

*Ю.В. Цапко, канд. техн. наук, ст. наук. співр. (Київський науково-дослідний інститут судових експертиз МЮ України)*

## ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ШВИДКОСТІ РОЗВИТКУ І ПРИГНІЧЕННЯ ГОРІННЯ ЗРАЗКІВ ВОГНЕЗАХИЩЕНОЇ ДЕРЕВИНИ

Встановлено, що швидкість вигорання зразків деревини, просочених або покритих вогнезахисними засобами, залежить від параметрів, що характеризують інтенсивність розвитку полуменевого горіння, показника інтенсивності сповільнення реакцій горіння завдяки дії вогнезахисних речовин та функції, що характеризує інтенсивність зміни питомої маси зразка у полум'ї. Наведено результати порівняння експериментальних залежностей швидкості вигорання деревини з отриманим аналітичними рівняннями та встановлено відповідність між експериментальними і теоретичними значеннями за допустимої похибки відхилення.

*Ключові слова:* горючі, важкогорючі матеріали, ефективність вогнезахисту матеріалів, вогнезахисні засоби.

Поширення полум'я під час горіння природних та синтетичних матеріалів є чинником, що визначає інтенсивність і динаміку розвитку пожежі та залежить від ефективності вогнезахисту та масової швидкості вигорання зразків у процесі полуменевого горіння.

Процеси теплообміну та тепломасообміну, що відбуваються в целюлозовмісних матеріалах (деревина, тканини, папір та ін.), залежать як від параметрів цих процесів (температура, час, кількість вологи чи парів), так і від теплофізичних властивостей матеріалів (теплопровідності, теплоємності, температуропровідності та ін.). Вони являються анізотропними тілами, тому величина коефіцієнта теплопровідності для одного і того ж матеріалу не є постійною і залежить від напрямку теплового потоку відносно волокон (паралельно чи перпендикулярно до волокон), їх питомої ваги, пористості, густини, температури, вологості, повітропроникності матеріалу.

Незважаючи на існуючі розходження між целюлозними матеріалами щодо складу і зовнішнього вигляду, вони виявляли ряд однакових властивостей. Усі ці матеріали при нагріванні піддаються розкладу. Процес термічного розкладу протікає послідовно у дві стадії: з поглинанням енергії і виділенням енергії. Кількість енергії, що поглинається, відповідає енергії, яка необхідна для порушення існуючого стану речовини і початку мимовільного процесу її перетворення в продукти, що мають більшу стійкість в умовах нагрівання. Термічну деструкцію целюлози супроводжує хімічне окиснення, гідроліз, що прискорюється значним підвищенням температури. В результаті цих процесів отримується складна суміш продуктів глибокого розкладу, причому характер одержуваних продуктів залежить від умов протікання процесу розкладання і від того, на якій стадії він припиняється. Загальна властивість целюлозовмісних матеріалів виражається в їх здатності при розкладанні виділяти легкозаймісті гази та пари і залишати в звичайних умовах твердий залишок (вугілля) як кінцевий продукт піролізу.

Початок горіння газоподібних продуктів піролізу починається з реалізації трикутника горіння, коли відбувається взаємозв'язок між горючою речовиною, окисником та джерелом запалювання.

Існують стандартні способи визначення пожежонебезпечних властивостей речовин та матеріалів [1], а також спосіб випробування для оцінювання характеристик горіння текстильних матеріалів, із яких виготовлюють штори, занавіски, декорації та інші вироби, що експлуатують у вертикальному положенні [2]. Недоліком цих способів є те, що вони не дають змоги визначити ефективність вогнезахисту зразків целюлозовмісних матеріалів, а саме втрату маси зразків після випробувань та площу пошкодження зразків, які застосовуються для оцінювання характеристик горіння матеріалів під дією полум'я в лабораторних умовах і не можуть бути застосовані для регламентації пожежної безпеки матеріалів в умовах реальної пожежі.

В результаті досліджень проведених в [3, 4], встановлено, що швидкість вигорання

просочених або покритих вогнезахисними засобами матеріалів, залежить від таких параметрів:  $\alpha$ ,  $c^{-1}$ , характеризує інтенсивність розвитку полуменевого горіння;  $\gamma$ ,  $c^{-1}$ , – показник інтенсивності сповільнення реакцій горіння завдяки дії вогнезахисних речовин;  $\omega = \omega(\tau) = \omega_0 \cdot e^{-\gamma\tau}$  – функція, що характеризує інтенсивність зміни питомої маси зразка у полум'ї,  $кг/(м^2 \cdot c^2)$ ;  $\omega_0$  – інтенсивність згорання матеріалу в початковий момент часу,  $кг/(м^2 \cdot c^2)$ ;  $m_0$ ,  $кг/(м^2 \cdot c)$  – початкова швидкості вигорання і описується наступним виразом:

$$m = m_0 + \frac{\omega_0}{\alpha - \gamma} \cdot (e^{-\alpha\tau} - e^{-\gamma\tau}). \quad (1)$$

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

$$m_{\tau \rightarrow 0} = m_0 + \frac{\omega_0}{\alpha} (1 - e^{-\alpha\tau}). \quad (2)$$

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

У випадку ідеального вогнезахисту  $\alpha \ll \gamma$  або при  $\alpha \rightarrow 0$  з рівняння (1) отримуємо:

$$m_{\alpha \rightarrow 0} = m_0 - \frac{\omega_0}{\gamma} (e^{-\gamma\tau} - 1), \quad (3)$$

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:

$$m_{\alpha \approx \gamma} = m_0 + \omega_0 \cdot \tau \cdot e^{-\gamma \cdot \tau}, \quad (4)$$

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

Для визначення значень цих параметрів використано дані експериментальних досліджень, які представлено в роботі [8].

В цих експериментах в якості об'єктів досліджень використовувалися водорозчинні складові для вогнезахисних покриттів, які містили продукти модифікації полісахаридів рослинної сировини – крохмалю і відходів шліфування рису. Склади пошарово наносили на поверхню зразків деревини сосни ( $\rho = 450 \text{ кг}/\text{м}^3$ ) з витратою  $300 \text{ г}/\text{м}^2$ . Після сушки до постійної маси проводили випробування як оброблених, так і для порівняння необроблених зразків, згідно з ГОСТ 30402-96.

Характеристики тепловиділення при полуменевому горінні досліджуваних зразків визначали залежно від густини променевого потоку  $\chi$  в межах  $30 \dots 50 \text{ кВт}/\text{м}^2$  в умовах випробувань, згідно з ГОСТ 30402-96. Установка для визначення параметрів займання матеріалів у відповідності з цим стандартом була додатково оснащена приладом для реєстрації зміни маси зразка в ході проведення випробувань і виміру температури на його поверхні за допомогою термомпарі.

На першому етапі проведено випробування необроблених зразків, до поверхні яких підводили теплові потоки  $30, 40, 50 \text{ кВт}/\text{м}^2$ . На рис. 1 наведена динаміка масової швидкості вигорання в ході проведення експериментальних досліджень (точки).

Експериментальні дані оброблювались по методу найменших квадратів. Мінімізувалась дисперсія

$$D = [m(\tau_i) - m_i]^2, \quad (5)$$

де  $\tau_i$  – моменти проведення замірів, с;

$m(\tau_i)$  – теоретичне значення швидкості вигорання, яку розраховано за (1);

$m_i$  – експериментальні значення швидкості вигорання.

Після мінімізації  $D$  розраховувалось середнє квадратичне відхилення  $\sigma$  за формулою:

$$\sigma = \sqrt{D/(n - n_0)}, \quad (6)$$

де  $n$  – число вимірів;  
 $n_0$  – число параметрів, які визначаються.

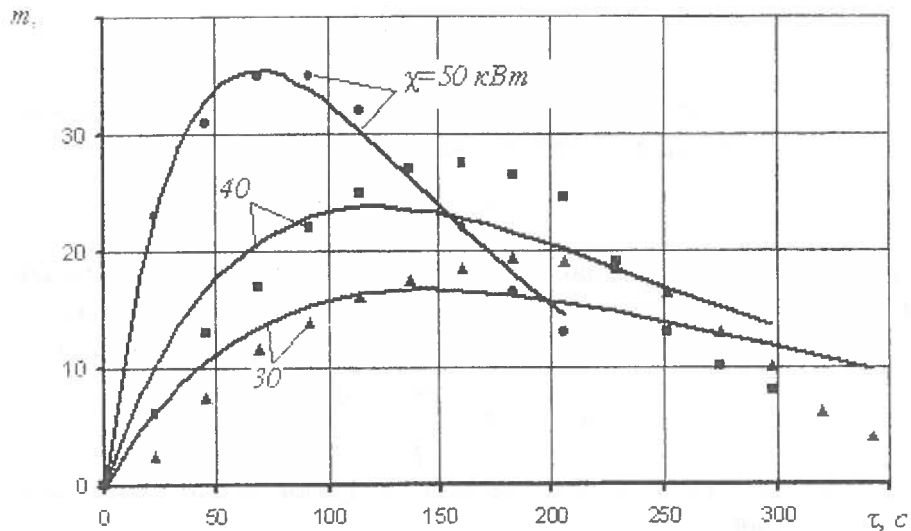


Рис. 1. Динаміка швидкості вигорання необроблених зразків сосни

Для всіх експериментів приймалось  $m_0 = 0$ , так як попереднього підпалювання зразків не проводилося, в зв'язку з цим у формулі (6) приймалось  $n = 3$ .

Характерною особливістю цієї серії експериментів є рівність параметрів  $\alpha$  і  $\gamma$  (табл. 1), це означає, що швидкість займання всіх зразків без вогнезахистного покриття збігається зі швидкістю пригнічення їх горіння. Криві швидкості вигорання практично симетричні відносно точки досягнення максимуму.

Таблиця 1

Результати обробки експериментальних значень [5] щодо горіння зразків деревини

№ п/п	Зразки обробленої деревини сосни	Тепловий потік, кВт	$\omega_0, \text{H/m}^3$	$\alpha \cdot 10^3, \text{c}^{-1}$	$\gamma \cdot 10^3, \text{c}^{-1}$	$\sigma, \text{кг}/(\text{m}^2 \cdot \text{c})$
1	2	3	4	5	6	7
1	необроблена	30	0,32	7,01	7,01	2,96
2	те ж	40	0,53	8,26	8,26	3,77
3	– " –	50	1,39	14,49	14,49	4,81
4	Модифікованим крохмалем, $\theta = 0,3$	30	0,02	0,10	0,10	3,12
5	те ж	40	0,08	1,50	1,50	2,70
6	– " –	50	0,31	5,68	5,68	3,54
7	Модифікованим рисом, $\theta = 0,5$	40	0,03	1,21	1,21	2,77
8	те ж	50	0,20	5,03	5,03	2,72
9	Модифікованим крохмалем, $\theta = 0,5$	40	0,16	0	26,1	3,35
10	те ж	50	0,12	3,64	3,64	2,00

При наступних випробуваннях теплової дії піддавалися зразки, які було оброблено крохмалем із ступенем модифікації  $\theta = 0,3$ . Отримана при цьому експериментальна і відповідно до неї розрахована теоретична динаміка швидкості вигорання приведена на рис. 2.

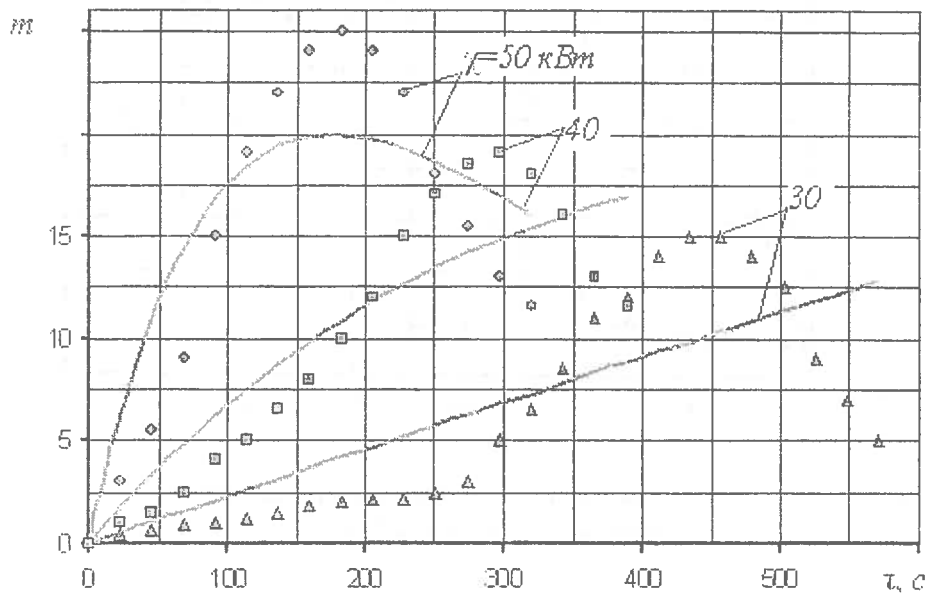


Рис. 2. Динаміка швидкості вигорання при горінні зразків деревини, покритих крохмалем  $\theta = 0,3$

Як видно із табл. 1, в цьому випадку всі параметри, які впливають на швидкість вигорання мають менші значення, але показники швидкості розвитку і пригнічення горіння  $\gamma$  і  $\alpha$  залишаються рівними. Якщо при горінні необробленої деревини максимальна швидкість вигорання становить близько  $35 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ , то після обробки крохмалем цей показник знижується до  $20 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ .

При проведенні експериментів 7 і 8 теплової дії піддавалися зразки, які було оброблено рисом з ступенем модифікації  $\theta = 0,5$ . А для останніх двох експериментів в якості покриття використовували крохмаль, із ступенем модифікації  $\theta = 0,5$ . Результати отриманих експериментів наведено на рис. 3. 4 і в табл. 1.

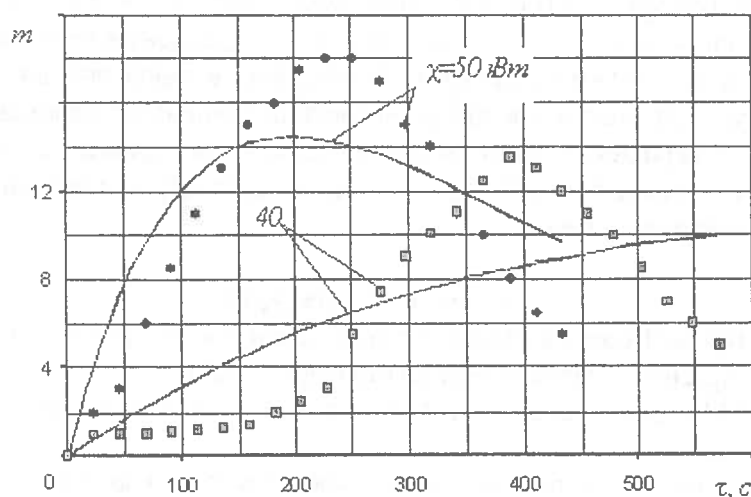


Рис. 3. Динаміка швидкості вигорання при горінні зразків деревини, покритих рисом із ступенем модифікації  $\theta = 0,5$

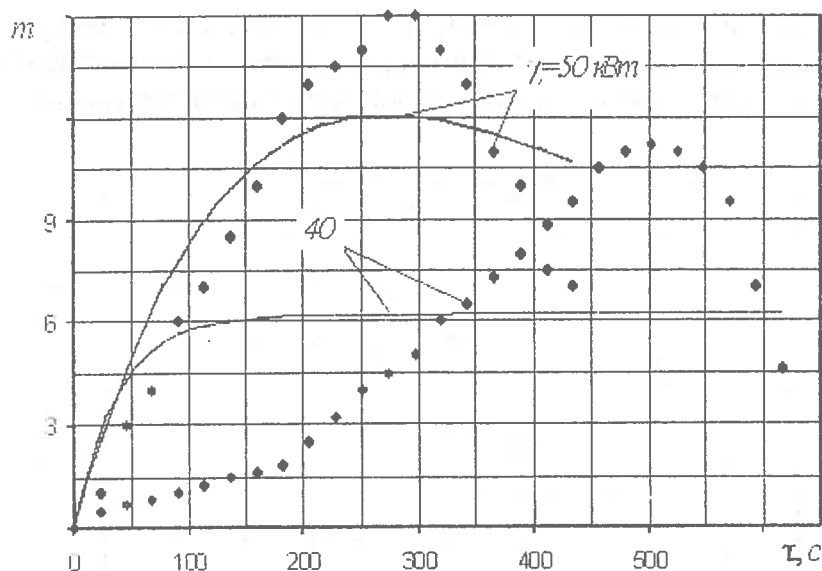


Рис. 4. Динаміка швидкості вигорання при горінні зразків деревини, покритих крохмалем з ступенем модифікації  $\theta = 0,5$

Показники швидкості розвитку і пригнічення горіння в експериментах 7 і 8 суттєво не відрізняються від показників, які було отримано для випадку застосування крохмального покриття ( $\theta = 0,3$ ). Але початкова інтенсивність згорання  $\omega_0$  зразків оброблених рисовим покриттям – нижча. Зразки, що було оброблено крохмалем  $\theta = 0,5$ , мають найбільший показник швидкості пригнічення горіння  $\gamma = 26,1 \text{ с}^{-1}$  при показнику розвитку горіння  $\alpha \approx 0 \text{ с}^{-1}$ . При такому випадку вогнезахисту досягається мінімальна швидкість вигорання  $12 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ .

Отримані результати дозволяють зробити висновок про те, що фактично, під час горіння зразків деревини в умовах проведення цих експериментів, динаміка швидкості вигорання відповідає одному з трьох випадків, які наведено вище, а саме: швидкість вигорання зразків деревини може бути прогнозована залежністю (4) для однакових параметрів розвитку і пригнічення горіння. Наприклад, для зразків деревини, які оброблено рисом:

$$m = 0,03 \cdot \tau \cdot e^{-1,21 \cdot 10^{-3} \tau} \quad (7)$$

Наявність випадку при  $\alpha = 0$  в дев'ятому експерименті пов'язана з тим, що займання в цьому дослідженні наступило майже через 300 с після підведення теплового потоку.

Таким чином, в результаті проведених досліджень встановлено, що для отриманих експериментальних залежностей масова швидкість вигорання відповідає отриманим аналітичним рівняннями за незначного відхилення, тобто розбіжність між експериментальними та розрахунковими значеннями не перевищує 17 %, що визнається достовірним при інженерних розрахунках в області моделювання пожеж.

#### Список літератури:

1. ГОСТ 12.1.044-89 Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения. – Москва: Изд-во стандартов, 1990.
2. ДСТУ 4155 Матеріали текстильні. Метод випробування на займистість. – Київ: Держспоживстандарт України, 2003.
3. Цапко Ю.В. Визначення параметрів швидкості вигорання зразків вогнезахисених целюлозовмісних матеріалів // Науковий вісник будівництва. Харків: ХДТУБА, ХОТВ АБУ.- 2007. – Вип. 42.
4. Цапко Ю.В. Аспекти визначення параметрів вогнезахисту деревини для підвищення проти-пожежного захисту складів зберігання озброєння і боеприпасів // Зб. наук. пр. Севастопольського військово-морського інституту ім. П.С.Нахімова. – Севастополь: СВМІ. – 2008. – Вип. 1(14). С. 142-146.

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

*Ю.В. Цапко, канд. техн. наук, ст. науч. сотр. (Киевский научно-исследовательский институт судебных экспертиз МЮ Украины)*

### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ СКОРОСТИ РАЗВИТИЯ И ЗАТУХАНИЯ ПРИ ГОРЕНИИ ОБРАЗЦОВ ОГНЕЗАЩИЩЕННОЙ ДРЕВЕСИНЫ**

Определено, что скорость выгорания образцов древесины, пропитанных или покрытых огнезащитными средствами, зависит от параметров, которые характеризуют интенсивность развития пламенного горения, показателя интенсивности замедления реакций горения за счет воздействия огнезащитных веществ и функции, которая характеризует интенсивность изменения удельной массы образца в пламени. Приведены результаты сопоставления экспериментальных зависимостей скорости выгорания древесины с полученными аналитическими зависимостями и определено соответствие между экспериментальными и теоретическими значениями при допустимой погрешности отклонения.

*Ключевые слова:* горючие, трудногорючие материалы, эффективность огнезащиты материалов, огнезащитные средства

*Yu. V. Tsapko, Candidate of Sciences (Engineering), (Kiev Research Institute of the judicial examinations of Ministry of Justice of Ukraine)*

### **DETERMINATION OF PARAMETERS OF DEVELOPMENT SPEED AND OPPRESSION OF BURNING OF SAMPLES OF FIRE PROTECTIVE WOOD**

It is shown that the speed of burnout of impregnated or covered with fireproof materials depends on parameters to characterize intensity of flame burning, index of intensity of slow burning reaction by the action of fireproof materials for intensity changes of the specific weight of the specimen in the flame. The results of comparison of experimental dependences of the speed of wood burning with the received analytical equations and correspondence between experimental and theoretical values using available error deviation are shown.

*Key words:* flammable, nonflammable materials, materials fire protection quality, flame retardants

