

Ключевые слова: *тепловая обработка, пилопродукция, дуб, сосна, ольха, граб, эффективное использование, низкотемпературная сушка, качество, термическое модифицирование, физико-механические свойства.*

FEATURES OF HEAT TREATMENT DIFFERENT SPECIES WOOD

O. Pinchevska, V. Nesvidomin, A. Spirochkin, O. Gorbachova

Abstract. *The article presents the main results of sawn timber low-temperature drying kinetics experimental studies to determine the thermodynamic parameters of the most common commercial species of wood: oak, pine, alder. The results allow to calculate the thermodynamic factors in the equation of the sawn timber current moisture content at each stage of the low-temperature drying at any temperature in the modern chambers. Taking into account the thermodynamic characteristics of the process in modern chambers it is proposed a method for calculating the duration of the low-temperature drying based on the solution of the equation according to time. The method and the results of experimental research to determine some physical, mechanical and technological properties hornbeam wood thermomodified by different modes are given. Established that the high temperatures according to regime parameters changed colour wood hornbeam from light brown to black. Determined that after the heat treatment the hornbeam wood can not be used as resonant material. Heat treatment has ambiguous influence on the mechanical and technological properties of hornbeam wood.*

Keywords: *heat treatment, saw timber, oak, pine, alder, hornbeam, effective use, low-temperature drying, quality, thermal modification, physical and mechanical properties.*

УДК 614.842

МОДЕЛЬ РОБОТИ ІНТУМЕСЦЕНТНОГО ПОКРИТТЯ ДЛЯ ДЕРЕВИНИ

Ю. В. ЦАПКО, доктор технічних наук,

О. Ю. ЦАПКО,

Г. Б. ІНОЗЕМЦЕВ, доктор технічних наук,

Національний університет біоресурсів і природокористування України

І. Г. ГРАБАР, доктор технічних наук

Житомирський національний агроекологічний університет

E-mail: juriyts@ukr.net

Анотація. *Розроблено фізичну модель процесу займання деревини та її математичну інтерпретацію, особливістю якої є наявність потужності виділення (поглинання) теплоти при термічному розкладі*

© Ю. В. Цапко, О. Ю. Цапко, Г. Б. Іноземцев, І. Г. Грабар, 2016

матеріалу та показника швидкості термічного розкладу сповільнення реакцій горіння при застосуванні вогнезахисного покриття. Вирішення цієї задачі проведено аналітичним методом. Виявлено, що для необробленої деревини проходить швидкий процес займання матеріалу і виділення значної кількості тепла, для вогнезахисної деревини температура є нижчою температури займання деревини. Для встановлення вогнезахисної ефективності при застосуванні покриття було проведено дослідження щодо визначення групи горючості деревини за показниками втрати маси та приросту температури димових газів і встановлено, що при обробленні покриттями втрата маси деревини не перевищує 5 %, а температура не перевищує 160°C. Експериментальними дослідженнями встановлено, що після розміщення зразка деревини у випробувальній камері починається його займання з виділенням значної температури, натомість для зразка вогнезахисної деревини йде поступове зниження температури, тобто зафіксовано роботу покриття, а відповідно зниження інтенсивності горіння деревини, вогнезахисного покриття, що наглядно підтверджує достовірність розробленої моделі.

Ключові слова: вогнестійкість, покриття, деревина, втрата маси, обвуглювання, температура, полум'я, оброблення поверхні.

Актуальність. Зниження пожежної небезпеки будівельної деревини є завданням не лише економічним, а й має соціальну та екологічну спрямованість. Важливою проблемою забезпечення життєдіяльності та безпечного функціонування об'єктів будівництва є розроблення, з економічного, технологічного та екологічного поглядів, спучуючих вогнезахисних покриттів для будівельних конструкцій, що можуть використовуватись не тільки нарівні з існуючими аналогами, а й бути високоефективними у спеціальних галузях будівництва.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На сьогодні існує два способи вогнезахисту деревини. Перший – це просочення антипіренами, частіше за все на основі неорганічних солей [1–3]. При зволоженні деревини вогнезахисні речовини розчиняються у вологому середовищі і поступово вимиваються на поверхню, а потім із часом вогнезахисний ефект знижується [4; 5]. Другий засіб – це нанесення на поверхню деревини покриття на органічному чи неорганічному в'язучому. Засіб на органічному в'язучому має підвищене димоутворення і виділення токсичних речовин, тому його використання є небезпечним. Вогнезахисні покриття на неорганічному в'язучому, властивості яких уже досліджено, не мають біозахисних властивостей і під дією атмосфери втрачають адгезійні властивості та осипаються [6–8].

Ефективність застосування вогнезахисних покриттів спрямована на створення спучуючих вогнезахисних матеріалів, які діють за принципом істотного зниження теплопровідності утворених ними покриттів унаслідок перетворення їх при інтенсивному тепловому впливі на пінококсіві ніздрюваті шари, які значно відсувають у часі як момент загоряння

горючих конструкцій із дерева і нагрівання упродовж заданого часу конструкцій до неприпустимо високих температур, які знижують їхню конструкційну міцність [6–8].

Мета дослідження – моделювання роботи інтумесцентного покриття для захисту будівельних конструкцій від дії вогню за рахунок утворення термостійкого спученого шару коксу і встановлення ефективності вогнезахисту обробленої деревини.

Матеріали і методи дослідження. Розглядали одношарову стінку, яку виготовлено з деревини сосни, обробленої засобами вогнезахисту.

Для визначення цієї залежності застосовано метод, що ґрунтується на математичному моделюванні процесів теплообміну дерев'яної конструкції в умовах заданого температурного режиму [1; 2].

Теплову схему вогнезахисної дерев'яної стінки наведено на рис. 1.

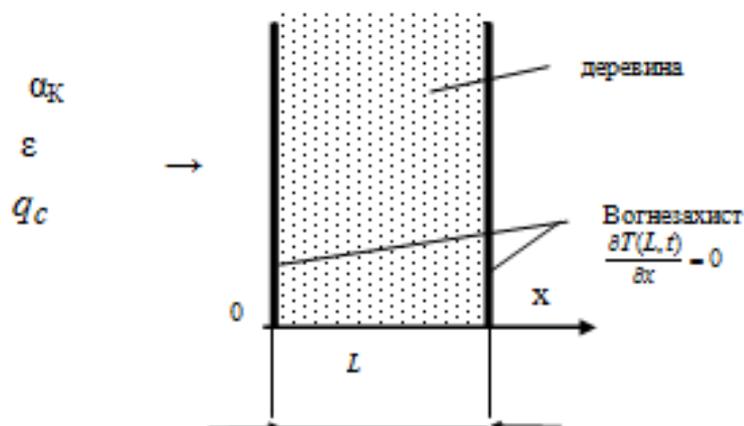


Рис. 1. Теплова схема дерев'яної стінки

Математична модель складається з рівнянь теплопровідності та умов однозначності та має такий вигляд:

за $-\infty < x < 0$

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(a_c \frac{\partial T_c}{\partial x} \right) = \frac{\partial T_c}{\partial t} \quad (1)$$

за $0 > x > \infty$

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(a_d \frac{\partial T_d}{\partial x} \right) = \frac{\partial T_d}{\partial t} \quad (2)$$

$$T_d(x,0) = T_0 \quad (3)$$

$$\lambda \frac{\partial T_d}{\partial x} \Big|_{x=L} = 0 \quad (4)$$

де T_d – температура дерев'яної стінки, °С;
 T_c – температура нагрітого середовища, °С;
 x – координата, м;
 t – час, с;

$a_c = \lambda_c / (c_c \times \rho_c)$ – коефіцієнт температуропровідності горючих газів пожежі, м²/с;

$a_d = \lambda_d / (c_d \times \rho_d)$ – коефіцієнт температуропровідності матеріалу стінки, м²/с;

λ_c, λ_d – коефіцієнт теплопровідності відповідно горючих газів пожежі та деревини, Вт × м⁻¹ × °С⁻¹;

c_c, c_d – питома масова теплоємність відповідно горючих газів пожежі та деревини, Дж·кг⁻¹ × °С⁻¹;

ρ_c, ρ_d – густина відповідно горючих газів пожежі та деревини, кг·м⁻³;

C_0 – випромінювальна здатність абсолютно чорного тіла, Вт × м⁻² × °С⁻⁴;

ε – зведений коефіцієнт теплового випромінювання системи «нагрівальне середовище – обігрівна поверхня стінки».

На межі розділу горючого середовища і деревини виконується умова рівності температури нагрівального середовища і деревини та баланс теплової енергії з урахуванням горіння (окиснення) деревини і впливу вогнезахисту:

$$T_c|_{x=0} = T_d|_{x=0}, \quad \lambda_d \left. \frac{\partial T_d}{\partial x} \right|_{x=0} = \varepsilon \cdot C_0 \cdot T_c^4 + \lambda_c \left. \frac{\partial T_c}{\partial x} \right|_{x=0} - \omega_T + Q_T \quad (5)$$

де ω_T – об'ємна потужність виділення (поглинання) теплоти за термічного розкладу матеріалу:

$$\omega_T = \rho_d (1 - K) \frac{d\chi(T)}{dt} Q_n, \quad (6)$$

де K – масова частка кондексованого матеріалу;

$\chi(T)$ – залежність ступеня закінчення термічного розкладу матеріалу:

$$\chi(T) = \frac{m_0 - m(T)}{m_0 - m_k}, \quad (7)$$

$m_0, m(T), m_k$ – відповідно початкова, поточна і кінцева маса матеріалу, кг;

Q_n – нижча теплота згоряння матеріалу, кДж/кг;

Q_T – об'ємна швидкість термічного розкладу:

$$Q_T = \frac{\eta \cdot m \cdot Q_n \cdot S}{V}, \quad (8)$$

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

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

Q_n – нижча теплота згоряння матеріалу, кДж/кг;

S – площа поверхні, що перебуває під дією теплового впливу, м²;

V – об'єм розкладеного матеріалу, м³.

У загальному вигляді для розрахунку швидкості вигорання вогнезахисних матеріалів (деревина, паперові вироби) використовують рівняння:

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

де τ – час з моменту запалення, с;
 α – коефіцієнт пропорційності, що залежить від виду горючого матеріалу і ефективності захисних речовин, приймається за константу, с⁻¹;
 m_0 – початкова швидкість вигорання матеріалу, кг/(м²×с);
 ω_0 – інтенсивність згорання матеріалу в початковий момент часу, кг/(м²×с²);
 γ – показник інтенсивності сповільнення реакцій горіння за рахунок дії захисних речовин, с⁻¹.

Якщо зразок деревини не оброблений захисними покриттями, то рівняння швидкості вигорання набуває такого 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.

У випадку ідеального вогнезахисту отримуємо:

$$m_{\alpha \rightarrow 0} = m_0 - \frac{\omega_0}{\gamma} (e^{-\gamma\tau} - 1), \quad (11)$$

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

Результати дослідження та їх обговорення. Із урахуванням результатів досліджень [3] рішення рівняння (1, 2) набуває такого вигляду:

$$T = a_i + b_i \Phi \left(\frac{\xi}{2\bar{\varphi}_i \sqrt{\bar{\tau}}} \right), \quad (9)$$

де:

$$\Phi(\sigma) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^{\sigma} e^{-\sigma^2} d\sigma - \text{інтеграл помилок.} \quad (10)$$

Коефіцієнти a_i , b_i – довільні сталі, які визначаються з крайових умов.

У початковий момент часу температура у лівій частині області визначення основної системи рівнянь відповідає температурі горючого середовища, тобто при $x < 0$ маємо:

$$T|_{t=0} = T_c, \quad (11)$$

тоді враховуючи рівняння (5) та (9) отримуємо:

$$a_d = a_c. \quad (12)$$

Після підстановки (10) у (9), для температури нагрівального середовища і деревини після перетворень отримуємо рівняння:

$$\left. \frac{\partial T_c}{\partial x} \right|_{x=0} = -\frac{b_c}{\sqrt{\pi a_c t}}, \quad (13)$$

$$\left. \frac{\partial T_d}{\partial x} \right|_{x=0} = \frac{b_d}{\sqrt{\pi a_d t}}. \quad (14)$$

З граничної умови (11) при $x \rightarrow -\infty$ отримуємо:

$$a_c + b_c = T_c, \quad (15)$$

а з урахуванням граничної умови (11) при $x \rightarrow \infty$ знаходимо:

$$a_d + b_d = T_0. \quad (16)$$

Після підстановки (13) і (14) у граничну умову (5) отримуємо залежність:

$$\lambda_d \frac{b_d}{\sqrt{\pi a_d t}} = \varepsilon C_0 T_c^4 + \lambda_c \frac{b_c}{\sqrt{\pi a_c t}} - \rho_d (1-K) \frac{m_0 - m(T)}{m_0 - m_k} Q_i + \eta \cdot m \cdot Q_H \cdot S. \quad (17)$$

Таким чином, із системи рівнянь (12, 15, 16, 17) щодо невідомих a_c , b_c , a_d , b_d знаходимо рішення.

З виразів (15), (16) отримуємо:

$$a_c = T_c - b_c, \quad (18)$$

$$b_d = T_0 - T_c + b_c. \quad (19)$$

Після підстановки (19) у (17) та відповідних перетворень маємо:

$$b_c(t) = \frac{\sqrt{\pi a_c a_d t}}{\lambda_c \sqrt{a_d} - \lambda_d \sqrt{a_c}} \left[\varepsilon \cdot C_0 T_c^4 + \frac{\lambda_d (T_c - T_0)}{\sqrt{\pi a_d t}} - \rho_d (1-K) \frac{m_0 - m(T)}{m_0 - m_k} Q_i + \eta \cdot m \cdot Q_H \cdot S \right], \quad (20)$$

а з 19 і 20 отримуємо:

$$b_d(t) = (T_0 - T_c) + \frac{\sqrt{\pi a_c a_d t}}{\lambda_c \sqrt{a_d} - \lambda_d \sqrt{a_c}} \left[\varepsilon \cdot C_0 T_c^4 + \frac{\lambda_d (T_c - T_0)}{\sqrt{\pi a_d t}} - \rho_d (1-K) \frac{m_0 - m(T)}{m_0 - m_k} Q_i + \eta \cdot m \cdot Q_H \cdot S \right] \quad (21)$$

За результатами досліджень встановлено, що об'ємна потужність виділення (поглинання) теплоти при термічному розкладі деревини (сосна) починається з температури близько 100 °С і після 220 °С різко підвищується до температури 450÷500 °С, а потім після видалення летких продуктів горіння зменшується [4]. Що стосується деревини вогнезахисного покриття, то об'ємної потужності виділення теплоти з деревини немає і поглинання теплоти за термічного розкладу такої композиції спрямовано на розклад покриття [5].

У результаті проведених досліджень виявлено різку зміну інтенсивності горіння деревини у разі її захисту покриттям [6]. Для необроблених зразків показник розвитку горіння (α) становить 0,0152 с⁻¹, а припинення (γ) ≈ 0 , за таких значень досягається максимальна швидкість вигорання, яка становить близько 8,2 г/(м²×с). Показники швидкості розвитку і припинення горіння для деревини, обробленої вогнезахисним покриттям, суттєво відрізняються від попереднього, а саме, показник припинення швидкості горіння $\gamma = 0,0284$ с⁻¹ за показника розвитку горіння $\alpha \approx 0$, с⁻¹. За такої кількості захисного засобу досягається мінімальна швидкість вигорання 2,11 г/(м²×с), яка спрямована в основному на розклад інтумесцентного покриття. Розрахована за отриманими залежностями швидкість тепловиділення необробленої деревини становить 38,4 кВт, а обробленої – 1,7 кВт, яка пов'язана з роботою вогнезахисного покриття.

Враховуючи вищенаведені результати, було розраховано залежність температури горіння деревини від часу експозиції зразка за отриманими залежностями (18–21) (рис. 2).

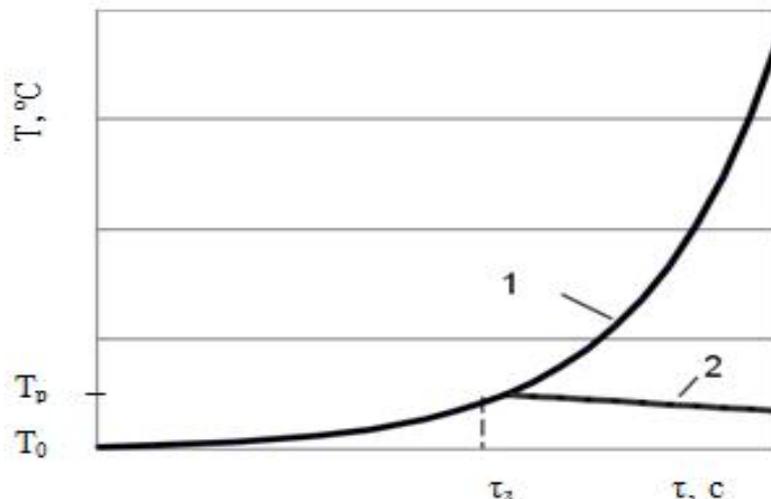


Рис. 2. Залежність температури горіння деревини від часу експозиції зразка: 1 – необроблений, 2 – вогнезахисний покриттям

Як видно з рис. 2, для необробленої деревини проходить швидкий процес займання матеріалу і виділення значної кількості тепла, для вогнезахисної деревини температура є нижчою температури займання деревини (T_z).

Проведено дослідження з визначення групи горючості деревини та деревини, обробленої покриттям [7]. Результати досліджень з визначення приросту максимальної температури газоподібних продуктів горіння (T , °C) необробленої деревини та вогнезахисної покриттям наведено на рис. 3.

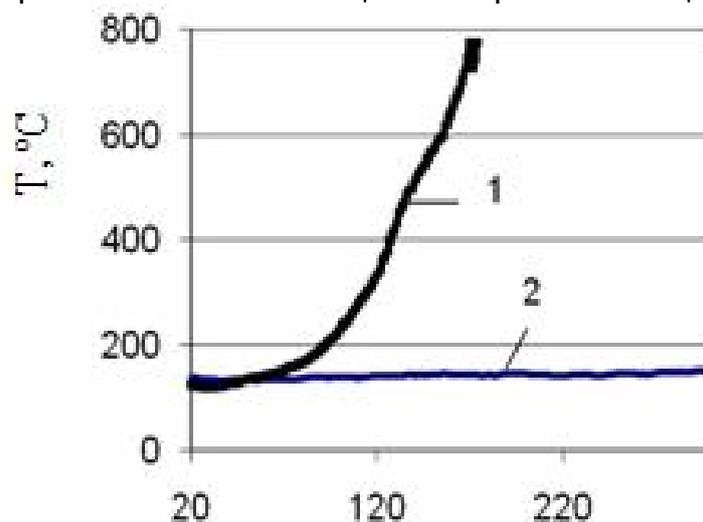


Рис. 3. Залежність температури горіння деревини від часу витримки зразка в полум'ї: 1 – необроблений, 2 – вогнезахисний покриттям

Дослідження показали, що після розміщення зразка деревини у випробувальній камері починається його займання з виділенням значної температури, натомість для зразка вогнезахищеної деревини йде поступове зниження температури, тобто зафіксовано відсутність горіння, а втрата маси деревини не перевищує 5 %.

Висновки і перспективи. Розроблено фізичну модель процесу займання деревини та її математичну інтерпретацію, особливістю якої є наявність потужності виділення (поглинання) теплоти при термічному розкладі матеріалу та показника швидкості термічного розкладу сповільнення реакцій горіння при застосуванні вогнезахисного покриття. Експериментальними дослідженнями встановлено зниження інтенсивності горіння деревини, вогнезахищеної покриттям, що наглядно підтверджує достовірність розробленої моделі.

У подальшому планується дослідити механізм роботи інтумесцентного покриття та вплив компонентів на цей механізм.

Список використаних джерел

1. Цапко Ю. В. Дослідження ефективності застосування модифікаторів для підвищення довговічності деревини / Ю. В. Цапко // Вісник ОДАБА. – Одеса : ОДАБА, 2014. – Вип. 54. – С. 395–402.
2. Gusiya S. The study of some aspects of the impact on the stability of wood protection wood structures / S. Gusiya, Yu Tsapko // 1st International Conference on the Chemistry of Construction Material by the GDCh Division of Chemistry of Construction Chemicals, October 7–9. – Berlin, 2013. – P. 209–212.
3. Самарский А. А. Вычислительная теплопередача / А. А. Самарский, В. П. Вабищевич. – М. : Едиториал УРСС, 2003. – 784 с.
4. Молчадский О. И. Использование методов термического анализа для оценки теплофизических характеристик строительных материалов / О. И. Молчадский, Н. В. Смирнов, Н. Г. Дударов // Пожаровзрывобезопасность. – 1999. – № 3. – С. 74–85.
5. Цапко Ю. В. Влияние поверхностной обработки древесины на огнестойкость деревянных конструкций / Ю. В. Цапко // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – Харьков: Технологический центр, 2013. – № 5/5 (65). – С. 11–14.
6. Цапко Ю. В. Визначення впливу модифікаторів деревини на вогнестійкість дерев'яних конструкцій / Ю. В. Цапко // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. – Рівне : НУВГП, 2013. – Вип. 25. – С. 472–479.
7. Kravchenko A. Research of fire-retardant properties of timber constructions, protected geocement-based coating, after their operation / A. Kravchenko, S. Guzii, Yu. Tsapko, V. Petranek // Advanced Materials Research. – 2015. – Vol. 1122. – P. 7–10.

References

1. Tsapko, Yu. V. (2014). Doslidzhennya efektyvnosti zastosuvannya modyfikatoriv dlya pidvyzhennya dovgovichnosti derevyyny [Investigation of the effectiveness of

- modifiers for increasing the durability of wood], Bulletin of the Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture, 54, 395–402.
2. Guzii, S., Kravchenko, A., Kryvenko, P., Tsapko, Yu., Sotiriadis, K. (2015). Heat-reflecting Geocement Based Coatings Containing Perlite for Fire Protection of Timber. Advanced Materials Research, 1122, 11–14.
 3. Samarskiy A. A., Vabishevich V. P. (2003). Vichyslitel'najaa teploperedacha [Computational heat transfer], Moscju, Russia: Editorial, 784.
 4. Molchadskiy, O. I. Smirnoff, N. V., Dudarov, N. Gh. (1999). Ispolzovanije metodov termicheskogo analiza dlja otsenki teplofizicheskikh kharakteristik stroitel'nykh materialov [Use of thermal analysis methods for assessing the thermophysical characteristics of building materials], Fire and explosion safety, 3, 74-85.
 5. Tsapko, Yu. V. (2013). Vliyanie poverhnostnoi obrabotki drevesiny na ognestoikost derevyannyh konstruktsyi [Influence of surface treatment of wood on fire resistance of wooden structures], Eastern European Journal of Advanced Technology, 5/5 (65), 11–14.
 6. Tsapko, Yu. V. (2013). Vznachennya vplyvu modyfikativ derevyny na vognestoiikost derevyannyh konstruktsyi [Determination of influence of wood modifiers on fire resistance of wooden constructions], Resource-saving materials, constructions, buildings and structures, 25, 472–479.
 7. Kravchenko, A., Guzii, S., Tsapko, Yu., Petranek, V. (2015). Research of fire-retardant properties of timber constructions, protected geocement-based coating, after their operation. Advanced Materials Research, 1122, 7–10.

МОДЕЛЬ РАБОТЫ ИНТУМЕСЦЕНТНОГО ПОКРЫТИЯ ДЛЯ ДРЕВЕСИНЫ

Ю. В. Цапко, А. Ю. Цапко, Г. Б. Иноземцев, И. В. Грабар

Аннотация. Разработаны физическая модель процесса воспламенения древесины и ее математическая интерпретация, особенностью которой является наличие мощности выделения (поглощения) тепла при термическом разложении материала и показателя скорости термического разложения и замедления реакций горения при применении огнезащитного покрытия. Данную задачу решено аналитическим методом. Выявлено, что для необработанной древесины проходит быстрый процесс воспламенения материала и выделение значительного количества тепла, для огнезащищенной древесины температура ниже температуры воспламенения древесины. Для установления огнезащитной эффективности при применении покрытия были проведены исследования по определению группы горючести древесины по показателям потеря массы и приросту температуры дымовых газов. Установлено, что при обработке покрытиями потеря массы древесины не превышает 5 %, а температура не превышает 160 °С. Экспериментальными исследованиями доказано, что после размещения образца древесины в испытательной камере начинается его возгорание с выделением значительной температуры, зато для образца огнезащищенной древесины идет постепенное снижение температуры, то есть зафиксирована работа покрытия, а соответственно снижение

интенсивности горения древесины, огнезащитной покрытием, наглядно подтверждает достоверность разработанной модели.

Ключевые слова: огнестойкость, покрытия, древесина, потеря массы, обугливание, температура, пламя, обработки поверхности.

MODEL OF INTUMESCENT WOOD COATINGS

Ju. Tsapko, A. Tsapko, G. Inozemcev, I. Grabar

Annotation. *The physical model of wood ignition process and its mathematical interpretation, which feature is the presence of discharge capacity (absorption) of heat by the thermal decomposition of the material and the index of the rate of thermal expansion slowing combustion reactions in the application of fire-retardant coating. The solution to this problem of the analytical method. It was revealed that the untreated wood material passes fast ignition process and the evolution of considerable heat, flame retardancy to wood temperature below the ignition temperature of wood. To establish the effectiveness of the application of fire retardant coating studies were conducted to determine the flammability of wood group in terms of weight loss and increase the flue gas temperature, and found that in the processing of wood coatings mass loss does not exceed 5%, and the temperature does not exceed 160 ° C. Experimental studies have established that after placing the wood sample in the test chamber, begins its ignition temperature with a significant allocation, but the flame retardancy of the sample timber is a gradual decrease in temperature, ie fixed coating operation, and therefore decrease the intensity of the burning wood fire resistant coating, clearly confirms the accuracy of the developed model.*

Keywords: *fire, coating, timber weight loss, charring, the temperature of the flame, the surface treatment.*

УДК 684.4.04

ЕКСПРЕС-МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ ТЕРМОАКТИВАЦІЙНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРИ ПРОГНОЗУВАННІ ДОВГОВІЧНОСТІ ВИРОБІВ ІЗ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ НА ОСНОВІ ДЕРЕВИНИ

М. Г. ЧАУСОВ, доктор технічних наук

Л. М. БОЙКО, кандидат технічних наук

Національний університет біоресурсів і природокористування України

І. Г. ГРАБАР, доктор технічних наук

Житомирський національний агроекологічний університет

Анотація. *На основі уявлень механіки руйнування досліджено питання визначення термоактиваційних параметрів матеріалів (ТАП) на основі деревини. На прикладі основного рівняння Журкова показано можливість створення експрес-методу визначення ТАП. Кінетичне уявлення про механізм руйнування дає можливість розраховувати*