

УДК 691.075.5:549.385

ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ МОДИФІКАТОРІВ ДЕРЕВИНИ НА ВОГНЕСТІЙКІСТЬ ДЕРЕВ'ЯНИХ КОНСТРУКЦІЙ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ МОДИФИКАТОРОВ ДРЕВЕСИНЫ НА ОГНЕСТОЙКОСТЬ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

DETERMINATION OF IMPACT MODIFIERS FOR FIRE WOOD WOODEN STRUCTURES

Цапко Ю.В., к.т.н., с.н.с. (Київський науково-дослідний інститут судових експертиз МЮ України, м. Київ)

Цапко Ю.В., к.т.н., с.н.с. (Киевский научно-исследовательский институт судебных экспертиз МЮ Украины, г. Киев)

Yu.V.Tsapko, cand. of technical sciences (Kiev research institute of forensic examination of the Ministry of Justice of Ukraine, Kiev)

Наведені результати досліджень швидкості вигорання деревини та вплив швидкості обуглювання на зменшення робочого перерізу дерев'яної конструкції.

Приведены результаты исследований скорости выгорания древесины и влияние скорости обугливания на уменьшение рабочего сечения деревянной конструкции.

The results of the speed of burning wood and charring rate impact on reducing the working section of the wooden structure.

Ключові слова:

Вигорання, вогнестійкість деревини, обуглювання.

Выгорание, огнестойкость древесины, обугливания.

Burn, fire wood charring.

Актуальність проблеми. Капітальне будівництво та реконструкція існуючих об'єктів цивільного, промислового та спеціального призначення, пов'язане з використанням деревини, яка чутлива до впливу високої температури та біологічного пошкодження, тобто здатністю зберігати функціональні властивості в умовах експлуатації.

З урахуванням цих проблем прийнято нормативні документи, які вимагають при проектуванні конструкції з деревини враховувати їх стійкість

проти біологічних організмів, а також проводити захисне оброблення будівельних матеріалів спеціальними засобами. Сутність захисту антипіренами та антисептиками тлумачиться в гальмуванні процесів термічного та біологічного розкладу целюлози, зниження константи швидкості реакцій та енергія активації [1, 2].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Для комплексного захисту деревини від загоряння і біологічного руйнування запропоновано невелику кількість препаратів, зокрема суміш сульфату амонію, діамонійфосфату і фтористого натрію (МС), або ортоборату натрію і борної кислоти (ББ) та суміш карбонату натрію і борної кислоти (БС). На сьогоднішній день з'явилися ефективні просочувальні суміші для деревини, зокрема композиція з антипірена (фосфати і сульфат амонію) і антисептика полімерного походження (полігексаметиленгуанідинфосфат) - ДСА-1 та ДСА-2 [3]. У випадку застосування ДСА на поверхні деревини утвориться полімерна плівка, що перешкоджає виходу антипірена з деревини на поверхню та запобігає вільному доступу кисню повітря, змінюючи механізм піролізу целюлози і сповільнюючи окислювальні процеси [3].

Мета роботи. На основі комплексного захисту деревини від загоряння і біологічного руйнування провести дослідження швидкості вигорання деревини в разі модифікування її сумішами діамонійфосфату, сульфату амонію та полігексаметиленгуанідинфосфату.

Результати досліджень. Поширення полум'я при горінні матеріалів визначає інтенсивність і динаміку розвитку пожежі та залежить від ефективності захисту та швидкості вигорання будівельних конструкцій в процесі полуменевого горіння.

Для визначення характеристик тепловиділення матеріалів при горінні використовується фундаментальне рівняння, що пов'язує швидкість тепловиділення при горінні матеріалу Q , з швидкістю вигорання m , кг/(м²·с) і нижчою теплою згоряння $Q_{н}$, кДж/кг виду [4]:

$$Q = \eta m Q_{н} S, \quad (1)$$

де η – коефіцієнт повноти згоряння летких продуктів розкладу речовини у полум'ї (0,85); S – площа поверхні зразка, що перебуває під дією теплового впливу, м².

Під час побудови математичної моделі швидкості вигорання матеріалу приймаємо, що зміна в часі питомої маси зразка пропорційна різниці між початковою і поточною питомою масою та інтенсивністю вигорання:

$$\frac{dm}{d\tau} = \alpha (m_0 - m) + \omega, \quad (2)$$

де τ – час з моменту запалення, с; α – коефіцієнт пропорційності, що залежить від виду горючого матеріалу, с⁻¹; m_0 – початкова швидкість вигорання матеріалу, кг/(м²·с); $\omega = \omega(\tau) = \omega_0 \cdot e^{-\gamma\tau}$ – функція, що характеризує інтенсивність зміни питомої маси зразка у полум'ї, кг/(м²·с²); ω_0 – інтенсивність згоряння матеріалу в початковий момент часу, кг/(м²·с²); γ –

показник інтенсивності сповільнення реакцій горіння за рахунок дії захисних речовин, с^{-1} .

Після інтегрування (2) отримуємо наступний вираз для розрахунку швидкості вигорання вогнестійких матеріалів:

$$m = m_0 + \frac{\omega_0}{\alpha - \gamma} \cdot (e^{-\gamma\tau} - e^{-\alpha\tau}) . \quad (3)$$

Якщо зразок не оброблений захисними речовинами, то математично це означає, що $\alpha \gg \gamma$ або $\gamma \rightarrow 0$, тоді рівняння (3) набуває наступного вигляду:

$$m_{\gamma \rightarrow 0} = m_0 + \frac{\omega_0}{\alpha} (1 - e^{-\alpha\tau}) . \quad (4)$$

Це означає, що відразу після запалювання зразка починається період стаціонарного розвитку пожежі до повного згорання.

У випадку ідеального захисту $\alpha \ll \gamma$ або при $\alpha \rightarrow 0$ з рівняння (3) отримуємо:

$$m_{\alpha \rightarrow 0} = m_0 - \frac{\omega_0}{\gamma} (e^{-\gamma\tau} - 1) , \quad (5)$$

звідки випливає, що з моменту початку впливу на зразок теплового джерела починається стадія припинення горіння.

Нарешті, якщо інтенсивність розвитку полуменевого горіння і швидкість його пригнічення приблизно однакові $\alpha \approx \gamma$, то:

$$m_{\alpha \rightarrow \gamma} = m_0 + \omega_0 \cdot \tau \cdot e^{-\gamma\tau} , \quad (6)$$

тобто, за наявності захисту, що відповідає інтенсивності розвитку пожежі, полум'яне горіння підвищується, а потім проявляється вплив дії модифікаторів і полум'я пригнічується.

Перевірка адекватності отриманих теоретичних результатів натурним умовам була проведена шляхом визначення тісноти зв'язку між розрахунковими і експериментально встановленими параметрами горіння деревини.

На рисунку 1 представлено зіставлення результатів розрахованої швидкості вигорання зразків за формулами (4-6) та динаміки її зміни, яку визначали експериментально і розраховували за рівнянням:

$$m_i = \frac{\Delta m}{\tau \cdot S} , \quad (7)$$

де Δm – втрата маси зразка в процесі випробувань, г; τ – час випробування, с; S – площа поверхні зразка, м^2 .

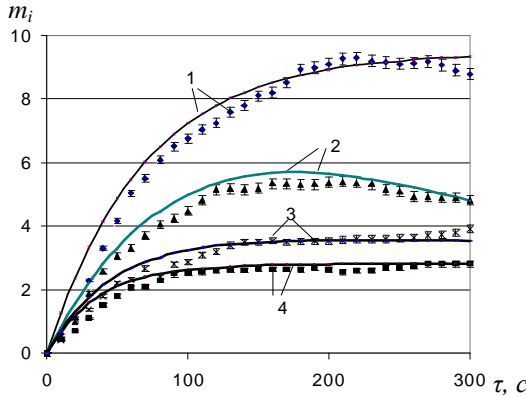


Рис. 1. Залежність швидкості вигорання зразка деревини m_i ($\text{г}/(\text{м}^2\cdot\text{с})$) в часі τ (с) від кількості антипірену: 1 – необроблена; 2 – 27 $\text{кг}/\text{м}^3$; 3 – 45 $\text{кг}/\text{м}^3$; 4 – 60 $\text{кг}/\text{м}^3$.

Отримані залежності показують, що швидкість вигорання необробленого зразка деревини ($\gamma = 0$) значно підвищується в початковий період впливу теплового потоку, а потім, в зв'язку з обугленням поверхні, дещо уповільнюється. Результати оброблення експериментальних даних горіння деревини наведено в таблиці 1.

Таблиця 1.

Результати оброблення експериментальних даних по горінню зразків деревини

Зразок деревини сосни модифікований	Значення параметра			
	$\omega_0, \text{г}/(\text{м}^2\cdot\text{с}^2)$	$\alpha \cdot 10^3, \text{с}^{-1}$	$\gamma \cdot 10^3, \text{с}^{-1}$	$m, \text{г}/(\text{м}^2\cdot\text{с})$
необроблений	0,13	15,20	0,03	8,0
сумішшю ДСА-2, з витратою 27 $\text{кг}/\text{м}^3$	0,09	5,68	5,68	4,78
сумішшю ДСА-2, з витратою 45 $\text{кг}/\text{м}^3$	0,08	0,14	22,0	3,84
сумішшю ДСА-2, з витратою 60 $\text{кг}/\text{м}^3$	0,07	0, 01	27,8	2,8

Для необроблених зразків за таких значень досягається максимальна швидкість вигорання, яка становить близько 8,1 $\text{г}/(\text{м}^2\cdot\text{с})$. Для оброблених зразків деревини, з витрачанням просочувальної суміші ДСА-2 (27 $\text{кг}/\text{м}^3$), всі параметри, які впливають на швидкість вигорання мають менші значення, але показники швидкості розвитку та пригнічення горіння α і γ змінюються.

Показники швидкості розвитку і припинення горіння для вогнестійкої деревини, з витрачанням просочувальної суміші ДСА-2 (45 та 60 $\text{кг}/\text{м}^3$), суттєво відрізняються від попередніх, а саме, найменший показник припинення швидкості горіння $\gamma = 27,8 \text{ с}^{-1}$ за показника розвитку горіння $\alpha \approx 0, \text{с}^{-1}$. За такої кількості вогнезахисного засобу досягається мінімальна швидкість вигорання

2,8 г/(м²·с). Отримані результати дозволяють зробити висновок про те, що фактично, при горінні зразків в умовах проведених випробувань, динаміка швидкості вигорання відповідають одному із трьох умов, які розглянуто вище.

Відповідно до п. 1.2 СНиП II-25-80 “Деревянные конструкции” [5] слідує, що при проектуванні дерев’яних конструкцій слідує передбачати захист їх від зволоження, біопошкодження, від корозії та від займання при пожежі.

Зміна напружень стиску $\sigma_c(\tau)$ центрально стиснутих елементів, залежно від часу їх горіння при пожежі τ , слід визначати:

а) по міцності з умови:

$$\sigma_c(\tau) = \frac{N_n}{F_{нт}(\tau)}, \quad (8)$$

б) по стійкості з умови:

$$\sigma_c(\tau) = \frac{N_n}{\varphi(\tau) \cdot F_c(\tau)}, \quad (9)$$

де: $\varphi(\tau)$ - коефіцієнт поздовжнього згину, визначуваний з урахуванням зміни робочого перерізу елемента в моменти часу τ його горіння і відповідно до положень СНиП II-25-80; $F_c(\tau)$ - розрахункова площа поперечного перерізу елемента, з урахуванням його обвуглювання, яка приймається відповідно до п. 4.2 СНиП II-25-80.

Час τ від початку займання елемента дерев’яної конструкції при пожежі до втрати ним несучої здатності, визначається з умови: $\sigma_p(\tau) \geq R_c$.

Змінення згинальних напруг $\sigma_e(\tau)$ і сколюючих напруг $\sigma_{ск}(\tau)$ згинальних елементів, в залежності від часу τ їх горіння при пожежі, визначаються з виразів:

$$\sigma_e(\tau) = \frac{M_n}{W_p(\tau)}, \quad (11)$$

$$\sigma_{ск} = \frac{Q_n \cdot S_{\sigma p}(\tau)}{J_{\sigma p}(\tau) \cdot b(\tau)}, \quad (12)$$

де: M_n - згинальний момент в розрахунковому перерізі від нормативних навантажень, кН·м; $W_p(\tau)$ - момент опору робочого перерізу елементів, залежно від часу горіння при пожежі, м³; Q_n - поперечна сила в розрахунковому перерізі від нормативних навантажень, кН; $S(\tau)$ - статичний момент, бруто, в залежності від часу τ горіння розрахункового перерізу при пожежі, м³; $J_{\sigma p}(\tau)$ - момент інерції розрахункового перерізу, бруто, в залежності від часу τ горіння розрахункового перерізу при пожежі, м⁴; $b(\tau)$ - ширина елемента, залежно від часу τ його горіння при пожежі, м.

Час τ від початку займання елемента при пожежі до втрати ним несучої здатності, визначається з умов: міцності на вигин $\sigma_e(\tau) \geq R_e$ та міцності на сколювання $\sigma_{ск}(\tau) \geq R_{ск}$.

За експериментальними даними, середня швидкість обуглювання деревини в конструкціях така: масивні елементи перетином не менше 150x150 мм – 0,6 мм/хв., дощата обшивка, перегородки з дощок товщиною 15-20 мм – 0,8÷1,0 мм/хв. [5]. Ці дані відносяться до необробленої деревини.

Що стосується захищеної деревини то значення швидкості обуглювання невідомі і залежать від природи модифікаторів і їх властивостей.

Прогнозування середньої швидкості обуглювання для деревини запропоновано проводити за залежністю [6]:

$$V_o = \frac{m}{\rho_w}, \quad (13)$$

де m – масова швидкість вигорання деревини (швидкість втрати маси), $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$; ρ_w – щільність деревини у сухому стані (вологість 10÷12 %), $\text{кг}/\text{м}^3$.

Визначена швидкість обуглювання деревини становить для захищеної 0,000336 м/хв і відповідно для необробленої - 0,00096 м/хв.

Розглянемо дерев'яну стійка з цільної деревини. Матеріал стійки - сосна першого сорту. Перетин $b \times h = 0,22 \times 0,20$ м. Вологість деревини - 10÷12 %, Навантаження на стійку $N_H = 740$ кН.

Варіанти вогнезахисту:

- а) без вогнезахисту;
- б) вогнезахист просоченням.

Розрахунковий опір деревини стійки стиску згідно СНиП II-25-80 для деревини I сорту становить $R_c = 25$ МПа.

Задаємо послідовні моменти часу горіння τ дерев'яної стійки при пожежі, визначаємо робочий переріз стійки ($F_c(\tau)$) і напруження стиску ($\sigma_c(\tau)$) (рис. 2).

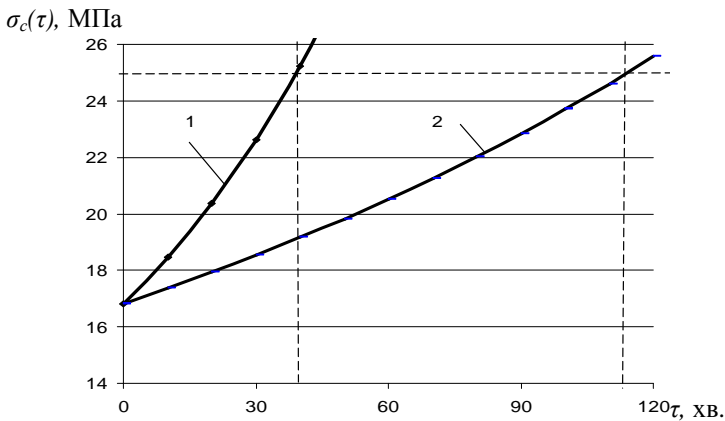


Рис. 2. Залежність напруження стиску ($\sigma_c(\tau)$) від часу горіння τ дерев'яної стійки: 1 – необроблена деревина, 2 – оброблена

Визначаємо час τ від початку займання дерев'яної стійки при пожежі до втрати нею несучої здатності за (5.55), згідно якої $\sigma_p(\tau) \geq R_c = 25$ МПа. Ця умова виконується для необробленої деревини на 40 хв., для обробленої – на 120 хв.

Розглянемо дерев'яну двохсхилу дощату балку покриття. Проліт балки 10 м; ширина балки 17 м; висота в середині пролету $h_c = 1,3$ м; висота на опорі – $h_{оп} = 0,8$ м; матеріал - сухі соснові дошки другого сорту. Опора шарнірна. Нормативна навантаження; сумарне навантаження від власної ваги балки, власної ваги покриття, снігового навантаження $q_n = 11,5$ кН/м.

Визначаємо розрахункові опори деревини балки, працюючої на вигин згідно з СНиП II-25-80.

Визначаємо для обраних моментів часу розміри робочого перерізу балки $h(\tau)$ і $b(\tau)$ з урахуванням швидкості обуглювання деревини; момент опору $W(\tau)$ розрахункового перерізу балки; відповідні напруги вигину $\sigma_e(\tau)$ в розрахунковому перерізі (рис. 3).

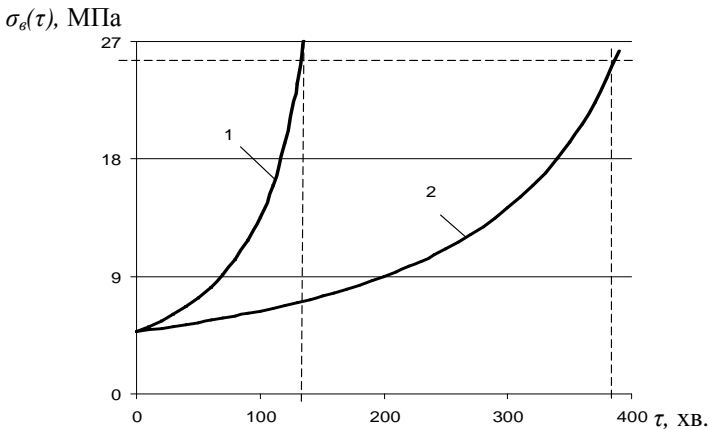


Рис. 3. Залежність напруження вигину ($\sigma_e(\tau)$) від часу обуглювання τ дерев'яної балки: 1 – необроблена деревина, 2 – оброблена

Визначаємо напруги сколювання $\sigma_{ск}(\tau)$ в опорному перерізі балки в обрані моменти часу, з урахуванням зменшення робочого перерізу балки за рахунок біоруйнування (рис. 4).

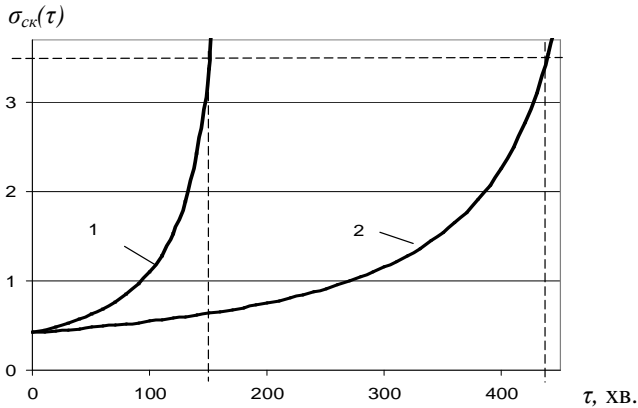


Рис. 4. Залежність напруження сколювання ($\sigma_{ск}(\tau)$) від часу біоруйнування τ дерев'яної балки: 1 – необроблена деревина, 2 – оброблена

Розгляд отриманих розрахунків, свідчить про те, що при обвуглюванні вичерпання міцності балки на вигин відбувається раніше, ніж вичерпання міцності балки на сколювання.

Тому визначення межі стійкості від обвуглювання балки необхідно проводимо по втраті міцності на вигин. Визначений час від початку руйнування деревини балки до втрати балкою своєї несучої здатності від зусиль вигину на опорі балки від згинального моменту M становить близько 130 хв.

Висновок. Таким чином, оброблення деревини знижує швидкість вигорання матеріалу та обвуглювання робочого перерізу і збільшує вогнестійкість дерев'яних конструкцій майже у тричі.

1. Тычино Н.А. Особенности практического применения огне- и биозащитных средств для пропитки древесины / Н.А. Тычино // Пожаровзрыво- опасность веществ и материалов. Вып. 6. – М.: ВНИИПО, 2002. – С. 38–43. – 3000 пр. – ISSN 0869-7493.
2. Леонович А.А. Химический подход к проблеме снижения пожароопасности древесных материалов / А.А. Леонович // Пожаровзрыво-опасность веществ и материалов. Вып. 3. – М.: ВНИИПО, 1996. – С. 10–14. – 2000 пр. – ISSN 0869-7493.
3. Бут В.П. Новый подход к огнебиозащите изделий из целлюлозы / [В.П. Бут, В.М. Жартовский, Ю.В. Цапко, О.Г. Барило] // Пожаровзрывобезопасность. – М.: ВНИИПО, 2004. – Вып. 5.– С. 31–32. – 3000 пр. – ISSN 0869-7493.
4. Сивенков А.Б. Огнезащитные покрытия на основе модифицированных полисахаридов. Часть 3. Характеристики тепловыделения при пламенном горении и теплофизические свойства / А.Б. Сивенков, Б.Б. Серков // Пожаровзрывоопасность. – М.: ВНИИПО.- 2002. - Вып. 3.- С. 13-19. – 3000 пр. – ISSN 0869-7493.
5. Пракшин Ю.К. Методика осмотра места пожара / [Ю.К. Пракшин, С.И. Зернов]. – К.: РИО МВД УССР, 1988. – 168 с. ил.
6. Шналь Тарас. Вогнестійкість та вогнезахист дерев'яних конструкцій: Навчальний посібник / Тарас Шналь. – Львів. Видавництво Національного університету “Львівська політехніка”, 2006.-220 с.