийнято розділення половини перерізу на 3 зони однакової ширини, тобто по 50 мм кожна. Визначаємо температури для середини кожної зони перерізу та для центру всього перерізу θ_M - тобто на 150 мм: $\theta_1(25\text{мм})=480^\circ\text{C}$; $\theta_2(75\text{мм})=120^\circ\text{C}$; $\theta_3(125\text{мм})=100^\circ\text{C}$, $\theta_M=100^\circ\text{C}$.



**Рисунок 7. Температурні криві балки $h \times b = 600 \text{ мм} \times 300 \text{ мм}$, °C:
а – R60; б – R90.**

6. Визначаємо відповідні коефіцієнти зниження міцності бетону на стиск $k_c(\theta_i)$ за таблицею 3.

$$k_{c1}(\theta_1) = 0,75 - ((0,75 - 0,60)/100) \times (480 - 400) = 0,75 - 0,0015 \times (480 - 400) = 0,75 - 0,12 = 0,63$$

$$k_{c2}(\theta_2) = 1 - ((1 - 0,95)/100) \times (120 - 100) = 1 - 0,01 = 0,99$$

$$k_{c3}(\theta_3) = 0,99$$

$$k_{cM}(\theta_M) = 0,99.$$

Враховуючи, що за умовами завдання у нас бетон із силікатним заповнювачем. $k_c(\theta_1) = 0,63$; $k_c(\theta_2) = 0,99$; $k_c(\theta_3) = 0,99$; $k_c(\theta_M) = 0,99$.

Визначаємо середній коефіцієнт зниження міцності бетону для визначеної частини, що враховує при розрахунку зміни кожної зони за формулою:

$$k_{c,m} = \frac{(1 - 0,2/n)}{n} \sum_{i=1}^n k_c(\theta_i) = \frac{(1 - 0,2/3)}{3} (0,63 + 0,99 + 0,99) = 0,8$$

Розраховуємо ширину пошкодженої зони балки за формулою:

$$a_z = w \left[1 - \frac{k_{c,m}}{k_c(\theta_M)} \right] = 150 \times \left[1 - \frac{0,8}{0,99} \right] = 28,8 \text{ мм, приймаємо } 29 \text{ мм}$$

де w – половина ширини перерізу балки

Зменшимо розміри поперечного перерізу балки на величину $a_z = 29$ мм з тих сторін, що зазнають вогневого впливу.

Розрахункові ширина $b_{fi} = 300 - (29 + 29) = 242$ мм та висота перерізу $h_{fi} = 600 - 29 = 571$ мм.

7. Визначаємо температуру в арматурних стержнях:

кутових – $\Theta_l = 730$ °C, $k_s(\Theta)$ (600 °C) = 0,094

середніх – $\Theta_l = 500$ °C, $k_s(\Theta)$ (500 °C) = 0,57

$k_v(\Theta)$ – середній коефіцієнт зниження міцності арматури

$$k_v(\Theta) = (k_{s1}(\Theta) + k_{s2}(\Theta)) \times 2 / 4 = (0,094 + 0,57) \times 2 / 4 = 0,332$$

$k_s(\Theta) = 1,0$	для $20^\circ\text{C} \leq \Theta \leq 100^\circ\text{C}$
$k_s(\Theta) = 0,7 - 0,3(\Theta - 400)/300$	для $100^\circ\text{C} < \Theta \leq 400^\circ\text{C}$
$k_s(\Theta) = 0,57 - 0,13(\Theta - 500)/100$	для $400^\circ\text{C} < \Theta \leq 500^\circ\text{C}$
$k_s(\Theta) = 0,1 - 0,47(\Theta - 700)/200$	для $500^\circ\text{C} < \Theta \leq 700^\circ\text{C}$
$k_s(\Theta) = 0,1(1200 - \Theta)/500$	для $700^\circ\text{C} < \Theta \leq 1200^\circ\text{C}$

Визначаємо зменшену міцність арматури залежно від температури стержнів.

$$f_{su,fi}(\Theta_M) = 0,87 \times f_{yk} \times k_v(\Theta) = 0,87 \times 500 \text{ МПа} \times 0,332 = 144,42 \text{ МПа}$$

8. Виконуємо розрахунок балки на вогнестійкість, як при нормальних температурах.

$$x = (f_{su,fi} \times A_s) / (0,576 \times f_{ck} \times b_{fi} \times 0,8) = (144,42 \text{ МПа} \times 1520 \text{ мм}^2) / (0,576 \times 25 \times 10^6 \text{ Па} \times 0,242 \text{ м} \times 0,8) = 0,07 \text{ м}$$

$$z = d - 0,5x = 550 - 0,5 \times 70 = 515 \text{ мм}$$

$$d = h_{fi} - a = 571 - 21 = 550 \text{ мм}$$

$$M_{Rd,fi} = f_{su,fi}(\Theta_M) \times A_s \times z = 120,735 \text{ кНм}$$

$$M_{Ed,fi} = F_d l^2 / 8 \times 0,7 = 25000 \times 36 / 8 \times 0,7 = 78,75 \text{ кНм}$$

$$M_{Rd,fi} = 120,735 \text{ кНм} \geq M_{Ed,fi} = 78,75 \text{ кНм}$$

Висновок: залізобетонна балка відповідає нормованому класу вогнестійкості R60.

Температурні криві балки розміром $h \times b = 300$ мм $\times$ 160 мм, °C для класів вогнестійкості R30 і R60, а також температурні криві балки розміром $h \times b = 800$ мм $\times$ 500 мм, °C для класів вогнестійкості R90 і R120 надано у додатку 2.

Перевірка відповідності класу вогнестійкості залізобетонної колони

Визначити вогнестійкість залізобетонної колони прямокутного перерізу у будівлі за допомогою табличних даних та спрощеного (зонного) методу.

1. Вихідні дані.

- ступінь вогнестійкості будівлі II;
- клас бетону С 30/35;
- розмір перерізу 300 мм × 300 мм;
- відстань до осі арматури 18 мм;
- поздовжнє армування, що складається з чотирьох стержнів діаметром 16 мм, армування А500С, A_s –площа поперечного перерізу арматури 804 мм²;
- довжина колони 3 м, постійне навантаження колони G_k – 800 кН та змінне навантаження Q_k – 360 кН.

2. Визначаємо необхідний нормований клас вогнестійкості колони.

Враховуючи, що за умовою будівля II ступеню вогнестійкості, колона повинна відповідати класу вогнестійкості не нижче R 120 (таблиця 2).

3. Визначаємо коефіцієнт надійності за відповідальністю конструкції γ_n .

Визначаємо клас наслідків будівлі у відповідності до вимог таблиці 1 – Класи наслідків (відповідальності) об'єктів за ДБН В.1.2-14:2018 «Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель та споруд». Враховуючи, що за умовами задана будівля 5-ти поверхового медичного центру з кількістю персоналу 158 осіб клас наслідків нашої будівлі СС2. Це середній клас, в основному до даного класу відповідальності належать більшість типових споруд, таких як: якійсь заклад, готель, лікарня, або гуртожиток з перебуванням людей від 50 до 400 осіб включно.

Таблиця 6. Класи наслідків (відповідальності об'єктів)

Клас наслідків (відповідальності) об'єкта	Характеристики можливих наслідків відмови об'єкта				
	Можлива небезпека, кількість осіб			Обсяг можливого економічного збитку, м.р.з.п.	Припинення функціонування лінійних об'єктів інженерно-транспортної інфраструктури, об'єктів комунікацій, зв'язку, енергетики та інженерних мереж, рівень
	Для здоров'я і життя людей, які постійно перебувають на об'єкті	Для здоров'я і життя людей, які періодично перебувають на об'єкті	Для життєдіяльності людей, які перебувають зовні об'єкта		
СС3 значні наслідки	Понад 400	Понад 1000	Понад 50 000	Понад 50 000	Загальнодержавний
СС2 середні наслідки	Понад 50 до 400 включно	Понад 100 до 1000 включно	Понад 100 до 50 000 включно	Понад 2 500 до 50 000 включно	Регіональний, місцевий
СС1 незначні наслідки	До 50 включно	До 100 включно	До 100 включно	До 2 500 включно	Об'єктовий
Примітка 1. Вважається, що на об'єкті постійно перебувають люди, якщо вони перебувають там більше ніж вісім годин на добу і не менш ніж 150 днів на рік (загалом не менше 1200 год за рік). Особами, що періодично відвідують об'єкт, вважаються ті, що заповнюють його не більше восьми годин на добу протягом не більше ніж 150 днів на рік (загалом від 450 до 1200 год за рік). Можливою небезпечкою для життєдіяльності людей є ймовірне порушення нормальних умов життєдіяльності більш ніж на три доби відповідно [3].					
Примітка 2. Обсяг можливого економічного збитку визначається відповідно до Методики [1]					
Примітка 3. Мінімальний розмір заробітної плати (м.р.з.п.) щорічно встановлюється [2].					

Враховуючи клас наслідків будівлі СС2, визначаємо категорію відповідальності конструкції – колони у відповідності до вимог п. 5.2.1 ДБН В.1.2-14:2018 «Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель та споруд». Цитування пункту:

5.2 Категорії відповідальності конструкцій та їх елементів

5.2.1 Залежно від наслідків, які можуть бути викликані відмовою, розрізняють три категорії відповідальності конструкцій та їх елементів:

А – конструкції та елементи, відмова яких може призвести до непридатності до експлуатації будівлі (споруди) або її частини.

Б – конструкції та елементи, відмова яких може призвести до ускладнення нормальної експлуатації будівлі (споруди) або до відмови інших конструкцій, які не належать до категорії А.

В – конструкції, відмова яких не призводить до порушення функціонування будівлі (споруди) в цілому або інших конструкцій або їх елементів.

Колона – така конструкція відмова (*руйнування, недопустиме переміщення або деформація*), якої може призвести до непридатності до експлуатації будівлі (споруди) або її частини, тому приймаємо категорію відповідальності «А» – найвищу.

Відповідно таблиці 5 ДБН В.1.2-14:2018 «Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель та споруд» приймаємо значення коефіцієнта надійності за відповідальністю γ_n - 0,975.

Таблиця 7. Значення коефіцієнта надійності за відповідальністю γ_n

Клас наслідків (відповідальності)	Категорія відповідальності конструкції	Значення γ_n , які використовуються в розрахункових ситуаціях				
		усталених		перехідних		аварійних
		перша група граничних станів	друга група граничних станів	перша група граничних станів	друга група граничних станів	перша група граничних станів
СС3	А	1,250	1,000	1,050	0,975	1,050
	Б	1,200		1,000		
	В	1,150		0,950		
СС2	А	1,100	0,975	0,975	0,950	0,975
	Б	1,050		0,950		
	В	1,000		0,925		
СС1	А	1,000	0,950	0,950	0,925	0,950
	Б	0,975		0,925		
	В	0,950		0,900		

4. Визначаємо розрахункову довжину колони при пожежі l_{ofl} .

Розрахункову довжину колони при пожежі l_{ofl} визначаємо добутком фактичної довжини колони 3 м на коефіцієнт μ , якій залежить від засобу закріплення колони (у нашому випадку шарнірне закріплення з двох боків, тому $\mu = 1$);

$l_{ofl} = l \times \mu = 3\text{ м} \times 1 = 3\text{ м} \leq 4\text{ м}$, розрахункова довжина колони при пожежі не перевищує 4 м , тобто перша передумова стосовно довжини колони виконується, можемо використовувати табличні дані.

5. Перевіряємо передумову, щодо ступеня армування колони.

$$A_s = \frac{\pi d^2}{4} \times 4 < 4\% A_c = 0,04 \times 300 \times 300 = 3600\text{ мм}^2$$

де A_s – площа поперечного перерізу арматури;

A_c – площа поперечного перерізу бетону;

$$A_s = 804\text{ мм}^2 < 4\% A_c = 3600\text{ мм}^2$$

тобто площа перерізу арматури не перевищує 4% площі перерізу бетону. Передумова стосовно армування також виконується, можемо використовувати табличні дані.

6. Розраховуємо коефіцієнт використання конструкції під час пожежі μ_{fl} .

За рекомендаціями 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), коефіцієнт використання конструкції під час пожежі має бути не більшим за $0,7$:

$$\mu_{fl} = N_{Ed,fl} / N_{Rd} \leq 0,7$$

де: $N_{Ed,fl}$ – діюче навантаження при пожежі;

N_{Rd} – несуча здатність колони.

$$N_{Ed,fl} = \gamma_n (G_k + 0,8 \times Q_k) = 0,975 (800 + 0,8 \times 360) = 1060,8\text{ кН},$$

де: γ_n – коефіцієнт надійності за відповідальністю конструкції (встановили – $0,975$ див. вище);

G_k – постійне навантаження колони дано за умовою – 800 кН ;

$0,8$ – коефіцієнт зниження змінного навантаження при пожежі (ДБН В.1.2-2:2006 Навантаження і впливи);

Q_k – змінне навантаження – 360 кН .

По коефіцієнту 0,8: вважається, що у разі виникнення пожежі навантаження на конструкцію не буде максимальним, а за нормальних температур навантаження приймається максимальним, завищується коефіцієнтами. У разі виникнення пожежі, вважається, що тривалість аварійної (екстремальної) ситуації перебуває незначний термін часу, тому приймаються коефіцієнти, які зменшують навантаження при пожежі.

$$N_{Rd} = (f_{cu} \times A_c) + (f_{su} \times A_s) = (0,567 \times 30 \times 90000) + (0,87 \times 500 \times 804) = 1866,96 \text{ кН}$$

де: f_{cu} – гранична межа міцності бетону при стисканні $= 0,567 \times f_{ck} = 17,01 \text{ МПа}$;

A_c – площа перерізу бетону, що сприймає навантаження направлено на стиск $A_c = 300 \times 300 = 90000 \text{ мм}^2$;

f_{su} – гранична межа міцності при розтягу арматури $f_{su} = 0,87 \times 500 = 435 \text{ МПа}$;

$$\mu_{fi} = N_{Ed,fi} / N_{Rd} = 1060,8 / 1880,64 = 0,564 \leq 0,7 \text{ умова виконується}$$

7. Переходимо безпосередньо до табличного методу перевірки колони на клас вогнестійкості R 120.

Таблиця Д.1 ДСТУ-Н Б В.2.6-197:2014 «Настанова з проектування залізобетонних колон. Розрахунок на вогнестійкість»;

Таблиця 8. Мінімальні розміри колони та відстань до осі арматури для колон прямокутного та круглого перерізів.

Нормована вогнестійкість Standard Fire resistance	Мінімальні розміри, мм. Ширина колони/ відстань до осі робочої арматури, b_{min}/a Minimum dimensions (mm) Column width b_{min} /axis distance a of the main bars			
	Колона, що піддається впливу більше ніж з однієї сторони Column exposed on more than one side			Піддається впливу з однієї сторони Exposed on one side
	$\mu_{fi}=0,2$	$\mu_{fi}=0,5$	$\mu_{fi}=0,7$	$\mu_{fi}=0,7$
	2	3	4	5
1				
R 30	200/25	200/25	200/32 300/27	155/25
R 60	200/25	200/36 300/31	250/46 350/40	155/25
R 90	200/31 300/25	300/45 400/38	350/53 450/40**	155/25
R 120	250/40 350/35	350/45** 450/40**	350/57** 450/51**	175/35
R 180	350/45**	350/63**	450/70**	230/55
R 240	350/61**	450/75**	-	295/70
**) Мінімум 8 стрижнів Minimum 8 bars Для попередньо напружених колон повинно позначатися збільшення відстані до осі арматури згідно з 4.2.2 (4). For prestressed columns the increase of axis distance according to 4.2.2 (4) should be noted.				

Висновок: за результатами табличного методу конструкція перевірку не пройшла (при ширині 300 мм мінімальна відстань до осі арматури повинна бути не менше 38 мм для відповідності класі R120).

8. Приступаємо до спрощеного (зонного) методу.

Поперечний переріз колони розглядаємо як такий, що зазнає вогневого впливу з чотирьох сторін. Відстань до вісі арматури 18 мм.

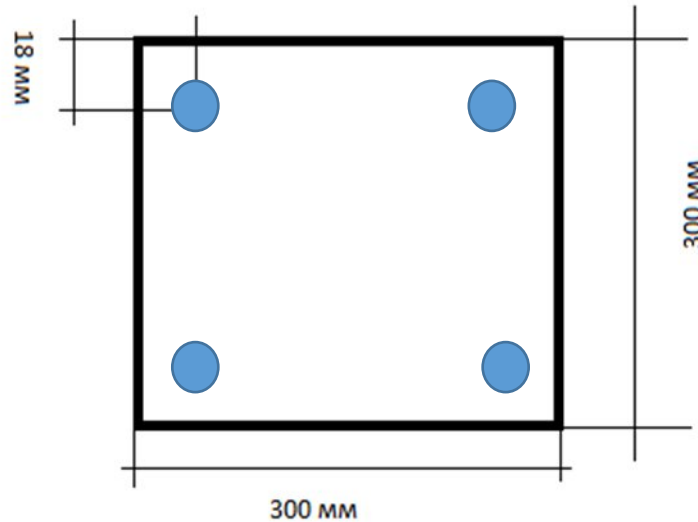


Рисунок 7. Переріз залізобетонної колони.

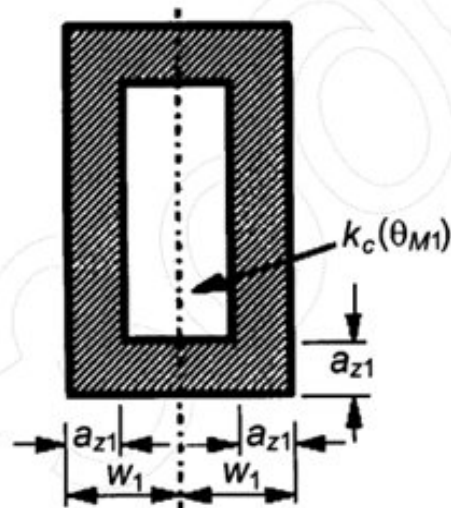


Рисунок 8. Приведений поперечний переріз колони.

Приведення поперечного перерізу базується на визначенні a_z – пошкодженої зони поверхні, що обігривається.

Приступаємо до використання рисунку А.14 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).

$\frac{1}{2}$ товщині колони 150 мм ділимо на 5 однакових паралельних зон, тобто на 30 мм кожну.

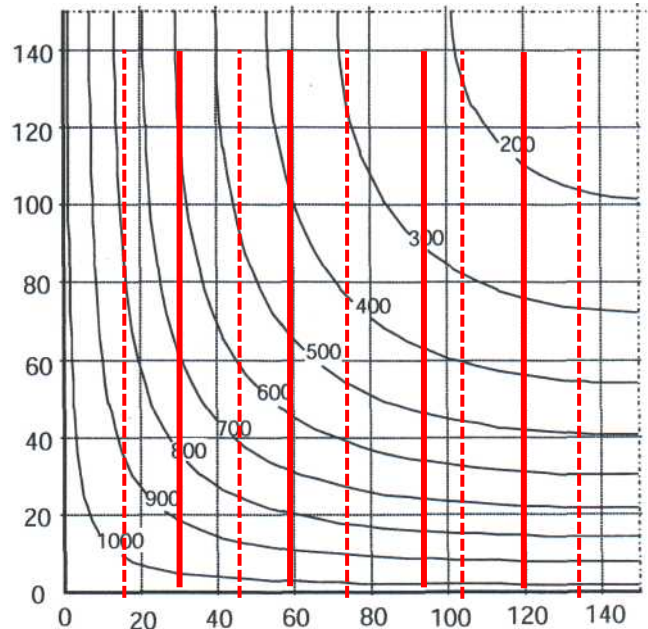


Рисунок 9 – Температурні криві колони $h \times b = 300 \text{ мм} \times 300 \text{ мм}$ – R120, °C

Визначаємо температури для середини кожної зони перерізу та для центру всього перерізу Θ_M , тобто на 150 мм:

$$\Theta_1(15\text{мм})=800^\circ\text{C},$$

$$\Theta_2(45\text{мм})=480^\circ\text{C},$$

$$\Theta_3(75\text{мм})=300^\circ\text{C},$$

$$\Theta_4(105\text{мм})=200^\circ\text{C},$$

$$\Theta_5(135\text{мм})=150^\circ\text{C},$$

$$\Theta_M(150\text{мм}) = 120^\circ\text{C}.$$

9. Визначаємо відповідні коефіцієнти зниження міцності бетону на стиск $k_c(\Theta_i)$

Таблиця значення параметрів діаграми «напруження-деформація» для звичайного бетону за підвищених температур.

Температура бетону, θ , °C	Силікатний заповнювач			Карбонатний заповнювач		
	$f_{c,\theta}/f_{ck}$	$\epsilon_{c1,\theta}$	$\epsilon_{cu1,\theta}$	$f_{c,\theta}/f_{ck}$	$\epsilon_{c1,\theta}$	$\epsilon_{cu1,\theta}$
1	2	3	4	5	6	7
100	1,00	0,0040	0,0225	1,00	0,0040	0,0225
200	0,95	0,0055	0,0250	0,97	0,0055	0,0250
300	0,85	0,0070	0,0275	0,91	0,0070	0,0275
400	0,75	0,0100	0,0300	0,85	0,0100	0,0300
500	0,60	0,0150	0,0325	0,74	0,0150	0,0325
600	0,45	0,0250	0,0350	0,60	0,0250	0,0350
700	0,30	0,0250	0,0375	0,43	0,0250	0,0375
800	0,15	0,0250	0,0400	0,27	0,0250	0,0400
900	0,08	0,0250	0,0425	0,15	0,0250	0,0425
1000	0,04	0,0250	0,0450	0,06	0,0250	0,0450
1100	0,01	0,0250	0,0475	0,02	0,0250	0,0475
1200	0,00	—	—	0,00	—	—

Враховуючи, що за умовами бетон з силікатним заповнювачем, за допомогою таблиці визначаємо:

$$k_c(\theta_1) = 0,15 \text{ (для } 800^\circ\text{C)};$$

$$k_c(\theta_2) = 0,63 \text{ (для } 480^\circ\text{C)};$$

$$k_c(\theta_3) = 0,85 \text{ (для } 300^\circ\text{C)};$$

$$k_c(\theta_4) = 0,95 \text{ (для } 200^\circ\text{C)};$$

$$k_c(\theta_5) = 0,975 \text{ (для } 150^\circ\text{C)};$$

$$k_c(\theta_M) = 0,99 \text{ (для } 120^\circ\text{C)}$$

Застосуємо метод інтерполяції для визначення коефіцієнта k_c для температури 480°C :

$$0,75 - ((0,75-0,6)/100)*(480-400)) = 0,75 - 0,0015 * 80 = 0,75 - 0,12 = 0,63$$

Визначаємо середній коефіцієнт зниження міцності бетону для визначеної частини, що враховує при розрахунку зміни кожної зони, за формулою:

$$k_{c,m} = \frac{(1-0,2/n)}{n} \sum_{i=1}^n k_c(\theta_i) = \frac{(1-0,2/5)}{5} \cdot (0,15 + 0,63 + 0,85 + 0,95 + 0,975) = 0,683$$

Розраховуємо ширину пошкодженої зони колони за формулою:

$$a_z = w \left[1 - \left(\frac{k_{c,m}}{k_c(\theta_M)} \right)^{1,3} \right] = 150 \cdot \left[1 - \left(\frac{0,683}{0,99} \right)^{1,3} \right] = 57,42 \text{ мм}$$

Приймаємо 57,5 мм. Зменшимо висоту та ширину поперечного перерізу колони на величину $a_z = 57,5$ мм з усіх боків, що зазнає вогневого впливу.

Розрахункова висота перерізу $h_{fi} = 300 - 57,5 \cdot 2 = 185$ мм, ширина $b_{fi} = 300 - 57,5 \cdot 2 = 185$ мм.

8. Визначаємо температуру арматурних стержнів:

Відстань від поверхні до середини арматурного стержня 18 мм. За рисунком 11б, для колони із R120 визначаємо температуру арматурних стержнів Θ_1 , що дорівнює 950°C .

Тепер визначаємо коефіцієнт k_s для температури 950°C :

$k_s(\Theta) = 1,0$	для $20^\circ\text{C} \leq \Theta \leq 100^\circ\text{C}$
$k_s(\Theta) = 0,7 - 0,3(\Theta - 400)/300$	для $100^\circ\text{C} < \Theta \leq 400^\circ\text{C}$
$k_s(\Theta) = 0,57 - 0,13(\Theta - 500)/100$	для $400^\circ\text{C} < \Theta \leq 500^\circ\text{C}$
$k_s(\Theta) = 0,1 - 0,47(\Theta - 700)/200$	для $500^\circ\text{C} < \Theta \leq 700^\circ\text{C}$
$k_s(\Theta) = 0,1(1200 - \Theta)/500$	для $700^\circ\text{C} < \Theta \leq 1200^\circ\text{C}$

$$k_s(950^\circ\text{C}) = 0,1 \cdot (1200 - 950) / 500 = 0,05$$

таким чином, маємо:

$$\Theta_1 = 950^\circ\text{C}, \quad k_s(\Theta) (950^\circ\text{C}) = 0,05$$

$k_s(\Theta)$ - середній коефіцієнт зниження міцності арматури.

Для температури 950°C $k_s(\Theta) = 0,05$

Визначаємо зменшену міцність арматури залежно від температури стержнів.

$$f_{su,fi}(\Theta_M) = 0,87 \times f_{yk} \times k_s(\Theta) = 0,87 \times 500 \times 0,05 = 21,75 \text{ МПа}$$

9. Проводимо розрахунок колони на несучу здатність, враховуючи зменшену міцність арматури та відкидаючи пошкоджений шар бетону.

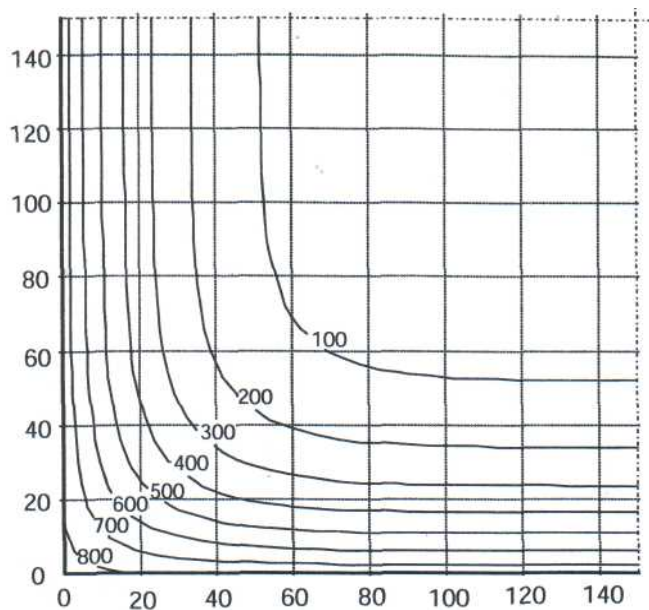
$$N_{Rd,fi} = (f_{cu} \times A_{c,fi}) + (f_{su,fi} \times A_s) = (0,567 \times 30 \times 34225) + (21,75 \times 804) = 652,1 \text{ кН}$$

де f_{cu} - гранична межа міцності бетону при стисканні
 $f_{cu} = 0,567 \times f_{ck} = 17,01 \text{ МПа};$
 $A_{c,fi}$ - площа перерізу бетону при пожежі $= 185 \times 185 = 34225 \text{ мм}^2;$

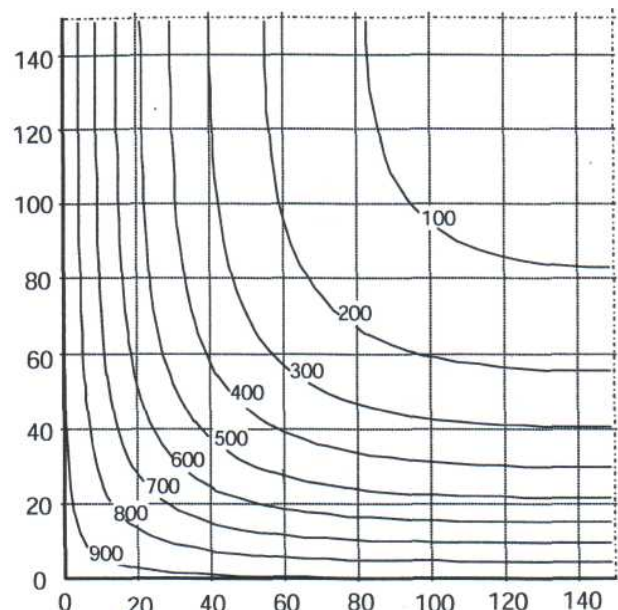
$$N_{Ed,fi} = \gamma_n (G_k + 0,8 \times Q_k) = 0,975 (800 + 0,8 \times 360) = 1060,8 \text{ кН}$$

$$\text{Таким чином: } N_{Ed,fi} > N_{Rd,fi}$$

Висновок: за результатами розрахунку зонним методом, встановлено, що вогнестійкість колони не забезпечено.

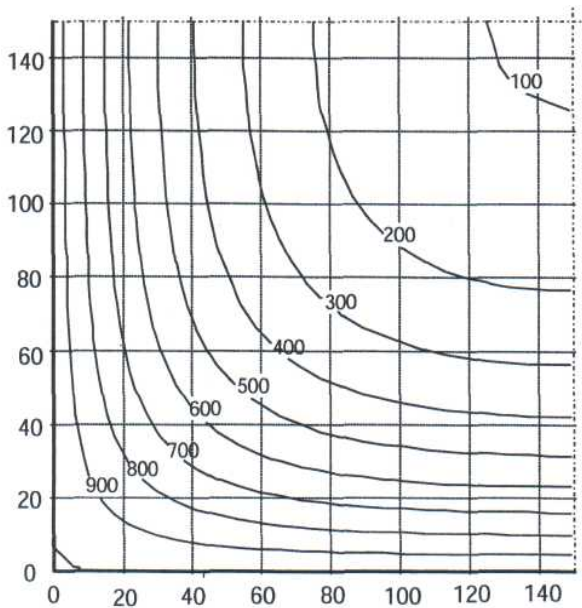


а)

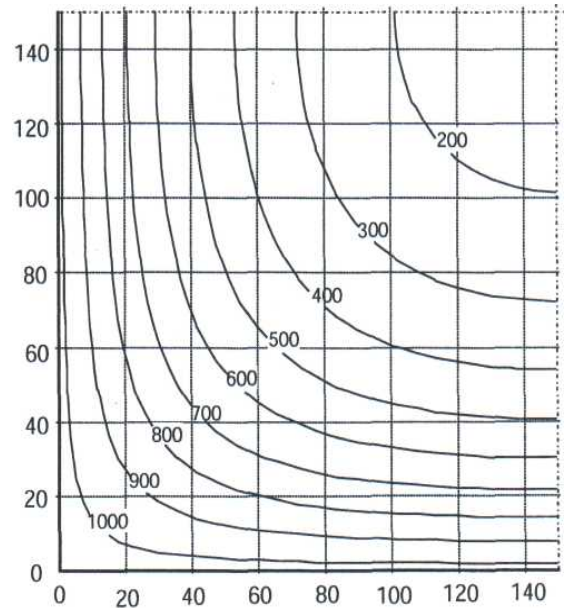


б)

Рисунок 10 - Температурні криві колони $h \times b=300 \text{ мм} \times 300 \text{ мм}$, а – R30, б – R60



а)



б)

Рисунок 11 – Температурні криві колони $h \times b=300 \text{ мм} \times 300 \text{ мм}$, а) – R90, б) – R120

Перевірка відповідності класу вогнестійкості стіни.

Завдання: Визначити вогнестійкість залізобетонної несучої стіни, що впливає на жорсткість будівлі за допомогою табличного та спрощеного (зонного) методу. Вогневий вплив з одного боку.

1. Обираємо свій варіант. Вихідні дані.

- ступінь вогнестійкості будівлі I;
- клас бетону C 30/35;
- розмір перерізу 2700 мм × 200 мм;
- відстань до осі арматури 18 мм;
- поздовжнє армування, що складається з чотирьох стержнів діаметром 16 мм маркою сталі A500C, A_s —площа поперечного перерізу арматури 804 мм².
- постійне навантаження на стіну $G_k = 700$ кН, та змінне навантаження $Q_k = 500$ кН.

Коефіцієнт надійності за відповідальністю конструкції γ_n прийнятий 0,975.

2. Визначаємо необхідний нормований клас вогнестійкості стіни.

Враховуючи, що за умовою, будівля I ступеню вогнестійкості, стіна повинна відповідати класу вогнестійкості REI 150.

3. Переходимо до табличного методу перевірки стіни на клас вогнестійкості R 150.

Для того щоб визначити, за яким стовпчиком перевіряти геометричні параметри (товщина стіни – у всіх 200 мм) та відстань до осі арматури) необхідно врахувати сценарій впливу пожежі та визначити коефіцієнт використання конструкції при пожежі μ_{fi} , якій не повинен бути більшим за 0,7. За умовами розглядається тепловий вплив від пожежі з одного боку

$$\mu_{fi} = N_{Ed,fi} / N_{Rd} = 1072,5 / 9680,9 = 0,11 \leq 0,7 \text{ умова виконується та}$$

можемо використовувати 2 стовпчик з $\mu_{fi} = 0,35$

$$N_{Ed,fi} = \gamma_n (G_k + 0,8 \times Q_k) = 0,975 (700 + 0,8 \times 500) = 1072,5 \text{ кН}$$
$$N_{Rd} = (f_{cu} \times A_c) + (f_{su} \times A_s) = (0,576 \times 30 \times (2700 \times 200)) + (500 \times 0,87 \times 804) = 9680,9 \text{ кН}$$

Таблиця – Мінімальні розміри та відстані до осі арматури несучих залізобетонних стін

Нормована вогнестійкість Standard Fire resistance	Мінімальні розміри, мм. Товщина стіни/відстань до осі арматури Minimum dimensions (mm) Wall thickness/axis distance for			
	$\mu_{fi}=0,35$		$\mu_{fi}=0,7$	
	стіна з одностороннім впливом вогню wall exposed on one side	стіна з двостороннім впливом вогню wall exposed on two sides	стіна з одностороннім впливом вогню wall exposed on one side	стіна з двостороннім впливом вогню wall exposed on two sides
1	2	3	4	5
REI 30	100/10*	120/10*	120/10*	120/10*
REI 60	110/10*	120/10*	130/10*	140/10*
REI 90	120/20*	140/10*	140/25	170/25
REI 120	150/25	160/25	160/35	220/35
REI 180	180/40	200/45	210/50	270/55
REI 240	230/55	250/55	270/60	350/60
*) Як правило, захисний шар бетону уточнюється згідно з EN 1992-1-1 Normally the cover required by EN 1992-1-1 will control. Примітка. Визначення μ_{fi} згідно з 5.3.2 (3). Note: For the definition of μ_{fi} see 5.3.2 (3).				

Висновок: За результатами перевірки за табличним методом встановлено, що задана конструкція стіни перевірку не пройшла за недостатню відстань до осі арматури (18 в заданій конструкції, треба мінімальна при ширині стіни 165 мм 33 мм).

3. Приступаємо до спрощеного (зонного) методу.

Поперечний переріз стіни розглядаємо як такий, що зазнає вогневого впливу з одного боку. Відстань до вісі арматури від сторони стіни, що зазнає вогневого впливу складе 18 мм.

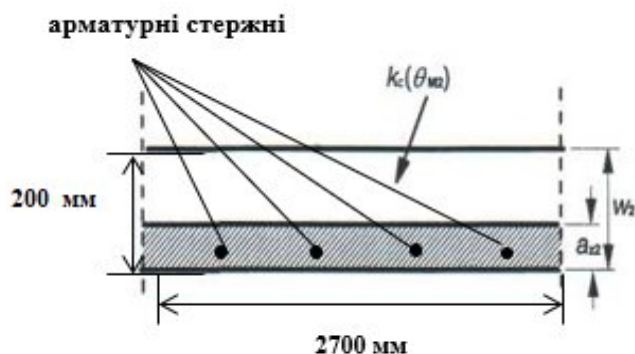


Рисунок 12. Приведений поперечний переріз залізобетонної стіни.

Приведення поперечного перерізу базується на визначенні a_z – пошкодженої зони обігрівної поверхні.

Приступаємо до використання рисунку А.2 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).

$\frac{1}{2}$ товщині стіни 100 мм ділимо на 5 однакових паралельних зон, тобто на 20 мм кожному.

За рисунком 13 визначаємо температури для середини кожної зони перерізу та для центру всього перерізу Θ_M , тобто на 100 мм. Визначаємо температуру для класу вогнестійкості R 150:

$$\begin{aligned}\Theta_1(10\text{мм}) &= 880\text{ }^\circ\text{C}, \Theta_2(30\text{мм}) = 620\text{ }^\circ\text{C}, \Theta_3(50\text{мм}) = 450\text{ }^\circ\text{C}, \\ \Theta_4(70\text{мм}) &= 300\text{ }^\circ\text{C}, \Theta_5(90\text{мм}) = 220\text{ }^\circ\text{C}, \Theta_M = 180\text{ }^\circ\text{C}.\end{aligned}$$

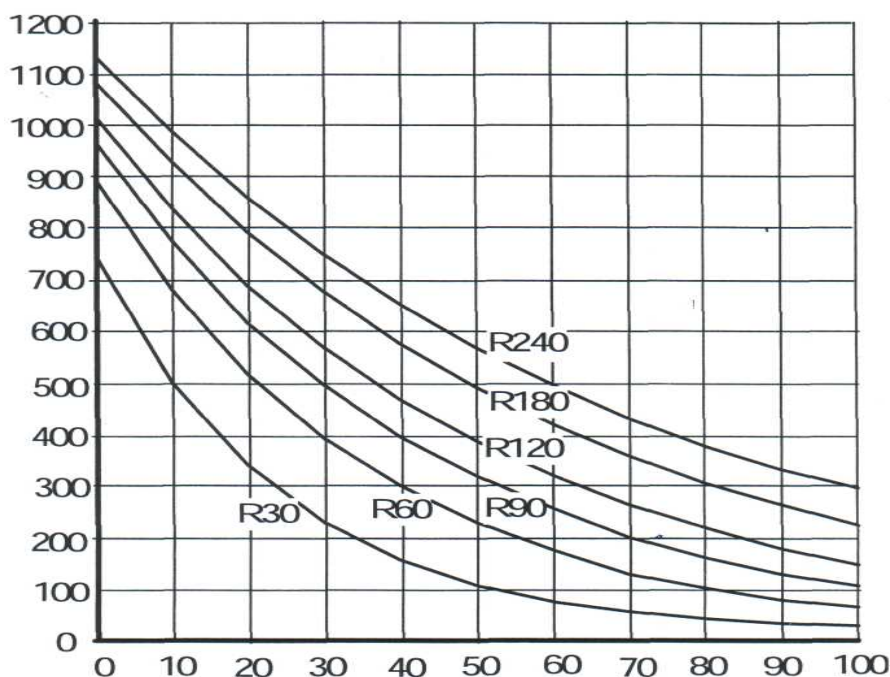


Рисунок 13 – Температурні криві стін (товщина 200мм) для R30 – R240.

4. Визначаємо коефіцієнти зниження міцності бетону на стиск $k_c(\Theta_i)$

Таблиця значення параметрів діаграми «напруження-деформація» для звичайного бетону за підвищених температур.

Температура бетону, θ , °C	Силікатний заповнювач			Карбонатний заповнювач		
	$f_{c,0}/f_{ck}$	$\epsilon_{c1,0}$	$\epsilon_{cu1,0}$	$f_{c,0}/f_{ck}$	$\epsilon_{c1,0}$	$\epsilon_{cu1,0}$
1	2	3	4	5	6	7
100	1,00	0,0040	0,0225	1,00	0,0040	0,0225
200	0,95	0,0055	0,0250	0,97	0,0055	0,0250
300	0,85	0,0070	0,0275	0,91	0,0070	0,0275
400	0,75	0,0100	0,0300	0,85	0,0100	0,0300
500	0,60	0,0150	0,0325	0,74	0,0150	0,0325
600	0,45	0,0250	0,0350	0,60	0,0250	0,0350
700	0,30	0,0250	0,0375	0,43	0,0250	0,0375
800	0,15	0,0250	0,0400	0,27	0,0250	0,0400
900	0,08	0,0250	0,0425	0,15	0,0250	0,0425
1000	0,04	0,0250	0,0450	0,06	0,0250	0,0450
1100	0,01	0,0250	0,0475	0,02	0,0250	0,0475
1200	0,00	—	—	0,00	—	—

$k_c(\theta_1) = 0,122$; $k_c(\theta_2) = 0,42$; $k_c(\theta_3) = 0,675$; $k_c(\theta_4) = 0,85$; $k_c(\theta_5) = 0,93$; $k_c(\theta_M) = 0,96$, враховуючи що за умовами бетон з силікатним заповнювачем.

Визначаємо середній коефіцієнт зниження міцності бетону для визначеної частини, що враховує при розрахунку зміни кожної зони за формулою:

$$k_{c,m} = \frac{(1 - 0,2/n)}{n} \sum_{i=1}^n k_c(\theta_i) = \frac{(1 - 0,2/5)}{5} \times (0,122 + 0,42 + 0,675 + 0,85 + 0,93) = 0,575$$

Товщину пошкодженого шару бетону визначаємо за формулою:

$$a_z = w \left[1 - \left(\frac{k_{c,m}}{k_c(\theta_M)} \right)^{1,3} \right] = 100 \left[1 - \left(\frac{0,575}{0,96} \right)^{1,3} \right] = 48,6 \text{ мм, приймаємо } 49 \text{ мм}$$

Приймаємо 49 мм. Зменшимо товщину (у даному випадку ширину) поперечного перерізу стіни на величину $a_z = 49$ мм з одного боку, що зазнає вогневого впливу.

Розрахункова ширина перерізу $b_{fi} = 200 - 49 = 151$ мм.

5. Визначаємо температуру в арматурних стержнях

$$\theta_l = 630 \text{ °C}, \quad k_s(\theta)(630 \text{ °C}) = 0,382 = k_v;$$

$k_s(\Theta) = 1,0$	для $20^{\circ}\text{C} \leq \Theta \leq 100^{\circ}\text{C}$
$k_s(\Theta) = 0,7 - 0,3(\Theta - 400)/300$	для $100^{\circ}\text{C} < \Theta \leq 400^{\circ}\text{C}$
$k_s(\Theta) = 0,57 - 0,13(\Theta - 500)/100$	для $400^{\circ}\text{C} < \Theta \leq 500^{\circ}\text{C}$
$k_s(\Theta) = 0,1 - 0,47(\Theta - 700)/200$	для $500^{\circ}\text{C} < \Theta \leq 700^{\circ}\text{C}$
$k_s(\Theta) = 0,1(1200 - \Theta)/500$	для $700^{\circ}\text{C} < \Theta \leq 1200^{\circ}\text{C}$

Визначаємо зменшену міцність арматури залежно від температури стержнів.

$$f_{su,fi}(\Theta_M) = 0,87 \times f_{yk} \times k_v(\Theta) = 0,87 \times 500 \times 0,382 = 166,17 \text{ МПа}$$

6. Проводимо розрахунок стіни на несучу здатність, враховуючи зменшену міцність арматури та відкидаючи пошкоджений шар бетону.

$$N_{Rd,fi} = (f_{cu} \times A_{c,fi}) + (f_{su,fi} \times A_s) = (0,576 \times 30 \times 406896) + (166,17 \times 804) = 7164,76 \text{ кН}$$

де f_{cu} – гранична межа міцності бетону при стисканні $= 0,576 \times f_{ck} = 17,01 \text{ МПа}$;

$A_{c,fi}$ – площа перерізу бетону при пожежі $= 151 \times 2700 = 407700 \text{ мм}^2$;

Площа бетону за виключенням площі арматури:

$$407700 - 804 = 406896 \text{ мм}^2$$

$$N_{Ed,fi} = \gamma_n (G_k + 0,8 \times Q_k) = 0,975 (700 + 0,8 \times 500) = 1072,5 \text{ кН}$$

$$N_{Rd,fi} > N_{Ed,fi}$$

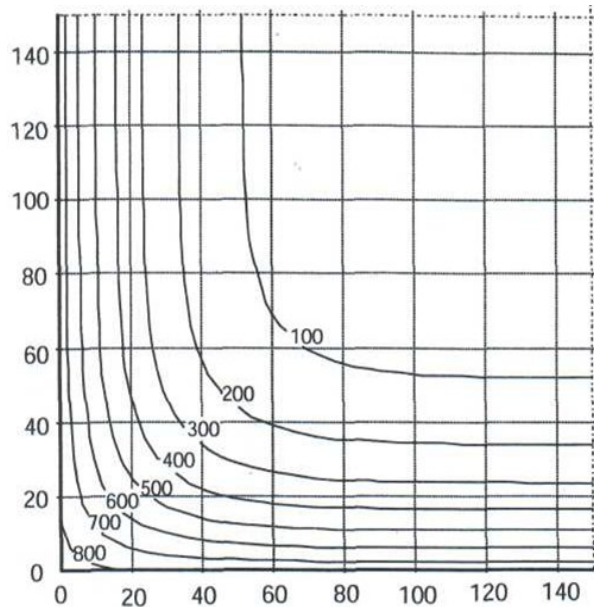
$$7164,7 \text{ кН} > 1072,5 \text{ кН}$$

Висновок: отже, за результатами розрахунку зонним методом, встановлено, що клас вогнестійкості стіни R150 забезпечено.

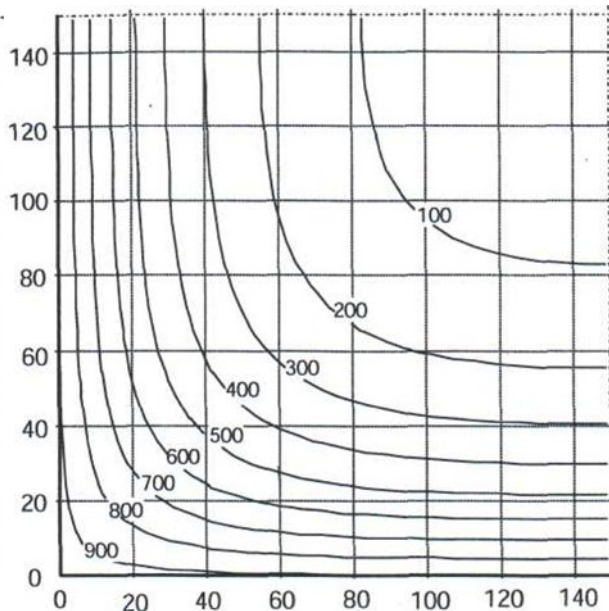
ДОДАТКИ

Додаток 1.

Температурні криві колони $h \times b = 300 \text{ мм} \times 300 \text{ мм}$, а – R30, б – R60

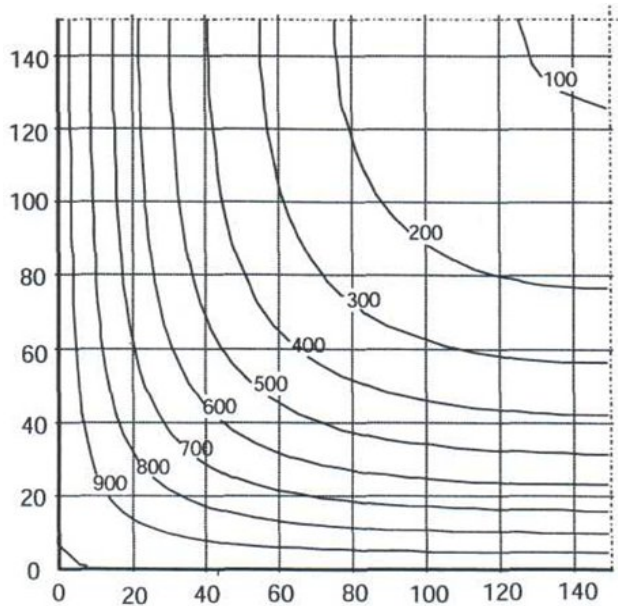


а)

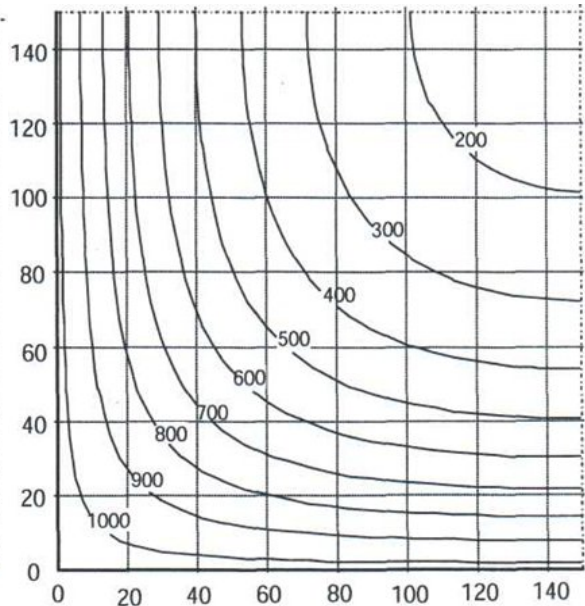


б)

Температурні криві колони $h \times b = 300 \text{ мм} \times 300 \text{ мм}$: а – R90, б – R120



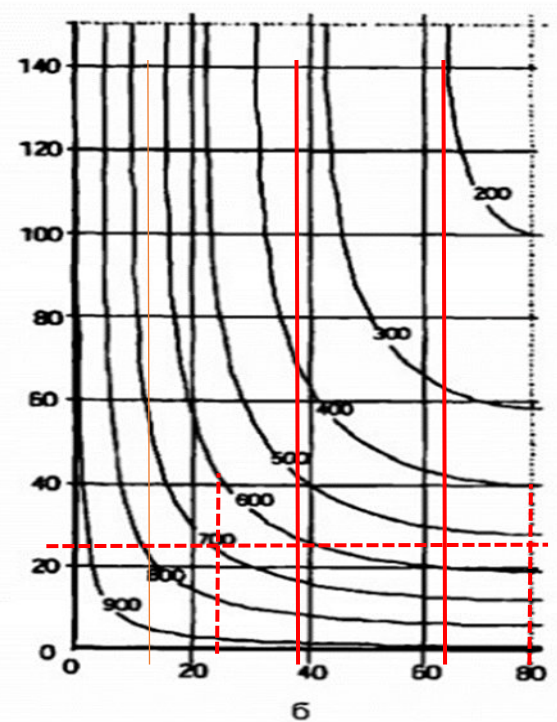
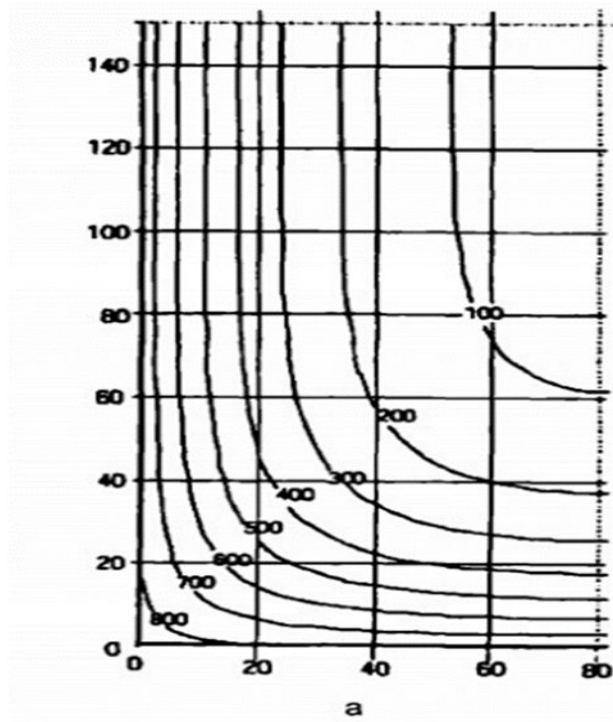
в)



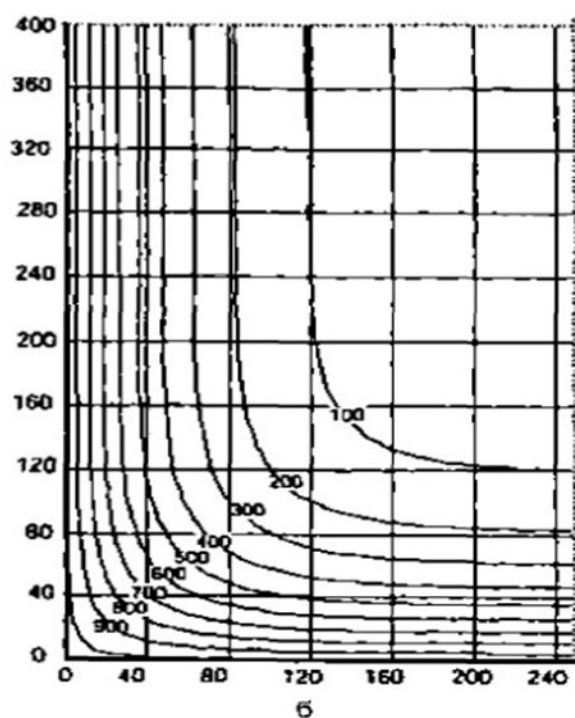
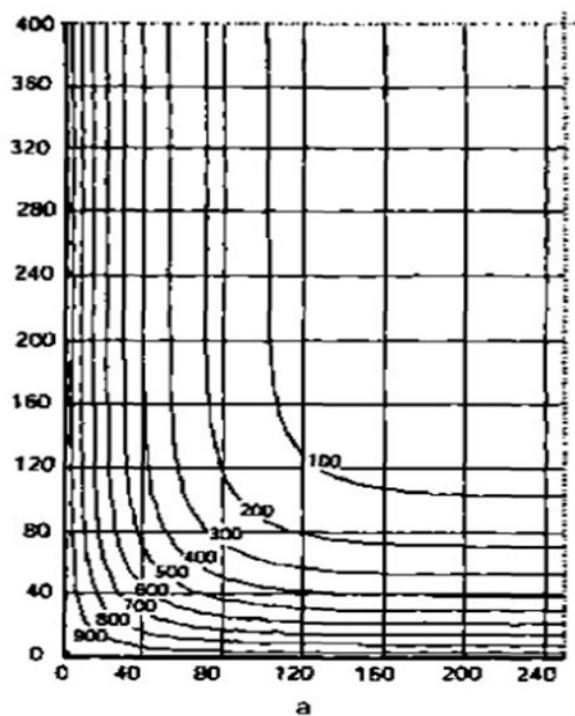
г)

Додаток 2.

Температурні криві балки $h \times b = 300 \text{ мм} \times 160 \text{ мм}$, °C:
а – R30; б – R60.

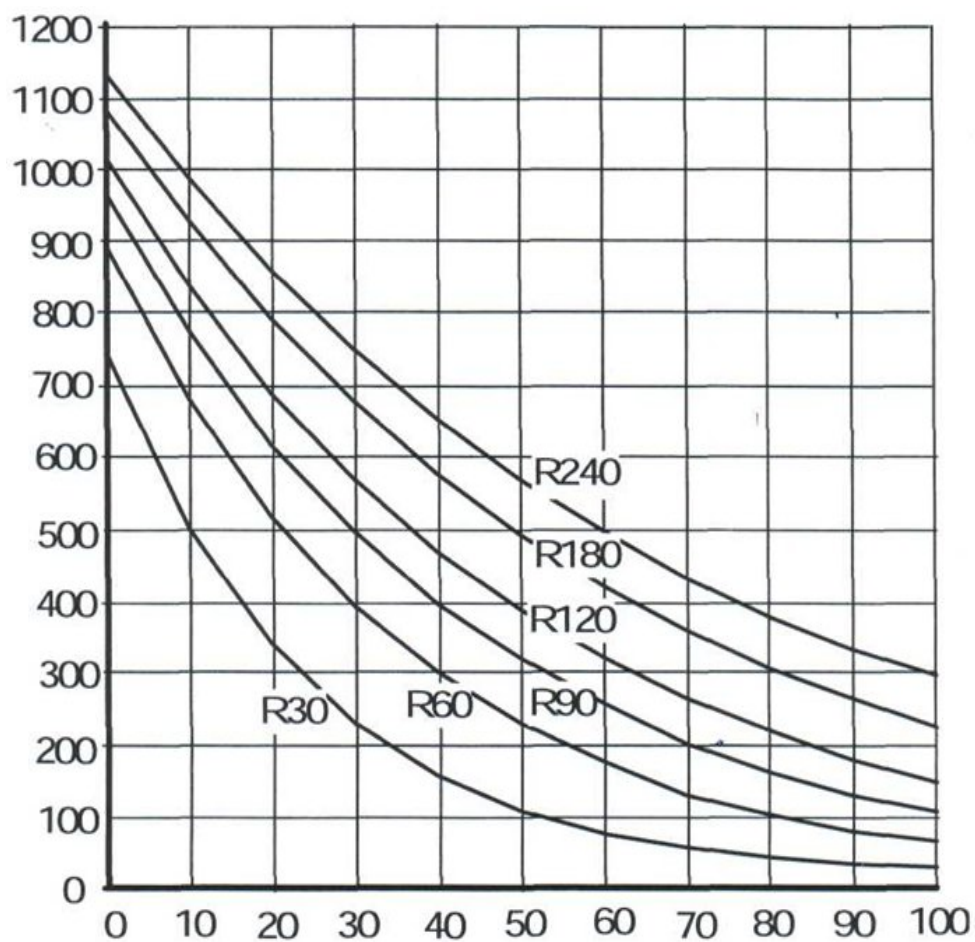


Температурні криві балки $h \times b = 800 \text{ мм} \times 500 \text{ мм}$, °C:
а – R90; б – R120.



Додаток 3

Температурні криві стін (товщина 200мм) для R30 – R240.



Додаток 4

Основні позначення

Великі латинські літери

- $E_{d,fi}$ розрахунковий навантажувальний ефект під час пожежі
 E_d розрахунковий навантажувальний ефект за нормальної температури
 $R_{d,fi}$ розрахунковий опір під час пожежі; $R_{d,fi}(t)$ для часу t
R 30 or R 60, ... клас вогнестійкості за ознакою втрати несучої здатності протягом 30 або 60 хвилин за стандартного температурного режиму
E 30 or E 60 ... клас вогнестійкості за ознакою втрати цілісності протягом 30 або 60 хвилин за стандартного температурного режиму
I 30 or I 60, ... клас вогнестійкості за ознакою втрати теплоізолювальної здатності протягом 30 або 60 хвилин за стандартного температурного режиму
 T температура, К (переносяться з температури θ , °C);
 X_k характеристичне значення характеристики міцності або деформативності за нормальних температур
 $X_{d,fi}$ розрахункові характеристики міцності або деформативності під час пожежі

Малі латинські літери

- a відстань від найближчої обігріваної поверхні до осі ненапруженої або попередньо напруженої арматури (надалі відстань до осі арматури)
 c_c теплоємність бетону, Дж/(кг·К)

$f_{ck}(\theta)$ характеристичне значення міцності бетону на стиск за температури θ для заданої деформації

$f_{ck,t}(\theta)$ характеристичне значення міцності бетону на розтяг за температури θ для заданої деформації

$f_{pk}(\theta)$ характеристичне значення опору попередньо напруженої арматури за температури θ для температурної деформації

$f_{sk}(\theta)$ характеристичне значення опору ненапруженої арматури за температури θ для температурної деформації

f_{yk} характеристична міцність сталевих арматур на розтяг

f_{yd} розрахункова міцність сталевих арматур на розтяг

$k_{(\theta)} = X_{k(\theta)} / X_k$ коефіцієнт зниження для міцності або деформативності за температури θ

$n = N_{0Ed,fi} / (0,7(A_s f_{cd} + A_s f_{yd}))$ рівень навантаження колони за нормальних температур

t тривалість вогневого впливу, хв

z плече внутрішньої пари сил

d робоча висота перерізу

x висота стиснутої зони перерізу (відстань до нейтральної вісі)

Малі грецькі літери

$\gamma_{M,fi}$ коефіцієнт надійності матеріалу під час пожежі

$\eta_{fi} = E_{d,fi} / E_d$ коефіцієнт зниження, що визначає рівень навантаження під час пожежі

$\mu_{fi} = N_{Ed,fi} / N_{Rd}$ коефіцієнт використання під час пожежі

$\varepsilon_{c(\theta)}$ температурна деформація бетону

$\varepsilon_{p(\theta)}$ температурна деформація попередньо напруженої арматури

$\varepsilon_{s(\theta)}$ температурна деформація ненапруженої арматури

$\varepsilon_{s,fi}$ деформація ненапруженої та попередньо напруженої арматури за температури θ

λ_c теплопровідність бетону, Вт/(мК)

$\lambda_{0,fi}$ гнучкість колони під час пожежі

$\sigma_{c,fi}$ напруження стиску в бетоні під час пожежі

$\sigma_{s,fi}$ напруження арматури під час пожежі

θ температура, $^{\circ}\text{C}$

θ_{cr} критична температура, $^{\circ}\text{C}$

Доповнення до EN 1992-1-1,

використовуються наступні індекси

f_i значення під час пожежі

t залежність від часу

θ залежність від температури

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДБН В.1.1-7:2016 Пожежна безпека об'єктів будівництва.
2. ДБН В.1.2-14:2018 Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд.
3. ДСТУ-Н Б EN 1991-1-2:2010 Єврокод 1. Дії на конструкції. Частина 1-2. Загальні дії. Дії на конструкції під час пожежі (EN 1991-1-2:2002, IDT).
4. ДСТУ EN 1365-2:2023 Випробування несучих будівельних конструкцій на вогнестійкість. Частина 2. Перекриття та покриття (EN 1365-2:2014, IDT).
5. ДСТУ-Н Б EN 1992-1-1:2010. Єврокод 2. Проектування залізобетонних конструкцій. Частина 1-1. Загальні правила і правила для споруд (EN 1992-1-1:2004, IDT)
6. 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).
7. ДБН В.2.6-98:2009 Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення.
8. ДСТУ Б В.2.6-156:2010 Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування.
9. Тищенко О.М., Поздєєв С. В., Рудешко І.В., Березовський А. І., Сідней С.О. Стійкість будівель і споруд при пожежі: Посібник. Черкаси:

Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля, НУЦЗ
України 2019. – 332с, рис.

- 10.ДСТУ 3760:2019 Прокат арматурний для залізобетонних конструкцій.
Загальні технічні умови.