

УДК 614.841.41

*С. В. Поздєєв, д. т. н., проф., Ю. А. Отрош, к. т. н., доц.,
Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля НУЦЗ України,
В. В. Нижник, к. т. н., с. н. с., О. П. Борис,
Науково-дослідний інститут цивільного захисту*

ОЦІНКА КЛАСУ ВОГНЕСТІЙКОСТІ САМОНЕСУЧОЇ СТІНИ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ МОДУЛІВ СХОВИЩА ВІДПРАЦЬОВАНОВОГО ЯДЕРНОГО ПАЛИВА

Викладено методику оцінки класу вогнестійкості самонесучих залізобетонних стін. Розвинута методологія застосування методів розрахунків меж вогнестійкості, заснованих на використанні методу кінцевих елементів та методу кінцевих різниць, для забезпечення пожежної безпеки залізобетонних модулів зберігання сховища відпрацьованого ядерного палива.

Ключові слова: аварійні ситуації, пожежа, клас вогнестійкості, вогнестійкість, модулі зберігання, залізобетонна перегородка, табличний метод, метод кінцевих різниць, цілісність, теплопровідність, теплоємність.

Постановка проблеми. На об'єктах зберігання відпрацьованого ядерного палива, має бути розглянутий випадок виникнення та розвитку пожежі у внутрішньому просторі залізобетонних блоків. Потрібно зазначити, що об'єкт не може бути класифікований з огляду на чинну нормативну базу України щодо його ступеня вогнестійкості, зважаючи на відсутність необхідності забезпечення евакуації людей, гарантування безпеки рятувальних підрозділів з врахуванням ризиків обвалення конструкцій. Для цього достатньо забезпечити вогнестійкість за I ступенем вогнестійкості згідно із класифікацією класів вогнестійкості будівельних конструкцій за ДБН В. 1.1-7-2002. Дані вимоги встановлені згідно із п 4.1 Індивідуальних технічних вимог з пожежної безпеки ISF/UKR/102425-ИТТ інв. № 42767 «Проект. Завершення будівництва. Сухого сховища відпрацьованого ядерного палива (СВЯП-2)».

Для оцінки вогнестійкості конструкцій пропонується розроблена і відповідним чином затверджена методика оцінки класу вогнестійкості будівельних конструкцій залізобетонних модулів зберігання сховища відпрацьованого ядерного палива СВЯП-2. До таких елементів належать зовнішня залізобетонна несуча стіна, зовнішня залізобетонна самонесуча стіна, залізобетонна ненесуча стіна (перегородка) та плита залізобетонного перекриття.

Пропонуєма методика базується на стандартах, гармонізованих із відповідною методичною та нормативною базою Об'єднаної Європи, а також узгоджується із результатами досліджень вітчизняних та закордонних авторів, які апробовані, обговорені та визнані науковою спільнотою і входять у основну базу літературних посилань та цитування фахівцями даної галузі.

Постановка задачі та її розв'язання. Мета роботи – розвиток методології застосування методів розрахунків меж вогнестійкості, заснованих на використанні методу кінцевих елементів та методу кінцевих різниць, на прикладі оцінки вогнестійкості самонесучої залізобетонної стіни, забезпечення пожежної безпеки залізобетонних модулів зберігання сховища відпрацьованого ядерного палива СВЯП-2.

Виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів. Зовнішня торцева стіна не має навантаження з боку залізобетонних плит покриття і не є несучою. Дана стіна є монолітною із залізобетонною подушкою, що є основою блоку сховища. На рис. 1 показана конструкція досліджуваної стіни.

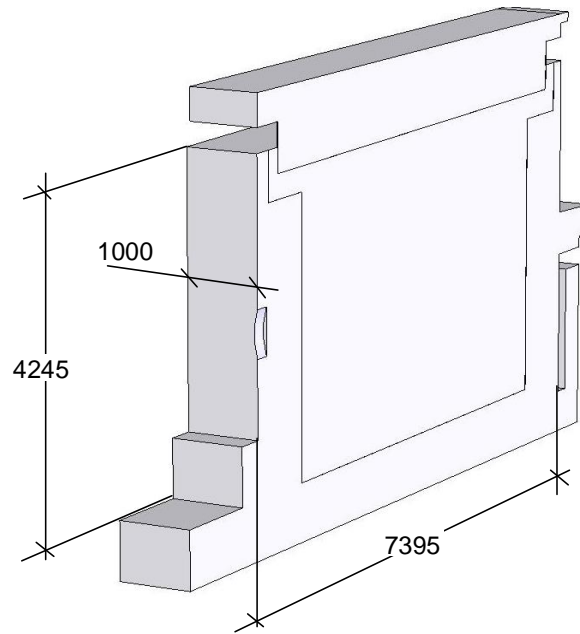


Рисунок 1. – Фрагмент стіни, яка піддається тепловому впливу пожежі, із небезпечним перерізом, що використовується для розрахунку.

При розгляді торцевої самонесучої стіни достатньо розглянути її фрагмент. На рис. 2 показана геометрична конфігурація та схема розташування арматури вибраного фрагменту.

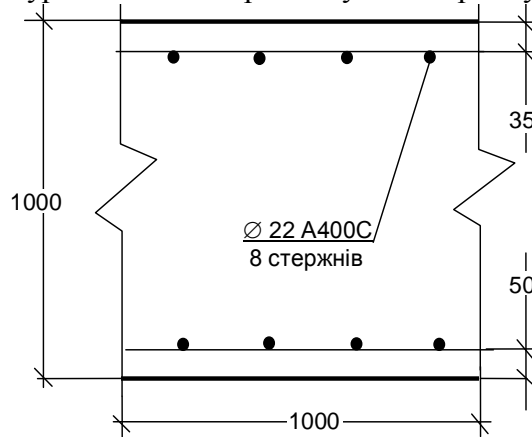


Рисунок 2. – Фрагмент торцевої самонесучої стіни, що використовується для розрахунку із схемою розташування арматури.

В табл. 1. наведені дані щодо арматури та бетону залізобетонної стіни.

Таблиця 1 – Характеристики бетону та арматури поперечного залізобетонної стіни

Параметри арматури	Клас бетону
Ø22 A400C	C 40/45 (B40)

Відповідно до Індивідуальних технічних вимог з пожежної безпеки ISF/UKR/102425-ИТТ інв. № 42767 «Проект. Завершення будівництва. Сухого сховища відпрацьованого ядерного палива (СВЯП-2) дана стіна повинна відповідати вимогам до подібних стін за I ступенем вогнестійкості згідно із ДБН В 1.1.7 – 2002, тобто має відповідати класу вогнестійкості REI 75.

Для вивчення розподілень температури по перерізу стіни використана розрахункова методика, заснована на розв'язку рівняння теплопровідності із граничними умовами (ГУ) III роду рекомендована чинними стандартами України і детально описана у роботах [1 – 4, 6].

Для розрахунку також необхідно задати початкову температуру розрахункової області та параметри граничних умов. Параметри граничних умов наведені у табл. 2.

Таблиця 2 – Параметри граничних умов для залізобетонної зовнішньої самонесучої стіни

Параметр	Позн.	Од.вим.	Вел.	Посилання
Обігрівна сторона				
Конвективна складова коефіцієнту теплообміну	α_c	Вт/(м ² °С)	25	ДСТУ-Н Б EN 1991-1-2:2012
Ступінь чорноти	ε		0,7	ДСТУ-Н Б EN 1991-1-2:2012
Необігрівна сторона				
Коефіцієнт теплообміну	α	Вт/(м ² °С)	9	ДСТУ-Н Б EN 1991-1-2:2012

Згідно із розробленою методикою для визначення температурного розподілення у перерізі стіни використаний метод кінцевих різниць.

Для міцнісного розрахунку застосовується розрахункова схема, що наведена на рис. 3.

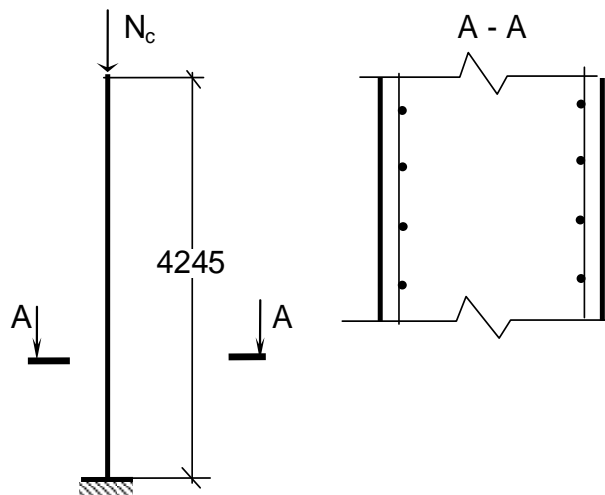


Рисунок 3 – Розрахункова схема зовнішньої самонесучої стіни.

Згідно із рекомендаціями стандартів, чинних в Україні, для розрахунку використовуємо стандартний температурний режим пожежі.

Згідно із розрахунковою схемою, у небезпечному перерізі внизу фрагменту стіни він навантажений розподіленим навантаженням за рахунок власної ваги, яке складає $Q_{wa}=97.65$ кН/м².

Теплофізичні властивості бетону залізобетонної самонесучої стіни наведені у табл.3.

Згідно із технічною документацією, що надана замовником самонесуча зовнішня стіна виготовлена з важкого бетону на гранітному заповнювачі класу С40/45 (В40). Арматурний каркас виготовлений з арматурної сталі класу міцності А400С. Згідно з даними вимогами міцнісні властивості бетону та арматурної сталі наведені у табл. 4.

Для врахування зниження міцності бетону під час його нагрівання початкова міцність помножується на коефіцієнт зниження міцності:

$$f_{ck,t}(\theta) = k_{c,t}(\theta) f_{ck,t} \quad (1)$$

де $k_{c,t}(\theta)$ – коефіцієнт зниження міцності бетону у залежності від температури.

Таблиця 3 – Теплофізичні характеристики матеріалів зовнішньої самонесучої стіни

Коефіцієнт теплопровідності, $\lambda(\theta)$, Вт/(м·°С)	Об'ємна питома теплоємність, $c_p(\theta) \cdot \rho$, Дж/(м ³ ·°С)	Густина, кг/м ³
Важкий бетон на силікатному заповнювачі ДСТУ-Н Б EN 1992-1-2:2012		
$2 - 0,2451 \frac{\theta}{100} + 0,0107 \left(\frac{\theta}{100}\right)^2$	900ρ при 20 °С ≤ θ ≤ 100 °С, (900+(θ-100))ρ при 100°С < θ ≤ 200°С, (1000+0,5(θ-100))ρ при 200°С < θ ≤ 400°С, 1100ρ при 400°С < θ ≤ 1200°С	2300

Таблиця 4 – Міцнісні властивості бетону та арматурної сталі

Матеріал	Клас міцності	Позначення	Нормативна міцність, МПа
Бетон	C 40/45	$f_{ck,t}$	40
Арматурна сталь	A400C	$f_{yk,t}$	400

При врахуванні нелінійності деформування бетону застосовується спеціальна діаграма, яка визначається формулами:

$$\begin{aligned} \text{при } 0 < \varepsilon_c \leq \varepsilon_{c1,T}, \quad \sigma(\varepsilon_c) &= \frac{3\varepsilon_c f_{ck,t}(\theta)}{\varepsilon_{c1,T} \left(2 + \left(\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{c1,T}} \right)^3 \right)}, \\ \text{при } \varepsilon_{c1,T} < \varepsilon_c < \varepsilon_{cu1,\theta}, \quad \sigma(\varepsilon_c) &= f_{ck,t}(\theta) - \frac{f_{ck,t}(\theta)(\varepsilon_c - \varepsilon_{c1,T})}{\varepsilon_{cu1,t} - \varepsilon_{c1,T}}, \end{aligned} \quad (2)$$

ε_c – відносна деформація бетону,

$\varepsilon_{c1,T}$ – відносна деформація, до якої діаграма деформування зростає,

$\varepsilon_{cu1,\theta}$ – гранична відносна деформація.

Для врахування зниження міцності арматурної сталі під час її нагрівання початкова міцність помножується на коефіцієнт зниження міцності:

$$f_{sy,t}(\theta) = k_s(\theta) f_{yk,t}, \quad (3)$$

де $k_s(\theta)$ – коефіцієнт зниження міцності бетону у залежності від температури.

При врахуванні нелінійних деформацій арматурної сталі також визначається зміна межі пропорційності у залежності від температури. Всі дані параметри можна визначити з табл. 5.

Для діаграм деформування арматурної сталі робочі формули мають такий вигляд:

$$\begin{aligned} \text{при } 0 < \varepsilon_s < \varepsilon_{s0} \quad \sigma_s &= E_s \theta \varepsilon_s \\ \text{при } \varepsilon_{s0} < \varepsilon_s \leq \varepsilon_{sy} \quad \sigma_s &= f_{sp,\theta} - c + (b/a)[a^2 - (\varepsilon_{sy} - \varepsilon_s)^2]^{0,5}, \\ \text{при } \varepsilon_{sy} \leq \varepsilon_s \leq \varepsilon_{st} \quad \sigma_s &= f_{sy,\theta}, \\ \text{при } \varepsilon_{st} \leq \varepsilon_s \leq \varepsilon_{s2} \quad \sigma_s &= f_{sy,\theta} [1 - (\varepsilon_s - \varepsilon_{st}) / (\varepsilon_{s0} - \varepsilon_{st})], \\ \text{при } \varepsilon_{s2} < \varepsilon_s \quad \sigma_s &= 0, \end{aligned} \quad (4)$$

де a, b, c – параметри, визначувані за формулами:

$$a^2 = (\varepsilon_{sy} - \varepsilon_{sp})(\varepsilon_{sy} - \varepsilon_{sp} + c/E_{s,\theta}), \quad b^2 = c(\varepsilon_{sy} - \varepsilon_{sp})E_{s,\theta} + c^2$$

$$c = \frac{(f_{sy,\theta} - f_{sp,\theta})^2}{(\varepsilon_{sy} - \varepsilon_{sp})E_{s,\theta} - 2(f_{sy,\theta} - f_{sp,\theta})} \quad (5)$$

де ε_{sy} – деформація, при якій настає межа текучості,
 ε_{st} – деформація, при якій починається спадна ділянка діаграми,
 $f_{sp,\theta}$ – границя пропорційності сталі,
 $E_{s,\theta}$ – модуль пружності сталі, залежний від температури нагрівання.

Використовуючи дані щодо міцності, були побудовані діаграми деформування бетону та арматурної сталі. Побудовані діаграми наведені на рис. 4.

Таблиця 5 – Значення параметрів діаграми «напруження–деформація» гарячекатаної та холодно тягнутої арматурної сталі при підвищених температурах

Температура сталі θ [°C]	$f_{sy,\theta}/f_{yk}$		$f_{sp,\theta}/f_{yk}$		$E_{s,\theta}/E_s$	
	гарячекатана	холоднотягнута	гарячекатана	холоднотягнута	гарячекатана	холоднотягнута
1	2	3	4	5	6	7
20	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
100	1,00	1,00	1,00	0,96	1,00	1,00
200	1,00	1,00	0,81	0,92	0,90	0,87
300	1,00	1,00	0,61	0,81	0,80	0,72
400	1,00	0,94	0,42	0,63	0,70	0,56
500	0,78	0,67	0,36	0,44	0,60	0,40
600	0,47	0,40	0,18	0,26	0,31	0,24
700	0,23	0,12	0,07	0,08	0,13	0,08
800	0,11	0,11	0,05	0,06	0,09	0,06
900	0,06	0,08	0,04	0,05	0,07	0,05
1000	0,04	0,05	0,02	0,03	0,04	0,03
1100	0,02	0,03	0,01	0,02	0,02	0,02
1200	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

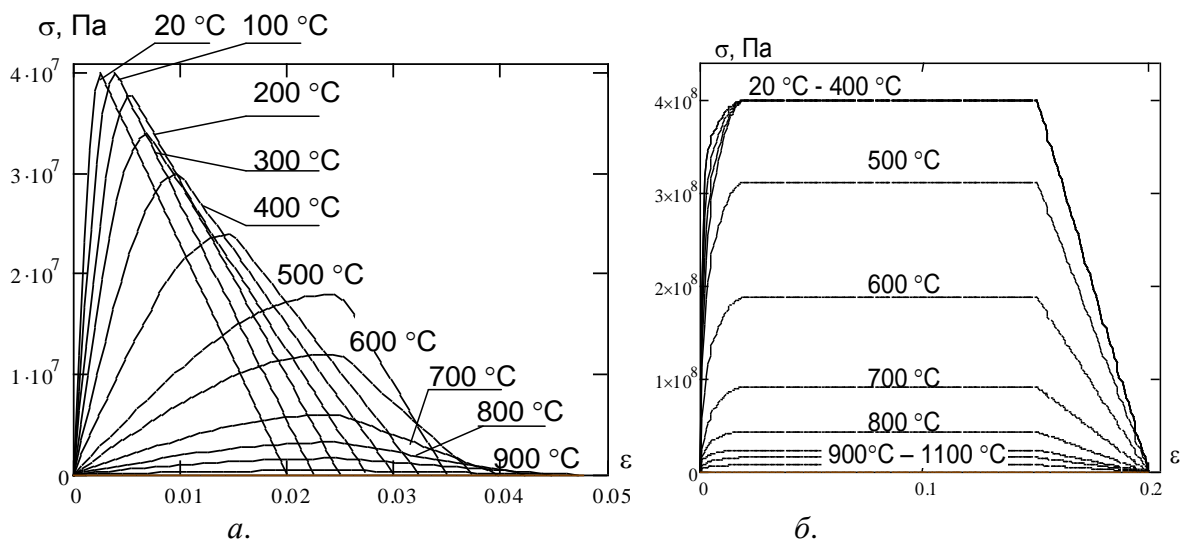


Рисунок 4 – Діаграми деформування бетону (а) та арматурної сталі (б).

Розрахунок реалізований у програмному середовищі табличного процесору Microsoft Excel 2003.

На рис. 5 представлені результати у вигляді графіків температури нагріву контрольних точок перерізу зовнішньої самонесучої стіни у залежності від часу пожежі.

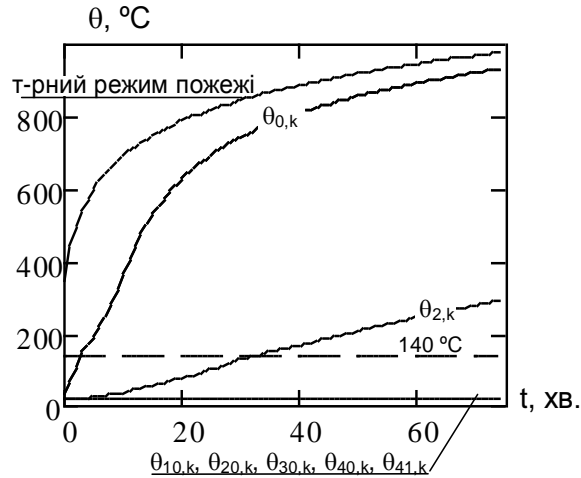


Рисунок 5 – Часові залежності прогріву внутрішніх шарів зовнішньої самонесучої стіни.

На рис. 6 показані розподіли температури по перерізу зовнішньої самонесучої стіни у різні моменти часу температурного впливу пожежі.

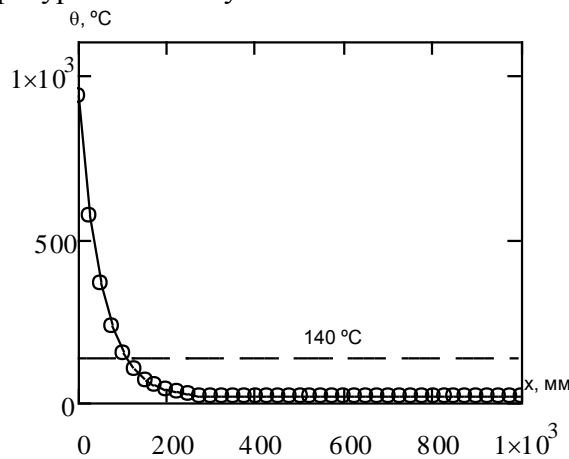


Рисунок 6 – Температурні розподіли по перерізу залізобетонної зовнішньої самонесучої стіни на 75 хв розвитку «стандартної» пожежі.

Використовуючи результати теплотехнічного розрахунку, визначаємо, що за контрольний термін часу протягом 75 хв граничний стан втрати теплоізолювальної здатності зовнішньої самонесучої стіни не настає. Отже за теплоізолювальною здатністю клас вогнестійкості зовнішньої самонесучої стіни є не меншим за I 75, що відповідає встановленим вимогам.

Для забезпечення цілісності зовнішньої самонесучої стіни застосовується методика, визначена у джерелах [1, 2]. Згідно із положеннями в даних джерелах цілісність контролюється за спеціальним коефіцієнтом, що визначається за формулою:

$$F = b_c \alpha_{ct} E_{s,\theta} \rho_c / K_1 \lambda_n, \quad (6)$$

де b_c - коефіцієнт пропорційності, рівний $1,16 \cdot 10^{-2} \text{Вт} \cdot \text{м}^{3/2}$;

$\alpha_{ct}(250 \text{ }^\circ\text{C}) = 9 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ коефіцієнт температурного розширення бетону [ДСТУ-Н Б EN 1992-1-2:2012];

$E_{c,\sigma} = 1.2 \cdot 10^4$ МПа початковий модуль пружності бетону [ДСТУ-Н Б EN 1992-1-2:2012];

$\rho_c = 2150$ кг/м³ – густина бетону у сухому стані, кг/м³, що дорівнює густині бетону природної вологості за відніманням випареної води у кількості 150 кг/м³;

$K_1 = 0,47$ МН·м^{3/2}- коефіцієнт псевдоінтенсивності напружень у бетоні [1, 2];

$\lambda_n = 1.5$ Вт·м·°С – коефіцієнт теплопровідності бетону при температурі 250 °С [ДСТУ-Н Б EN 1992-1-2:2012].

Використовуючи початкові дані, які подані вище отримаємо параметр F .

$$F = \frac{1.16 \cdot 10^{-2} \cdot 9 \cdot 10^{-6} \cdot 1.2 \cdot 10^4 \cdot 2150}{0.47 \cdot 1.5} = 3.821 \leq 4$$

Параметр менший за 4 це означає, що граничний стан втрати цілісності не настає.

Використовуючи результати теплотехнічного розрахунку, була вирішена статична задача за допомогою зонного методу згідно із прийнятою методикою

За прийнятою методикою розбиваємо переріз залізобетонної зовнішньої самонесучої стіни на 10 шарів, як показано на рис. 7.

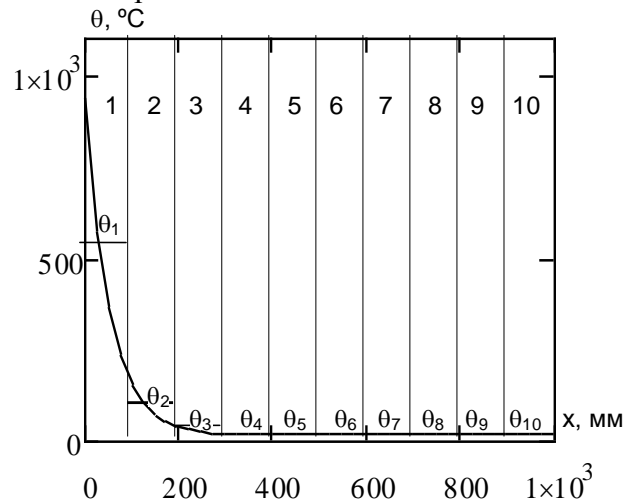


Рисунок 7 – Схема розбиття перерізу залізобетонної зовнішньої самонесучої стіни на шари для реалізації зонної методики.

У табл. 6 та табл. 7 подані значення середньої температури кожного шару, на які розбитий переріз залізобетонної зовнішньої самонесучої стіни, а також температура арматурних стержнів на 75 хв пожежі із стандартним режимом та відповідні ним коефіцієнти зниження міцності бетону та арматурної сталі відповідно до табл. 6 та табл. 7, визначені шляхом лінійної інтерполяції.

Таблиця 6 – Коефіцієнти зниження міцності бетону у шарах залізобетонної зовнішньої самонесучої стіни на 75 хв пожежі із стандартним температурним режимом

Номер шару бетону у перерізі плити	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Середня температура шару, θ , °С	525.567	93.34	30.695	20.965	20.05	20	20	20	20	20
Коефіцієнт зниження міцності бетону, $k_c(\theta)$	0.562	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Таблиця 7 – Коефіцієнти зниження міцності сталі у арматурних стержнях залізобетонної зовнішньої самонесучої стіни на 75 хв «стандартної» пожежі

Арматурний ряд	Лівий	Правий
Температура арматури, θ , °C	364.02	73,41
Коефіцієнт зниження міцності, $k_s(\theta)$	0.488	1

Середній коефіцієнт зниження для перерізу елемента, включаючи коефіцієнт $(1-0,2/n)$, що враховує при розрахунку зміну температури кожної зони:

$$k_{c,n} = \frac{(1-0,2/n)}{n} \sum_{i=1}^n k_c(\theta_i) = 0,937 \quad (7)$$

де $n = 10$ – кількість зон.

Ширина пошкодженої зони перерізу плити розрахована за формулою:

$$a_z = w \left[1 - \frac{k_{c,n}}{k_c(\theta_M)} \right]^{1,3} = 27,5 \text{ мм} \quad (8)$$

де $w = 1000$ мм – ширина стіни,

$k_c(\theta_M) = 1$ – коефіцієнт зниження міцності бетону для температури найменш нагрітого шару стіни.

На рис. 8 показана розрахункова схема стіни згідно із умовами її закріплення та схема перерізу із врахуванням зниження міцності компонентів залізобетону.

Враховуючи цю розрахункову схему визначаємо необхідні параметри для виконання розрахунку. Розрахунок виконаний у небезпечній точці стіни – у місці, розташованому у самому нижньому шарі плити.

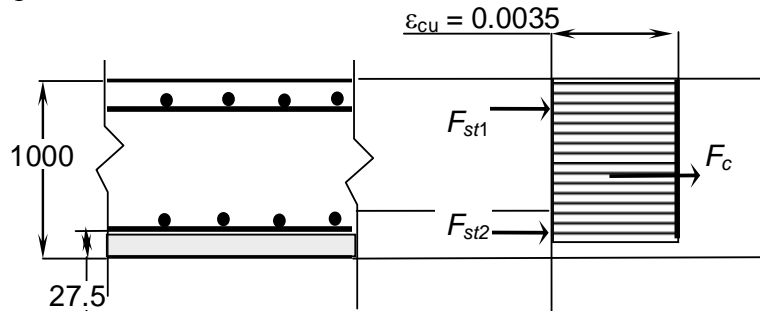


Рисунок 8 – Деформативна схема визначення несучої здатності залізобетонної стіни

На даній схемі показаний приведений переріз, його епюра деформації, а також сили, що діють у даному перерізі. Згідно із цією схемою несуча здатність при застосуванні умов рівноваги визначається за виразом:

$$N_{Rd,fi} = F_{st1} + F_{st2} + F_c = A_s E_{st} \varepsilon_{cu} + A_s k_{Es}(\theta) E_{st} \varepsilon_{cu} + 0,85 f_{ck} A_{c\theta} = 35063 \text{ кН} \quad (9)$$

де $k_{Es}(\theta) = 0,736$ – коефіцієнт зниження модуля пружності арматурної сталі у залежності від температури;

$E_{st} = 2,1 \cdot 10^5$ МПа – модуль пружності арматурної сталі за нормальних умов;

$A_{c\theta} = (b - a_z)l = 9,9973 \times 10^5$ мм² – площа приведенного перерізу бетону фрагменту стіни;

$l = 1000$ мм – довжина фрагменту стіни;

$A_s = \pi d_s^2$ – площа одного арматурного ряду;

$d_s = 22$ мм – діаметр одного арматурного стержня

Перевіряємо умову зберігання несучої здатності.

Діюча зосереджена сила рівна:

$$N_{Ed,fi} = w \cdot l \cdot Q_{wa} = 97,64 \text{ кН}$$

де $w = 1 \text{ м}$ та $l = 1 \text{ м}$.

Перевіряємо умову збереження несучої здатності;

$$N_{Rd,fi} = 35063 \text{ кН} > N_{Ed,fi} = 97,64 \text{ кН}. \quad (10)$$

Умова виконується отже протягом контрольного часу впливу пожежі несуча здатність стіни зберігається.

Для перевірки визначеного нами класу вогнестійкості застосовується табличний метод відповідно до п. 5.4.2 ДСТУ-Н Б EN 1992-1-2:2012Eurocode2.

Для стінових елементів нами застосовується табличний метод відповідно до п. 5.4.2 ДСТУ-Н Б EN 1992-1-2:2012Eurocode2. Згідно з цим методом визначається коефіцієнт зниження для розрахункового рівня навантажування під час пожежі μ_{fi} за формулою:

$$\mu_{fi} = N_{Ed,fi} / N_{Rd} = 97,64 / 28851 = 0.003, \quad (11)$$

де $N_{Ed,fi} = 97,64 \text{ кН}$ – розрахункове осьове навантаження під час пожежі;

$N_{Rd} = 0,7(A_c f_{cd} + A_s f_{yd}) = 28851 \text{ кН}$ – розрахункова міцність стіни за нормальних температур;

$f_{cd} = 0,85 f_{ck} = 34 \text{ МПа}$ – нормативна міцність бетону;

$A_c = 1 \cdot 10^6 \text{ мм}^2$ – площа поперечного перерізу стіни,

$f_{yd} = f_{yd} / \gamma_s = 400 / 1,15 = 347,826 \text{ МПа}$ – нормативна міцність арматурної сталі;

$A_s = 2 \pi d_s^2 = 1,521 \cdot 10^3 \text{ мм}^2$ – сумарна площа поздовжніх арматурних стержнів стіни.

Маючи числове значення даного параметру за табл. 5.3 ДСТУ-Н Б EN 1992-1-2:2012Eurocode 2 визначаємо мінімальні геометричні характеристики перерізу стіни. Результати подані у табл. 8.

Таблиця 8 – Мінімальні розміри та осьові відстані для несучих залізобетонних стін

Стандартна вогнестійкість	Мінімальні розміри (мм) при $\mu_{fi} = 0.37$	
	Товщина стіни w_s	Осьова відстань між нижнім рядом арматури до поверхні плити a
REI 60	110	10
REI 90	120	20
Необхідний клас вогнестійкості	Реальні розміри (мм)	
більше за REI 180	1000	50

Дані табл. 8 підтверджують, що клас вогнестійкості зовнішньої самонесучої стіни набагато більший за вимагаємий. Тож клас вогнестійкості стіни не менший за R 75, що відповідає встановленим вимогам.

Висновки:

1. Аналізуючи дані, подані на графіках рис. 5 та рис. 6, можна помітити, що температура на не обігрівній поверхні стіни протягом контрольного часу 75 хв не досягає значення 140 °С. Це дає нам змогу стверджувати, що клас вогнестійкості зовнішньої самонесучої стіни є не меншим за I 75.

2. Дані показують, що коефіцієнт цілісності у контрольний час 75 хв не перевищує число 4, це дає підґрунтя для ствердження, що клас вогнестійкості зовнішньої самонесучої стіни є не меншим за E 75.

3. Дані показують, що умова зберігання несучої здатності залізобетонною самонесучою стіною під час пожежі виконується, це означає, що стіна відповідає класу вогнестійкості R 75.

4. Для відповідності встановленим вимогам до залізобетонних конструкцій блоків для зберігання відпрацьованого ядерного палива СВЯП-2 виконані розрахунки щодо оцінки класу вогнестійкості визначених елементів конструкцій. Методики розрахунків відповідають методикам, встановленим у чинному стандарті України, аналогічному відповідному стандарту Євросоюзу Eurocode 2 ДСТУ-Н Б EN 1992-1-2:2012 з використанням сучасного науково обґрунтованого підходу.

5. Проведені розрахунки дозволяють нам зробити висновок, що клас вогнестійкості залізобетонної самонесучої стіни є не меншим за REI 75, дана стіна відповідає вимогам, що встановлені у Індивідуальних технічних вимогах з пожежної безпеки ISF/UKR/102425-ИТТ інв. № 42767 «Проект. Завершення будівництва. Сухого сховища відпрацьованого ядерного палива (СВЯП-2).

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Жуков В.В. Взрывообразное разрушение бетона / Жуков В.В., Гуляева В.Ф., Сорокин А.Н. // Огнестойкость строительных конструкций. – Вып. 4. – 1976. – С. 42–57.
2. Правила по обеспечению огнестойкости и огнестойкости железобетонных конструкций. СТО 36554501-006-2006 – [Введен в действие 1996-01-01] – М.: Стройиздат, 2006. – 77 с. – (Национальный стандарт РФ).
3. Бартелеми Б. Огнестойкость строительных конструкций / Бартелеми Б., Крюппа Ж. – М.: Стройиздат, 1985. – 216 с.
4. Яковлев А.И. Расчет огнестойкости строительных конструкций. – М.: Стройиздат, 1988. – 144 с.
5. Вогнезахисні покриття для будівельних несучих конструкцій. Метод визначення вогнезахисної здатності. (ENV 13381-4:2002) ДСТУ Б В.1.1-17:2007. [Чинний від 2007-01-01.] – К.: Укрархбудінформ, 2007. – 62 с – (Національний стандарт України).
6. Леннон Т., Мур Д.Б., Ван Ю.К., Бейли К.Г. Руководство для проектировщиков к EN 1991-1-2:2002, EN 1992-1-2:2002, EN 1993-1-2:2002 и EN 1994-1-2:2002 : справочник по проектированию противопожарной защиты стальных, сталежелезобетонных и бетонных конструкций зданий и сооружений в соответствии с Еврокодами : пер. с англ. / Т. Леннон и др.; ред. Серии Х. Гульванесян; М-во образования и науки Росс. Федерации, ФГБОУ ВПО «Моск. гос. строит. ун-т» ; науч ред. пер. В.М. Ройтман, И.А. Кириллов, А.И. Плотников; 2-е изд., Москва – МГСУ, 2013. – 196 с.
7. Промышленные здания. Каталог систем и материалов. Пособие для проектировщиков при использовании изоляционных систем «ROCKWOOL». Москва. – 2010. – 42 с.
8. Франчук А.У. Таблицы теплотехнических показателей строительных материалов, М.: НИИ строительной физики, 1969 - 142 с.