

УДК 691.075.5

МОДЕЛЮВАННЯ ШВИДКОСТІ ВИГОРЯННЯ ДЕРЕВИНИ ЗАХИЩЕНОЇ ВОГНЕЗАХИСНИМ ПОКРИТТЯМ

Цапко О.Ю.¹, Цапко Ю.В.², докт. техн. наук, ст. наук. співр.

(¹ТОВ «Д-33», ²Національний університет біоресурсів і природокористування України)

Розроблено фізичну модель швидкості вигорання деревини та її математичну інтерпретацію, особливістю якої є наявність показника інтенсивності сповільнення реакцій горіння при застосуванні вогнезахисного покриття. Встановлено зниження швидкості вигорання деревини вогнезахисною покриттям, що наглядно підтверджує достовірність розробленої моделі.

Загорання деревини у більшості випадків супроводжується появою полум'я, в якому відбувається екзотермічна реакція взаємодії газоподібних продуктів піролізу матеріалу з киснем. Аналіз результатів досліджень кінетики процесу термічного розкладу деревини [1, 2], показує, що максимальна швидкість втрати маси у зразків, які мають відповідний рівень захисту здвигнута в низькотемпературну область, енергія активації збільшується, що характеризує зниження активності окислювальних процесів, а дослідженнями проведеними [3, 4] показано, що із модифікуванням збільшується захисний шар коксу на поверхні деревини, що впливає на вигорання матеріалу та зниження ефективного перерізу будівельної конструкції.

Поширення полум'я під час горіння природних та синтетичних матеріалів є чинником, що визначає інтенсивність і динаміку розвитку пожежі та залежить від ефективності захисту і швидкості вигорання зразків у процесі полуменевого горіння. На даний час у країнах Європейського співтовариства введена система сертифікації і класифікації будівельних матеріалів за ступенем пожежної небезпеки, в якій одним з основних є показник пожежної небезпеки, виражений у формі похідної швидкості тепловиділення під час горіння матеріалу [5, 6].

Мета роботи. Визначення умов зниження швидкості вигорання деревини при поверхневому обробленні вогнезахисним покриттям.

Матеріали та методика досліджень. Для визначення характеристик тепловиділення матеріалів під час їхнього горіння використовується рівняння, що пов'язує швидкість тепловиділення під час горіння матеріалу з швидкістю вигорання і нижчою теплою згорання [3]:

$$Q = \eta m Q_H S, \quad (1)$$

де η – коефіцієнт повноти згорання летких продуктів розкладу речовини у полум'ї (приймається 0,85);

m – масова швидкість вигорання матеріалу, кг/(м²·с);

Q_H – нижча теплота згорання матеріалу, кДж/кг;

S – площа поверхні зразка, що перебуває під дією теплового впливу, m^2 .

Необхідно відзначити, що величина зміни швидкості вигорання Δm , яку віднесено до проміжку часу $\Delta \tau$, протягом якого пройшли ці зміни, визначає масу матеріалу, що вигоріла з одиниці об'єму зразка. 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 горіння, описується диференціальним рівнянням виду [7]:

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

де τ – час з моменту запалення, с;

α – коефіцієнт пропорційності, що залежить від виду горючого матеріалу і ефективності захисних речовин, приймається за константу, s^{-1} ;

m_0 – початкова швидкість вигорання матеріалу, $kg/(m^2 \cdot s)$;

$\omega = \omega(\tau)$ – функція джерела запалювання, що характеризує інтенсивність зміни питомої маси зразка у полум'ї, $kg/(m^2 \cdot s^2)$.

Функція ω , яка входить в рівняння (2), дозволяє врахувати вплив на тепловиділення різних факторів, наприклад, вогнезахисного покриття, яке після теплової дії утворює на поверхні зразків коксовий шар, що перешкоджає нагріванню зразка зовні та поглинає частину внутрішньої теплоти.

Як початкову умову для рівняння (2) використовуємо залежність:

$$m(0) = m_0, \quad (3)$$

при чому в загальному випадку $m_0 \neq 0$.

Таким чином, у математичній інтерпретації, задача зводиться до розв'язання диференціального рівняння (2) з початковою умовою (3).

Рівняння (2) є лінійним диференціальним рівнянням типу [8]

$$\frac{dm}{d\tau} + \alpha m = \beta(\tau), \quad (4)$$

де $\beta(\tau) = \alpha m_0 + \omega(\tau)$, $kg/(m^2 \cdot s^2)$;

Загальний інтеграл рівняння (2) приводиться до наступного вигляду:

$$m = e^{-\alpha\tau} \left[\int \beta(\tau) e^{\alpha\tau} d\tau + C \right], \quad (5)$$

де C – константа інтегрування, що знаходиться з початкової умови.

Якщо зробити припущення, що в силу факторів, які перешкоджають прискоренню реакцій горіння (наявність захисту) функція $\omega(\tau)$ є експоненціальна:

$$\omega(\tau) = \omega_0 e^{-\gamma\tau}, \quad (6)$$

де ω_0 – інтенсивність згорання матеріалу в початковий момент часу, $kg/(m^2 \cdot s^2)$;

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

Після підстановки (6) в (5) та інтегрування отримуємо наступний вираз для розрахунку швидкості вигорання:

$$m = e^{-\alpha\tau} \left(m_0 e^{\alpha\tau} + \frac{\omega_0}{\alpha - \gamma} e^{(\alpha-\gamma)\tau} + C \right), \quad (7)$$

де C – константа інтегрування, тоді, с урахуванням (3)

$$C = -\frac{\omega_0}{\alpha - \gamma}. \quad (8)$$

В результаті рівняння для розрахунку швидкості вигорання захищених целюлозовмісних матеріалів остаточно набуває вигляду:

$$m = m_0 + \frac{\omega_0}{\alpha - \gamma} \cdot (e^{-\gamma\tau} - e^{-\alpha\tau}). \quad (9)$$

На рис. 1 приведено один із варіантів розрахунку швидкості вигорання за (9).

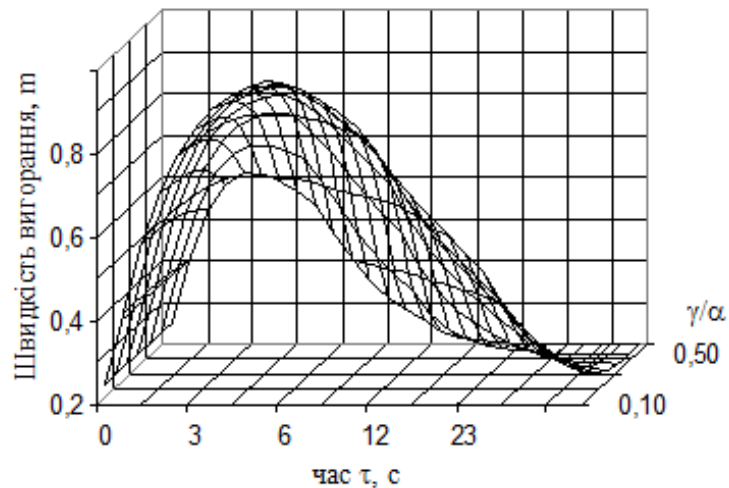


Рисунок 1 – Динаміка швидкості вигорання при $m_0 = 0,2 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ та $\alpha = 0,51 \text{ с}^{-1}$

Розглянемо граничні випадки. Якщо зразок не оброблений захисними речовинами, то математично це означає, що $\alpha \gg \gamma$ або $\gamma \rightarrow 0$.

Тоді рівняння (9) набуває наступного вигляду:

$$m_{\gamma \rightarrow 0} = m_0 + \frac{\omega_0}{\alpha} (1 - e^{-\alpha\tau}). \quad (10)$$

Це означає, що відразу після запалювання зразка починається стадія вільного розвитку пожежі й максимальна швидкість вигорання становить:

$$\hat{m}_{\gamma \rightarrow 0} = m_0 + \omega_0 / \alpha. \quad (11)$$

досягається, через нескінченно великий проміжок часу, але за допустимої похибки розрахунку ε це проходить в момент часу

$$\hat{\tau}_{\gamma \rightarrow 0} = \frac{1}{\alpha} \ln \varepsilon, \quad (12)$$

і потім починається період стаціонарного розвитку пожежі до повного згоряння зразка. В безрозмірних змінних (10) запишеться у вигляді

$$\bar{m}_{\gamma \rightarrow 0} = 1 - e^{-\bar{\tau}}, \quad (13)$$

де в нашому випадку $\bar{\tau} = \alpha \cdot \tau$ – безрозмірний час.

У випадку ідеального модифікування $\alpha \ll \gamma$ чи при $\alpha \rightarrow 0$ з рівняння (9) отримуємо:

$$m_{\alpha \rightarrow 0} = m_0 - \frac{\omega_0}{\gamma} (e^{-\gamma \cdot \tau} - 1), \quad (14)$$

звідки випливає, що з моменту початку впливу на зразок теплового джерела починається стадія припинення горіння. Максимальна швидкість вигорання буде $\hat{m} = m_0$, а мінімальна \check{m} – початкова, яка знижена до рівня

$$\check{m}_{\alpha \rightarrow 0} = m_0 - \frac{\omega_0}{\gamma}. \quad (15)$$

Після підстановки в (15) безрозмірних перемінних

$$\bar{m}_{\alpha \rightarrow 0} = \frac{m_{\alpha \rightarrow 0} - \check{m}_{\alpha \rightarrow 0}}{m_0 - \check{m}_{\alpha \rightarrow 0}} \quad \text{і} \quad \bar{\tau} = \gamma \cdot \tau \quad (16)$$

На відміну від (13) маємо

$$\bar{m}_{\alpha \rightarrow 0} = e^{-\bar{\tau}}. \quad (17)$$

Результати досліджень. Перевірка адекватності розробленої моделі.

Для визначення значень цих параметрів проведено експериментальні дослідження, де в якості об'єкту досліджень використовували деревину (ГОСТ 2140 [9]) та деревину оброблену вогнезахисним покриттям.

Для проведення дослідження використовували установку з визначення групи горючості матеріалів згідно з ГОСТ 12.1.044 [10], яка додатково була оснащена пристроєм для реєстрації зміни маси зразка в ході випробувань (рис. 3.4). Спочатку були проведені випробування необроблених зразків деревини. Після температурного впливу на необроблені зразки, відбувалось займання матеріалів, які досліджувались. Потім були проведені випробування зразків деревини, які були оброблені антипіренами та антисептиком.

На рисунку 2 представлено динаміку швидкості вигорання зразків, яку визначали експериментально.

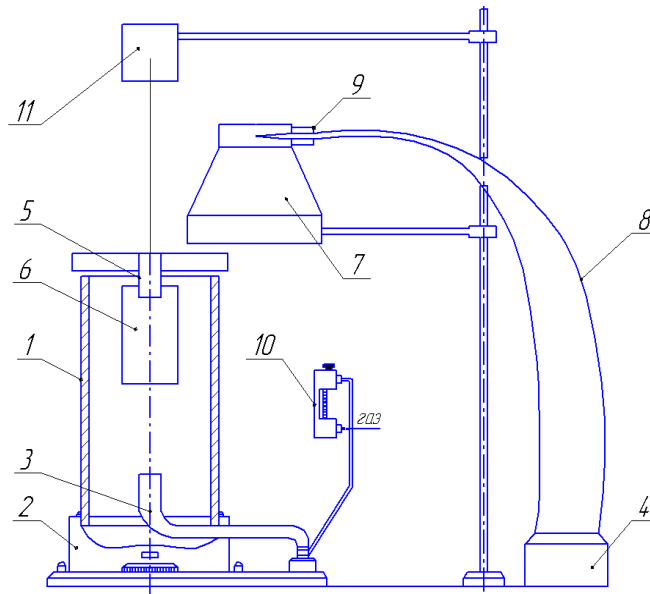


Рисунок 2 – Установа для визначення швидкості вигорання деревини:
 1 – керамічний короб; 2 – підставка; 3 – газовий пальник; 4 – потенціометр КСП-4; 5 – держак зразка; 6 – зразок; 7 – зонт; 8 – термоелектричний перетворювач; 9 – верхній патрубок зонта; 10 – ротаметр; 11 – ваги.

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, уповільнюється. Наявність захисних речовин знижує швидкість вигорання матеріалу [11, 12].

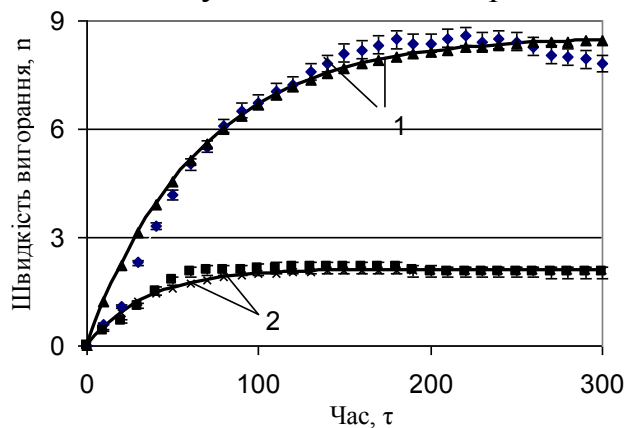


Рисунок 3 – Залежність швидкості вигорання зразка деревини m_i в часі τ . 1 – необроблений; 2 – вогнезахисний покриттям

Експериментальні дані оброблювали методом найменших квадратів. Мінімізувалась дисперсія

$$D = [m(\tau_i) - m_i]^2, \quad (18)$$

де τ_i – час проведення замірів, с;

$m(\tau_i)$ – теоретичні значення швидкості вигорання, які розраховані за формулою (10), (14);

m_i – експериментальні значення швидкості вигорання.

Після мінімізації D розраховували середнє квадратичне відхилення σ по формулі

$$\sigma = \sqrt{D/(n - n_0)}, \quad (19)$$

де n – число вимірів; n_0 – число невідомих параметрів.

Для всіх експериментів приймалося $m_0 = 0$, так як попереднє займання зразків не проводилося і значення $n_0 = 0$.

Результати оброблення експериментальних даних по горінню зразків деревини наведено в табл. 1.

Таблиця 1 - Результати оброблення експериментальних даних по горінню зразків деревини

Зразок деревини сосни	Значення параметра			
	$\omega_0, \text{г}/(\text{м}^2 \cdot \text{с}^2)$	$\alpha \cdot 10^3, \text{с}^{-1}$	$\gamma \cdot 10^3, \text{с}^{-1}$	$\sigma, \text{г}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$
необроблений	0,13	15,20	0,03	4,81
Вогнезахисний покриттям, з витратою 260 г/м ²	0,06	0,009	28,4	2,78

Характерною особливістю для всіх зразків в початковій стадії є процес нагріву зразка, а потім для необроблених характерним є процес займання та горіння зразка тобто відношення параметрів $\alpha > \gamma$.

Для необроблених зразків показник розвитку горіння (α) становить $0,0152 \text{ с}^{-1}$, а припинення (γ) ≈ 0 , за таких значень досягається максимальна швидкість вигорання, яка становить близько $8,2 \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$. Показники швидкості розвитку і припинення горіння для деревини обробленої вогнезахисним покриттям, суттєво відрізняються від попереднього, а саме, показник припинення швидкості горіння $\gamma = 0,0284 \text{ с}^{-1}$ за показника розвитку горіння $\alpha \approx 0, \text{ с}^{-1}$. За такої кількості захисного засобу досягається мінімальна швидкість вигорання $2,11 \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$. Розрахована за отриманими залежностями швидкість тепловиділення необробленої деревини становить $38,4 \text{ кВт}$, а обробленої – $1,17 \text{ кВт}$.

Висновок. Таким чином, у результаті проведених досліджень отримано аналітичне рівняння (9), яке дає можливість провести розрахунок швидкості вигорання матеріалів за наявності захисних речовин, що дозволяє зробити прогноз впливу вогнезахисних покриттів на швидкість горіння зразків деревини.

Список літератури

1. Корольченко А.Я. Пожарная опасность строительных материалов. Учебное пособие / А.Я. Корольченко, Д.В. Трушкин. – М: Изд. “Пожнаука“, 2005. – 231 с.

2. Цапко Ю.В. Дослідження умов вигорання дерев’яних будівельних конструкцій /Ю.В. Цапко// Організація управління в надзвичайних ситуаціях:

Матеріали 14-ї Всеукр. наук.-практ. конф. Київ: ІДУЦЗ УЦЗУ, 2012. – С. 415-419.

3. 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 // Пожаровзрывобезопасность. – М.: ВНИИПО, 2002. – Вып. 3.– С. 13-19.

4. Цапко Ю.В. Визначення впливу модифікаторів деревини на вогнестійкість дерев'яних конструкцій / Ю.В. Цапко // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. Збірник наукових праць. Рівне: НУВГП, 2013.- Вип. 25. – С. 472-479.

5. Огнезащитные покрытия на основе модифицированных полисахаридов. Часть 2. Дымообразующая способность и токсичность продуктов горения / [А.Б. Сивенков, Б.Б. Серков, Р.М. Асеева и др.] // Пожаровзрывобезопасность, 2002, № 2, – С. 21-26.

6. Демехин В.Н. Пожарная опасность и поведение строительных материалов в условиях пожара / В.Н. Демехин, В.М. Лукинский, Б.Б. Серков. - СПб.: ООО "Ковэкс", 2002. – 142 с.

7. Моделирование пожаров и взрывов / Под ред. Н.Н. Брушлинского и А.Я. Корольченко. - М: Изд. "Пожнаука", 2000. – 492 с.

8. Справочник по математике (для научных работников и инженеров) / Г. Корн, Т. Корн.- М.: Наука, 1974. – 832 с.

9. Видимые пороки древесины. Классификация, термины и определения, способы измерения (ГОСТ 2140-81) [Дата введения 1983-01-01]. - М.: Издательство стандартов, 1981. – 17 с.

10. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения (ГОСТ 12.1.044–1989 Межгосударственный стандарт) - [Дата введения 1991–01–01]. - М.: Издательство стандартов, 1990. – 143 с.

11. Цапко Ю.В. Визначення параметрів швидкості вигорання зразків вогнезахищених целюлозовмісних матеріалів / Ю.В. Цапко // Науковий вісник будівництва. Харків: ХДТУБА, ХОТВ АБУ, 2007.- Вип. 42. – С. 185-191.

12. Цапко Ю.В. Визначення ефективності вогнезахисту целюлозовмісних матеріалів / Ю.В. Цапко // Зб. наук. праць. - Львів: ЛПБ, 2005. - Вип.7.- С. 132-137.

Аннотация

МОДЕЛИРОВАНИЕ СКОРОСТИ СГОРАНИЯ ДРЕВЕСИНЫ, ЗАЩИЩЕННОЙ ОГНЕЗАЩИТНЫМИ ПОКРЫТИЯМИ

Цапко А.Ю., Цапко Ю.В.

Разработана физическая модель скорости выгорания древесины и ее математическая интерпретация, особенностью которой является наличие показателя интенсивности замедления реакций горения при применении

огнезащитного покрытия. Установлено снижение скорости выгорания древесины, огнезащитной покрытием, что наглядно подтверждает достоверность разработанной модели.

Abstract

DESIGN SPEED COMBUSTION WOOD PROTECTED FIRE PROTECTIVE COATINGS

Tsapko O.Ju., Tsapko Ju.V.

Developed a physical model of wood burn rate and its mathematical interpretation, which feature is the presence indicator intensity slowdown combustion reactions in the application of fire-proof coatings. The decrease rate of wood burn flame-protected coating that clearly verifies developed model.

УДК 621.93

**ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ВИКОРИСТАННЯ ФОРМАТНИХ
ВЕРСТАТІВ ТА ПИЛЯЛЬНИХ ЦЕНТРІВ У СУЧАСНИХ УМОВАХ
ВИРОБНИЦТВА МЕБЛЕВИХ ВИРОБІВ**

Павленко Н.О., Сивко С.П.

(Малинський лісотехнічний коледж)

В статті наводиться порівняльний аналіз використання форматних верстатів та пиляльних центрів. Розглянуто конструкцію, принцип роботи, системи керування та автоматизацію названого устаткування.

Спеціалізованим обладнанням для розкроювання плит є центри з ЧПК на базі круглопилкових верстатів з рухомим пиляльним супортом і притискною балкою (для стислості – «пиляльні центри»). Дослівний переклад назви цього обладнання з німецької, англійської і деяких інших мов – «пилки для плит».

Доцільність придбання пиляльних центрів для серійного виробництва сумнівів не викликає. Центри із заднім завантаженням плит і максимальною висотою пропилю хоч і коштують вдесятеро дорожче від звичайного форматного верстата, але і працюють вдесятеро швидше. Нікому не спаде на думку замінити такий центр 10-15 форматними верстатами.

Ефективність застосування пиляльних центрів для індивідуального і дрібносерійного виробництва не така очевидна. Так на європейських фабриках часто можна побачити такі центри, які виготовляють меблі на замовлення.