

Ю.В.Цанко, к.т. н., с.н.с., С.В. Жартовський (Черкаський інститут пожежної безпеки ім. Героїв Чорнобиля МНС України)

ДОСЛІДЖЕННЯ УМОВ ЗАЙМАННЯ ДЕРЕВИНИ В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД ПАРАМЕТРІВ НАГРІВАННЯ

Розроблено математичну модель розрахунку часу займання поверхні вогнезахищеної деревини після її просочення антипіренами. Проведені дослідження дозволяють зробити прогноз ефективності вогнезахисту в залежності від концентрації антипіренів в обробленій деревині.

Процес розбудови міст, а також їх інфраструктури призводить до перегляду пожежної безпеки об'єктів та матеріалів, які там застосовуються. Деревина та вироби з неї (фанерні плити та інш.) знаходять широко застосовуються у машинобудуванні, будівництві та побуті і складають значний відсоток пожежного навантаження. Під дією теплового потоку вироби з деревини можуть займатися (при температурі близько 230 °С відбувається займання деревини сосни, а при значенні температури 420 °С - самозаймання). За пожежними та будівельними нормами і правилами [1, 2] ці матеріали класифікуються як матеріали підвищеної горючості (Г4), легкозаймисті (В3), значно поширюють полум'я (РП4), з високою димоутворювальною здатністю (Д3), за токсичністю відносяться до високонебезпечних (Т3) [3].

Вогнебіозахист деревини капілярним просоченням, забезпечує високу вогнезахисну ефективність і повинен створити умови досягнення необхідної якості захисного покриття і тривалості безпечної експлуатації об'єктів [3]. Солі антипіренів після просочення целюлозовмісних матеріалів займають об'єми пор. Відсутність значної кількості повітря в елементарному об'ємі матеріалу змінює всі фізико-хімічні і теплофізичні процеси, які проходять в деревині під час дії теплового потоку. Вогнезахищена деревина позбувається таких властивостей як займання та самозаймання.

Ефективність антипіренів для конкретного матеріалу визначається рівнем їх вогнезахисної здатності і обумовлюється [4, 5]:

- розкладом антипіренів під дією температури з поглинанням тепла та виділенням негорючих газів;
- зміною напряму розкладу деревини в сторону утворення негорючих газів і важкогорючого коксового залишку;
- гальмуванням окислення в газовій і конденсованій фазі;
- утворенням на поверхні деревини теплозахисного шару коксу.

Тому актуальними науковими завданнями залишаються дослідження умов займання деревини, а також механізм вогнезахисту деревини антипіренами, що необхідно знати під час експлуатації виробів.

Загоряння целюлозних матеріалів у більшості випадків супроводжується появою полум'я, в якому відбувається екзотермічна реакція взаємодії газоподібних продуктів матеріалу з киснем. Полуменеве горіння целюлозних матеріалів обумовлюється тим, що вони виділяють горючі гази в такій кількості, що відповідають нижній концентраційній межі займання. Результати газохроматографічного аналізу одержаних горючих газових сумішей термодеструкції деревини [6] показують значний вміст оксиду і діоксиду вуглецю (при цьому їх сумарна концентрація сягає 91,01 %) і значно менше - за вмістом інших горючих компонентів (водню і вуглеводнів). Зокрема, сумарна концентрація горючих компонентів становить 46,82 %. Вогнезахисна обробка деревини призводить до зменшення горючих газів під час піролізу майже в 4 рази та збільшення кількості летких негорючих компонентів (CO₂, N₂) [3].

В роботі [7] наведено модель теплопровідності вогнезахищеної деревини, яка складається із шарів, що обмежують передачу тепла через плоску двошарову стінку зі спіненого теплоізолюючого шару та шару коксу. Ці шари утворюються при термічному розкладі антипіренів, які входять в структуру просоченої деревини. При дії на деревину теплового потоку, який відповідає температурі горіння деревини (~ 820 °C), здійснюється її прогрів на глибину просочення, що спричиняє початок обуглення з одночасним виходом розплаву та продуктів розкладу просочувальних засобів на поверхню з наступним спіненням і затвердінням вуглецевовмісних компонентів. В подальшому спінений шар спікається, проходить його усадка, теплоізоляція перетворюється в тонку плівку і тепло переходить до шару вуглецю. Зниження горючих властивостей деревини пояснюється утворенням на поверхні обробленої деревини теплозахисного спіненого шару.

Для пояснення причини ефективної вогнезахисної дії недостатньо отримання теплофізичних характеристик обробленої деревини [8]. Теплозахисні властивості шару коксу, що виникає при дії тепла на поверхню обробленої деревини, взаємопов'язані з умовами його формування та структурою. Деревина сама має пористу структуру, низькі значення густини та теплової активності. Тільки утворення ізолюючої перешкоди для виходу летких продуктів і переносу тепла до фронту піролізу деревини в результаті перетворення її поверхні при нагріванні, може викликати такий ефект. Такою ізолюючою перешкодою є утворення модифікованого шару коксу завдяки присутності антипіренів в деревині.

Для розробки практичних рекомендацій із запобігання займання деревини, необхідно мати можливість прогнозу критичного стану, коли її температура досягне критичного рівня температури займання, $T_{кр}$, K , вище якого, система здатна до самоприскорення обмінних процесів і переходить у стан теплового займання [9 - 12].

Динаміка розподілу температури при нагріванні та займанні деревини прогнозується шляхом математичного моделювання процесів теплопередачі як в однорідному твердому тілі і базується на такій математичній моделі:

$$\left. \begin{aligned} \rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} &= Q\rho \frac{\partial \eta}{\partial t} + \lambda \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{j}{x} \frac{\partial T}{\partial x} \right) \\ \frac{\partial \eta}{\partial t} &= k_0 \cdot \varphi(\eta) \cdot e^{-\frac{E}{R \cdot T}} \\ T(x,0) &= T_n; \quad q(x,0) = 0; \\ \left. \begin{aligned} \frac{\partial T}{\partial x} \Big|_{x=0} &= 0; \quad -\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \Big|_{x=L} = \alpha \cdot (T_c - T), \end{aligned} \right\} \quad (1) \end{aligned}$$

де ρ - густина деревини, $кг/м^3$;

c - теплоємність деревини, $Дж/(кг \cdot K)$;

T_c - температура деревини, K ;

t - час, з моменту дії теплового потоку на деревину, $с$;

λ - теплопровідність деревини $Вт/(м \cdot K)$;

x - просторова координата, $м$;

j - коефіцієнт форми об'єму досліджуваного об'єкта;

k_0 - передекспоненціальний множник реакції окислювання $1/с$;

η - частина теплоти реакції окислювання, що витрачає на згоряння матеріалу (глибина проникнення реакції), що залежить від швидкості вигорання матеріалу, $Дж/кг$;

Q - тепловий ефект реакції окиснювання, $Дж/кг$;

E - енергія активації, $Дж/моль$;

R - універсальна газова стала, $R=8,314$ $Дж/(моль \cdot K)$;

T - початкова температура матеріалу, K ;

L - характерний лінійний розмір об'єму матеріалу, $м$;

α – коефіцієнт теплообміну між поверхнею матеріалу й навколишнім середовищем, $Вт/(м^2 \cdot К)$;

T_0 – температура навколишнього середовища $К$.

У безрозмірному виді для пластини, яка перебуває під впливом теплового потоку з урахуванням [11, 12] маємо:

$$\frac{\partial^2 \theta}{\partial \xi^2} = \delta e^{-\theta} \quad (2)$$

$$\delta = \frac{Q \rho k_0 r^2 E}{\lambda R T_c^2} e^{-\frac{E}{RT_c}}, \quad (3)$$

$$\theta = \frac{E}{RT_c^2} (T_c - T) \quad (4)$$

Загальний інтеграл рівняння (2):

$$e^\theta = \frac{a}{ch^2 \left(b - \xi \sqrt{\frac{a\delta}{2}} \right)} \quad (5)$$

При заданих температурах на поверхні пластини, а також несиметричності задачі граничні умови будуть такими:

$$\text{при } \xi=0; \theta=0; \text{ а при } \xi=2; \frac{d\theta}{d\xi} = -Bi(\theta - \theta_0). \quad (6)$$

Підставляючи вирази (6) в (5) отримуємо вирази, які зв'язують параметри δ і θ_0 з константами інтегрування a і b :

$$b = \operatorname{arch} \sqrt{a}, \sqrt{2a\delta} \cdot th(\operatorname{arch} \sqrt{a} - \sqrt{2a\delta}) = Bi(2 \ln ch(\operatorname{arch} \sqrt{a} - \sqrt{2a\delta}) - \ln a - \theta_0) \quad (7)$$

В зв'язку з тим, що на одній стороні пластини підтримується постійна температура ($Bi \rightarrow \infty$), а значення $a\delta > 2$ [12], то рівняння (7) набирає виду:

$$\delta_{кр} = \frac{1}{2a} \left(\frac{Bi}{1 + 2Bi} \right)^2 \left(\theta_0 + 2 \ln \left[2 \left(a + \sqrt{a(a-1)} \right) \right] \right)^2 \quad (8)$$

де $a = 1 + 2,28e^{-0,65\theta_0}$

При цьому величина шару поверхні деревини, в якій під дією теплового потоку проходить процес втрати маси (вигорання) можна отримати з рівняння виду [13]:

$$\delta = \delta_{кр} \cdot (1 + \beta) \cdot f(\chi), \quad (9)$$

де $\delta_{кр}$ - критична товщина шару деревини за умови несиметричного теплообміну зразка деревини, в якій під дією теплового потоку проходить процес піролізу з виділенням горючих газів (при $\beta > 0, \chi = 0$), мм;

β - параметр, що характеризує горіння матеріалу;

χ - параметр, який характеризує вигорання матеріалу;

$f(\chi)$ - функція, яка враховує втрату матеріалу в процесі горіння.

Параметри β і χ розраховуються за рівняннями:

$$\beta = \frac{RT_c}{E}, \quad (10)$$

$$\chi = \frac{cRT_c^2}{QE} \quad (11)$$

Враховуючи те що процес нагрівання деревини проходить при відносно великих температурах критерій, Bi розраховувався з урахуванням втрати тепла за допомогою сумарного коефіцієнта тепловіддачі α :

$$Bi = \frac{\alpha \cdot h}{2\lambda}, \quad (12)$$

$$\text{де } \alpha = 0,54 \left(\frac{g}{\nu a_n} h^3 \frac{RT_c}{E} \right)^{0,25} \frac{\lambda_a}{h} + 4\sigma T_c^2, \quad (13)$$

h – товщина зразка деревини, м;

λ, λ_n – теплопровідність деревини та повітря відповідно, $Вт/(м \cdot К)$;

σ – стала Стефана-Больцмана, $Вт/(м^2 \cdot К^4)$;

g, ν, a_n – прискорення сили тяжіння, кінематична в'язкість та температуропровідність повітря.

З урахуванням вищенаведеного для розрахунку δ використано таке рівняння [12]:

$$1 - \frac{\delta_{кр} \cdot (1 + \beta)}{\delta} = f(\chi, \theta), \quad (14)$$

де $f(\chi, \theta) = f_1(\chi) \cdot f_2(\theta)$ – функція, яка характеризує вплив густини теплового потоку та вигоряння зразка і має вигляд [12]:

$$f_1(\chi) = \chi^{0,6}, \quad f_2(\theta) = 1 + 0,3 \cdot \theta, \quad (15)$$

де θ – параметр, який характеризує температурний вплив на матеріал.

З урахуванням вищенаведеного товщину шару поверхні деревини що зайнялась можна визначити за наступним рівнянням:

$$\delta = \frac{\delta_{кр} \cdot (1 + \beta)}{1 - (1 + 0,3 \cdot \theta) \cdot \chi^{0,6}} \quad (16)$$

Відомо, що процес займання деревини настає коли температура перевищує критичну. Але при цьому займання продуктів піролізу настає не миттєво, а через деякий проміжок часу. В зв'язку з цим час індукції займання деревини можна провести за такою залежністю [12]:

$$\tau_i = \tau_a \cdot f_1(\Delta, \chi) \cdot f_2(Bi, \Delta), \quad (17)$$

де $\tau_a = 1 + 2 \cdot \beta$ – період індукції при адиабатичних умовах;

$$f_1(\Delta, \chi) = \left[1 + 0,62 \frac{1 - 4\Delta^{-2} \sqrt{\chi}}{(\Delta - 0,95)^{0,9}} \right] - \text{функція, яка характеризує температурну межу займання}$$

матеріалу;

$\Delta = \delta/\delta_{кр}$ – відносне значення межі займання;

$$f_2(Bi, \Delta) = \left(1 - \frac{[1 + 1,5 \cdot (1 - 0,1 \cdot \Delta)] Bi}{16(1 + Bi)} \right) - \text{функція, яка враховує характер теплообміну}$$

плоскої пластини (в нашому випадку деревини).

Аналіз літературних даних результатів досліджень кінетики процесу термічного розкладу деревини [7], в тому числі і вогнезахищеної, показує, що максимальна швидкість втрати маси у оброблених зразків зсунута в низькотемпературну область (менше 180 °С), при цьому втрата маси зразків проходить значно повільніше, в два етапи і на меншу величину порівняно з необробленою деревиною (з 45 % до 16 %). Область ендоефектів для обробленої деревини зсунута в високотемпературну область (більше 390 °С), а екзоєфекти – в низькотемпературну (нижче 200 °С) порівняно з необробленою деревиною (225 °С і 330 °С

відповідно). Втрата маси зразка в умовах максимального ендоефекту для обробленої деревини значно нижче і змінюється повільно та неперервно в значному інтервалі температур (від 90 до 450 °С).

Енергія активації обробленої деревини порівняно з необробленою збільшується (до 6000 – 7000 Дж/моль), що характеризує зниження активності окиснювальних процесів за рахунок взаємодії кисню не з радикалами летких горючих компонентів деревини [7], а з валентними електронами вогнезахисного засобу.

Таким чином вогнезахист сповільнює початок термодиструкції деревини, підвищує енергію активації та знижує активність валентних елементів летких горючих продуктів деревини.

Дослідженнями проведеними [14, 15] показано, що із підвищенням ефекту вогнезахисту товщина утворення шару коксу на поверхні деревини зменшується в середньому в 1,5 рази, що, в свою чергу зменшує вигорання матеріалу. З урахуванням вогнезахисту розрахунок параметра, який характеризує вигорання матеріалу, можна провести за такою залежністю:

$$\chi = 0,6 \frac{cRT_c^2}{QE} \quad (18)$$

На рис. 1 наведено залежність часу займання поверхні деревини від параметра χ , що характеризує вплив вогнезахисних речовин на матеріали для різних значень густини теплового потоку (в нашому випадку дію теплового потоку характеризує Vi). Із збільшенням параметра χ час займання поверхні деревини збільшується в 4 – 5 разів.

Для розрахунку приймалось: Vi від 0,5 до 6 в залежності від T (від 498 К до 773 К); товщина зразка деревини $h = 20$ мм; $E = 65,3$ КДж/моль; $Q = 5,5 \cdot 10^5$ Дж/кг, $\lambda = 0,05$ Вт/(м·К) та відповідно для вогнезахисної деревини: $E = 72,4$ КДж/моль; $Q = 8,5 \cdot 10^5$ Дж/кг, $\lambda = 0,112$ Вт/(м·К) [12]. За вихідні дані взято: $a_n = 33,52 \cdot 10^{-2}$ м²/с; $\lambda_n = 396 \cdot 10^{-4}$ Вт/(м·К).

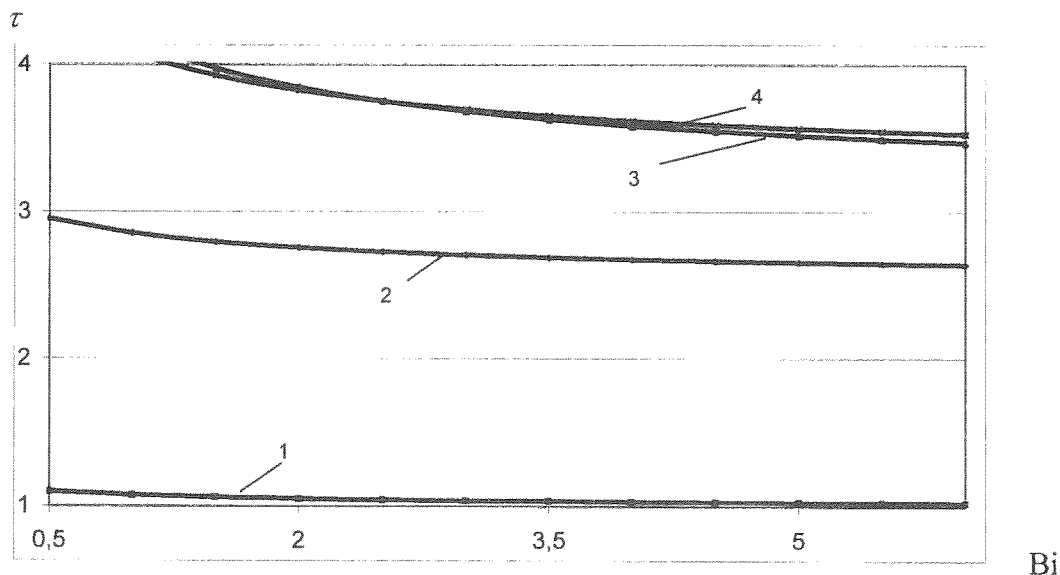


Рис. 1. Залежність часу займання поверхні деревини від температурного впливу на зразок для параметра вогнезахисту χ деревини:
1 – 0,036; 2 – 0,083; 3 – 0,155; - фанерної плити: 4 – 1,055

Як видно з рис. 1, із збільшенням χ (підвищенням ефекту вогнезахисту) час займання поверхні деревини зменшується. Наведені результати підтверджуються експериментальними дослідженнями проведеними згідно з [1], які наведено на рис. 2.

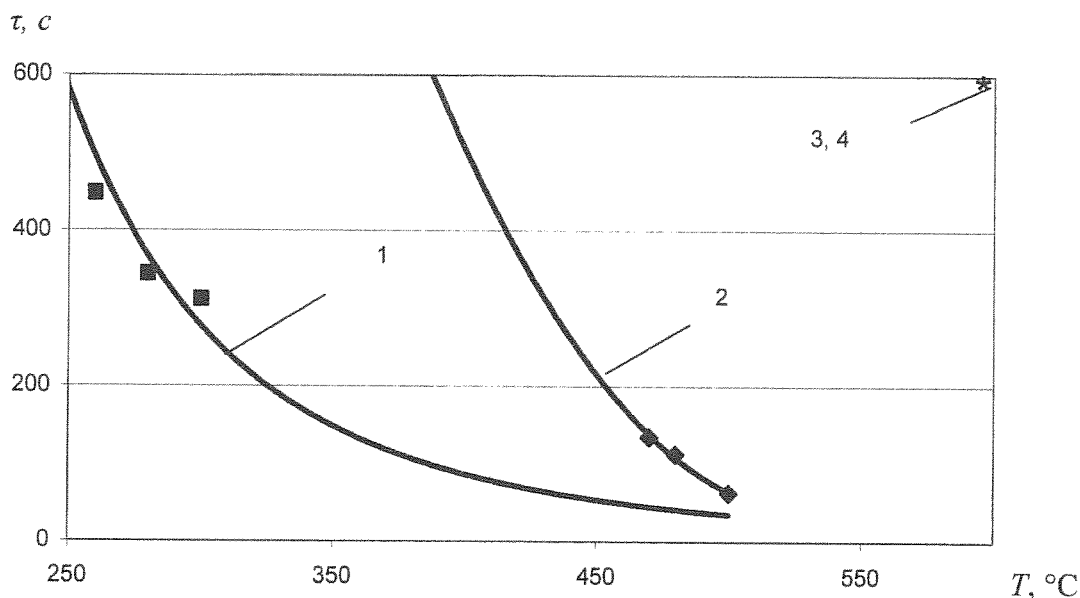


Рис. 2. Залежність температури займання (1) та самозаймання (2) від часу витримки зразка дії теплового потоку (τ) необроблених зразків деревини; (3, 4) - оброблені зразки

З рис. 2 видно, що при температурі близько 300 °С відбувалось займання (1), а при значенні температури 450 °С - самозаймання (2) необроблених зразків деревини. Займання та самозаймання вогнезахисчених зразків деревини (3, 4) при температурі більше 600 °С не спостерігалось.

Таким чином проведеними теоретичними дослідженнями встановлено залежність параметрів займання поверхні деревини від фізико-хімічних властивостей вогнезахисних речовин. Наявність на поверхні вогнезахисної деревини сольових антипіренів змінює процес теплопередачі, теплоізоляція перетворюється в тонку плівку шару пінококсу і тепло переходить до шару вуглецю, що, в свою чергу, призводить до збільшення часу займання.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ:

1. ГОСТ 12.1.044-1989 Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения. - М.: Издательство стандартов, 1990. - 143 с.
2. ДБН В.1.1-7-2002 Пожежна безпека об'єктів будівництва. - К., 2003. (Держбуд України).
3. Жартовский В.М., Цапко Ю.В. Профилактика горения целлюлозовмісних матеріалів. Теорія та практика. - Київ: УкрНДППБ МНС України, 2006. - 256 с.
4. Тычино Н.А. Особенности практического применения огне- и биоацитных средств для пропитки древесины // Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. - М.: ВНИИПО, 2002. - Вып. 6. - С. 38-43.
5. Леонович А.А. Химический подход к проблеме снижения пожароопасности древесных материалов // Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. - М.: ВНИИПО, 1996. - Вып. 3. - С.10-14.
6. Цапко Ю.В., Орел В.П., Антонов А.В. Отримання газових сумішей продуктів піролізу органічних матеріалів та дослідження умов їх флегматизування газовими вогнегасними речовинами // Науковий вісник УкрНДППБ. - 2001. - №4. - С.59-65.
7. Тычино Н.А. Высокоэффективные огнеацитные средства комбинированного действия для обработки древесины: Автореф. на соискание ученой степени д-ра тех. наук. - М., 2005. - 42 с.

8. Сивенков А.Б., Серков Б.Б. Огнезащитные покрытия на основе модифицированных полисахаридов. Часть 3. Характеристики тепловыделения при пламенном горении и теплофизические свойства. // Пожаровзрывоопасность. – М.: ВНИИПО МВД РФ, 2002. – Вып. 3.-С. 13-19.

9. Кольцов К.С., Попов Б.Г. Самовозгорание твердых веществ и материалов и его профилактика. – М.: Химия, 1978. – 160 с.

10. Самовозгорание промышленных материалов/ В.С. Веселовский, Н.Д. Алексеева, Л.П. Виноградова и др. – М.: Наука, 1964. – 242 с.

11. Франк-Каменецкий Д.А. Диффузия и теплопередача в химической кинетике. Изд. 3-е, пер. и доп.– М.: Наука, 1987. – 502 с.

12. Зельдович Я.Б., Баренблатт Г.И., Либрович В.Б., Махвиладзе Г.М. Математическая теория горения и взрыва.– М.: Наука, 1980. – 478 с.

13. Горшков В.И. Самовозгорание веществ и материалов. – М.: ВНИИПО МВД РФ, 2003. – 446 с.

14. Соколенко К.І. Підвищення ефективності протипожежного захисту об'єктів із застосуванням вогнезахисної деревини: Автореф. дис. на здобуття наукового ступеня канд. техн. наук: УКРНДІПБ МНС УКРАЇНИ. – Київ, 2005. – 22 с.

15. Цапко Ю.В., Соколенко К.І., Гудович О.Д. Моделювання процесу утворення шару модифікованого коксу на поверхні вогнезахисної деревини // Науковий вісник УкрНДІПБ. – 2005. – №2 (12). – С. 5-11.

УДК 621.039

В.Л.Сидоренко (Інститут державного управління у сфері цивільного захисту УЦЗ України)

С.І.Азаров, д.т.н., с.н.с. (Інститут ядерних досліджень НАН України)

ОЦІНКА ВОГНЕСТІЙКОСТІ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ ЦЕНТРАЛЬНОГО ЗАЛУ ДОСЛІДНИЦЬКОГО ЯДЕРНОГО РЕАКТОРА ВВР-М

Представлено результати розрахунку несучої здатності бетонної балки із зовнішнім листовим армуванням, як кріпильної конструкції даху центрального залу реактора ВВР-М, при термосилових впливах в умовах пожежі. Надана методика визначення межі вогнестійкості навантаженої сталобетонної балки, захищеної з обох боків

Київський дослідницький ядерний реактор (ДЯР) ВВР-М Інституту ядерних досліджень НАН України експлуатується з 1960 року. Досвід експлуатації цього реактора підтвердив надійність і безпечність обраного типу реактора і прийнятих технічних рішень при його конструюванні та спорудженні. Однак, проектувалась споруда реактора по застарілій нормативно-технічній документації колишнього СРСР, причому тривалий термін експлуатації будівельних конструкцій ДЯР привів до необхідності уточнення та наукового обґрунтування граничних станів споруди у нормальних та аварійних ситуаціях.

Центральний зал ДЯР ВВР-М – це одноповерхове приміщення розміром 25×28×16 м, що має металеві колони, ферми і балки. Стіни реакторного залу зведені з червоної цегли марки 75-100, розчин – марки 25, товщина стіни – 510 мм. Дах залу – залізобетонний збірний з двопорожнинного великопанельного настилу, що опирається на цегляні стіни і залізобетонні збірні балки, які представляють основну кріпильну здатність покрівлі [1]. У зв'язку з цим можна обумовити актуальність проблеми визначення теплосилових впливів на