

О.П. Бондаренко¹,

канд. техн. наук, доцент

ORCID: 0000-0002-8164-6473

Ю.В. Цапко²,

докт. техн. наук, професор

ORCID: 0000-0003-0625-0783

О.Ю. Цапко^{1,2},

канд. техн. наук, доцент

ORCID: 0000-0003-2298-068X

К.О. Каверин¹,

канд. техн. наук, доцент

ORCID: 0000-0001-9086-5953

Н.П. Ляліна¹,

докт. техн. наук, професор

ORCID: 0000-0002-9364-0925

Д.Ю. Семігран¹,

студент

ORCID: 0009-0008-7740-7585

¹Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ

²Український державний науково-дослідний інститут "Ресурс", м. Київ

ЕФЕКТИВНІСТЬ СПУЧУЮЧОГО ПОКРИТТЯ ДЛЯ ВОГНЕЗАХИСТУ ДЕРЕВ'ЯНИХ СПОРУД

Проведеними дослідженнями встановлено вплив вогнезахисту деревини на займання й визначено параметри поширення полум'я та пригнічення горіння, що дає можливість впливати на цей процес. Доведено, що вони полягають у створенні на поверхні матеріалу шару, який запобігає прогріванню до критичної температури, коли починається інтенсивний розклад з виділенням необхідної кількості горючих газів та їх займання. Завдяки цьому стає можливим визначення впливу вогнезахисту та властивостей захисних композицій на процес гальмування швидкості вигорання деревини. Під час випробувань зразків деревини було встановлено, що необроблений зразок зайнявся на 52 с, полум'я поширилося по всьому зразку протягом 100 с натомість, зразок, вогнезахиснений «ФАСРВОЛ-АТТІК», не загорівся, просочувальним розчином БС-13 та «ФАСРВОЛ-СВ-1», а саме сумішшю у кількості 271,1 г/м², зайнявся на 570 та 560 с, поширення полум'я поверхню відбулося тільки на перші ділянки, максимальна температура димових газів становила 86 та 89 °С за час, більший понад 5 разів, а індекс горючості знизився до 4. Для зразка, захищеного засобом «ФАСРВОЛ-ЛАК», займання відбулося на останній секунді, полум'я зафіксовано на рівні 0. Для зразка, вогнезахисненого покриттям «ФАСРВОЛ-ВУД» загорання не відбулося, оскільки на поверхні утворився захисний шар пінококсу, індекс горючості 0. Завдяки цьому стало можливим визначення умов зміни параметрів горіння та гальмування при вогнезахисті деревини шляхом утворення бар'єру для теплопровідності. Результати співставлення експериментальних даних швидкості вигорання деревини з отриманим аналітичним рівнянням показали відповідність між ними. Таким чином,

є підстави стверджувати про можливість спрямованого регулювання процесів вогнезахисту деревини шляхом застосування вогнезахисних покриттів, здатних утворювати на поверхні матеріалу захисний шар, який гальмує швидкість вигорання деревини.

Ключові слова: захисні засоби, вогнестійкість, втрата маси, оброблення поверхні, швидкість вигорання деревини, ефективність захисту.

Актуальність теми дослідження. Деревина, як будівельний матеріал, широко застосовується в будівництві й архітектурі завдяки своїм механічним та експлуатаційним властивостям, але у зв'язку з підвищеною горючістю є пожежонебезпечним матеріалом. Підвищити рівень пожежної безпеки об'єктів, де використовуються будівельні конструкції з деревини, можливо за допомогою її вогнезахисного оброблення, суть якого полягає в наданні деревині здатності протистояти дії полум'я, поширенню полум'я поверхнею, в запобіганні вільному доступу кисню, який сприяє деструкції деревини і прискоренню процесу горіння.

Відомо, що деревина не здатна до полуменевого горіння сама по собі, горять продукти її розкладу, які утворюються під дією температури. Введення в матеріал антипіренів зменшує кількість утворення горючих легких продуктів, інгібує газофазні реакції полум'я, виключає безполуменеве горіння карбонізованого залишку та знижує швидкість втрати маси [1, 2]. Застосування покриттів дозволяє сповільнювати прогрівання матеріалу за рахунок утворення захисного шару і зберігати свої функції при пожежі протягом заданого періоду часу [3, 4].

Тому встановлення параметрів пригнічення горіння деревини за підвищених температур, і впливу покриття на цей процес, є невирішеною складовою забезпечення вогнестійкості та відповідно, визначає необхідність проведення таких досліджень.

Постановка проблеми. Вогнезахист дерев'яних будівельних конструкцій полягає в створенні на поверхні теплоізолюючих екранів, що витримують безпосередню дію вогню і дозволяють деревині зберігати свої функції протягом заданого періоду часу [5, 6]. Недоліком даних способів є те, що вони не дозволяють визначити ефективність вогнезахисту зразків целюлозовмісних матеріалів, а саме втрату маси зразків після випробувань та площу пошкодження зразків і застосовуються для оцінювання характеристик горіння матеріалів під дією полум'я в лабораторних умовах, які контролюються, і не можуть бути застосовані для визначення або регламентації пожежної небезпеки матеріалів в умовах реальної пожежі.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. В роботі [7] показано опис поведінки вогнезахисного покриття, що є окремим і складним завданням та охоплює, як спучування покриття, так і подальший теплоперенос. Але залишаються невирішеними питання, які пов'язані з встановленням механізму утворення пінококсу. Також у роботі [8] розглянуто вплив зв'язуючого на основі рослинної сировини на створення гнучких теплоізоляційних матеріалів, але як вирішується питання, що пов'язано з горючістю. В роботі [9] досліджено вплив термічної модифікації, а також вогнезахисної здатності, виявлено за такими характеристиками горіння, як втрата ваги, швидкість горіння, максимальна швидкість горіння, але не вказано хімічні зміни, викликані впливом цих факторів. Матеріали, які наведено у роботі [10] характеризуються високою вогневою

стійкістю, але не показано механізм утворення коксу та температурні переходи при термічній дії.

Ефективність застосування компонентів покриття на основі органічних речовин показана в роботі [11], де за рахунок дії антипіренів на основі поліфосфорних кислот та спінювачів можливо значно впливати на формування захисного шару пінококсу. Однак постає необхідність дослідження умов утворення бар'єру для теплопровідності та встановлення ефективної дії покриття з утворенням шару коксу.

В роботі [12] приведені найбільш перспективні вогнезахисні композиції спучуючих покриттів, які являють собою складні системи органічних і неорганічних компонентів, але залишаються невисвітленими питання щодо прояву спільної дії компонентів покриття при спінненні.

Значне підвищення стійкості, щільності і міцності захисного шару досягається внаслідок направленою формування тих чи інших добавок, які утворюють високотемпературні сполуки [13]. Однак для підтвердження цього процесу не наведені відповідні фізико-хімічні розрахунки.

Крім того, багато покриттів мають цілу низку недоліків, таких як нанесення окремих компонентів, втрати функціональних властивостей при збільшенні температури середовища [14]. Це означає, що не визначено, як саме протікає процес за умов температур у діапазоні розкладу вогнезахисного покриття.

Проведені також дослідження захисних матеріалів, виготовлених із органічних речовин з розчином з колеманітової руди [15]. Показано, що завдяки встановленим співвідношенням стає можливим корегування вмісту компонентів для забезпечення процесу теплостійкості.

Синергічна дія поліфосфат амонію і тригідрат оксиду алюмінію в якості вогнезахисних компонентів для епоксидної композиції, армованої природними волокнами, як вогнезахисного матеріалу наведена у роботі [16], але показано що не завжди неармовані склади не могли забезпечити ефективний опір полум'я при зміні температури. А тому проходив процес горіння з інтенсивною втратою маси, і для вирішення цього питання потребує розроблення нових підходів.

Таким чином, дослідження впливу компонентів, які входять до складу покриттів, на процес теплоізолювання є невіршеною складовою забезпечення вогнестійкості дерев'яних будівельних конструкцій, що і обумовило необхідність проведення досліджень у даному напрямку.

Постановка завдання. Метою даної роботи є дослідження вогнезахисної ефективності спучуючого покриття для деревини та встановлення механізму її вогнезахисту.

Матеріали і методи досліджень. Для встановлення горючості деревини, використовували зразки (рис. 1), необроблений та які обробляли просочувальними вогнезахисними засобами та покриттями. В табл. 1 наведено характеристики деревини після оброблення.

Дослідження з визначення термічної стійкості вогнезахисної деревини проводили за методикою, суть якої полягала у впливі на зразок деревини радіаційної панелі та його запалювання, вимірюванні температури продуктів горіння та у її досягнення, часу займання та проходження фронтом полум'я ділянок поверхні, довжини згорілої частини зразка [5].



Рис. 1. Модельні зразки деревини: для випробувань

Таблиця 1

Порівняльна характеристика маси зразків до і після обробки

№	Назва антипірену	Маса зразка		Набір маси зразка, Δm	Набір маси зразка, %
		до обробки	після обробки		
1	«ФАЄРВОЛ-АТТІК»	99,4	103,4	4	4,2
2	«ФАЄРВОЛ-ЛАК»	103,42	110,8	7,38	5,1
3	БС-13	99,6	103,8	4,2	4,9
4	«ФАЄРВОЛ-СВ-1»	101,9	104,9	3	5,3
5	«ФАЄРВОЛ-ВУД»	156	162,5	6,5	6,7

За отриманими даними розраховується величина безрозмірного індексу горючості за коефіцієнтом I :

$$I = \sqrt{\frac{q \cdot Q}{W} \cdot \frac{\Delta T_{\max}}{\Delta T_{\text{но}}} \cdot \frac{\tau_{\max} - \tau_0}{\tau_0} \cdot \left[1 + \frac{60 \cdot l_r}{l} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{1}{\tau_i} \right]}, \quad (1)$$

де q – питома теплота згоряння газу пропан (23630), кДж·л⁻¹; Q – витрата газу запального пальника (0,001), л·с⁻¹; W – потужність електричної радіаційної панелі, 0,5 кВт; ΔT_{\max} – максимальний приріст температури димових газів:

$$\Delta T_{\max} = T_{\max} - T_0,$$

де T_0 – температура навколишнього середовища, °С; T_{\max} – максимальна температура димових газів, °С; $\Delta T_{\text{но}}$ – максимальний приріст температури нагрівального обладнання:

$$\Delta T_{\text{но}} = T_1 - T_0,$$

де T_0 – температура навколишнього середовища, °С; T_1 – температура вихідного повітря при роботі нагрівального обладнання, °С; τ_0 – час займання зразка, с; τ_{\max} – час досягнення максимальної температури димових газів, с; τ_i – час проходження фронтом полум'я контрольних ділянок, с; l – довжина зразка, мм; l_r – довжина пошкодження зразка, мм.

На рис. 2 наведено випробувальну камеру для проведення досліджень.

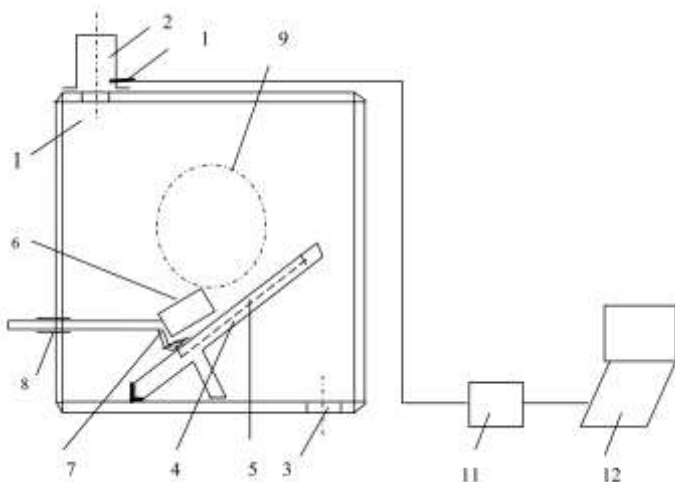


Рис. 2. Випробувальна камера для визначення параметрів займання та поширення полум'я:

- 1 – випробувальна камера; 2 – витяжна труба; 3 – вентиляційний отвір;
- 4 – тримач зразка; 5 – зразок; 6 – радіаційна панель; 7 – запалювальний пристрій;
- 8 – регульовальна труба; 9 – оглядове скло; 10 – термопара;
- 11 – аналого-цифровий перетворювач; 12 – комп'ютер

Основна частина. На рис. 3 наведено процес проведення випробувань зразка деревини, обробленого засобом «ФАСРВОЛ-АТТІК», на рис. 4 – зразка деревини, обробленого засобом «ФАСРВОЛ-ЛАК», на рис. 5 – зразка деревини, обробленого засобом «БС-13», на рис. 6 – зразка деревини, обробленого засобом «ФАСРВОЛ-СВ-1», на рис. 7 – зразка деревини, обробленого покриттям «ФАСРВОЛ-ВУД», на рис. 8 – необробленої деревини.



Рис. 3. Процес проведення випробувань зразка деревини, оброблений засобом «ФАСРВОЛ-АТТІК»



Рис. 4. Процес проведення випробувань зразка деревини, оброблений засобом «ФАСРВОЛ-ЛАК»



Рис. 5. Процес проведення випробувань зразка деревини, оброблений засобом «БС-13»



Рис. 6. Процес проведення випробувань зразка деревини, оброблений засобом «ФАСРВОЛ-СВ-1»



Рис. 7. Процес проведення випробувань зразка деревини, оброблений покриттям «ФАЄРВОЛ-ВУД»



Рис. 8. Процес проведення випробувань необробленої деревини

Дослідження з визначення горючості наведено в табл. 2.

З вищенаведених експериментальних досліджень встановлено загорання необробленого зразка, натомість для вогнезахисного – процес займання та поширення полум'я для пригнічується. Гальмування процесу займання та поширення полум'я для вогнезахисного зразка пов'язане з розкладом антипіренів під дією температури з поглинанням тепла та виділенням негорючих газів (азот, діоксин вуглецю), зміною напрямлення розкладу в сторону утворення важкогорючого коксового залишку та пінококсу. Що свідчить про можливість переходу деревини при обробленні вогнезахисними засобами до матеріалів, які відносяться до важкозаймистих, що не поширюють полум'я поверхню.

Під час випробувань зразків деревини було встановлено (табл. 2), що необроблений зразок зайнявся на 52 с, полум'я поширилося по всьому зразку протягом 100 с натомість, зразок вогнезахисний «ФАЄРВОЛ-АТТК» не загорівся, просочувальним розчином БС-13 та «ФАЄРВОЛ-СВ-1», а саме суміш у кількості $271,1 \text{ г/м}^2$, зайнявся на 570 та 560 с, поширення полум'я поверхню відбулося тільки на перші ділянки, максимальна температура димових газів становила 86 та 89 °C за час більший понад 5 разів, а індекс горючості знизився до 4. Для зразка захисного засобом «ФАЄРВОЛ-ЛАК» займання відбулося на останній секунді, полум'я зафіксовано на рівні 0. Для зразка вогнезахисного

покриттям «ФАЄРВОЛ-ВУД» загорання не відбулося, оскільки на поверхні утворився захисний шар піно коксу, індекс горючості 0.

Таблиця 2

Час проходження фронтом полум'я контрольних точок

Вогнезахисний зразок деревини	Температура димових газів, °С		Час займання, с	Час проходження фронтом полум'я ділянок зразка, с									Час досягнення максимальної температури димових газів, с	Довжина горіння зразка, мм	Індекс горючості
	T ₁	T _{max}		1	2	3	4	5	6	7	8	9			
Необроблений	61	323	52	2	8	7	10	6	8	7	6	7	101	294	177,5
«ФАЄРВОЛ-АТТК»	47	73	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	600	-	0
«ФАЄРВОЛ-ЛАК»	55	80	595	-	-	-	-	-	-	-	-	-	596	22	0,42
БС-13	60	86	570	396	8	9	-	-	-	-	-	-	586	62	3,42
«ФАЄРВОЛ-СВ-1»	60	89	560	380	7	9	6	-	-	-	-	-	570	84	4,11
«ФАЄРВОЛ-ВУД»	58	84	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	600	-	0

Висновки та перспективи подальших досліджень. Таким чином, проведені дослідження горючості деревини засвідчують, що механізм вогнезахисної ефективності направлений в сторону утворення на поверхні коксового шару. Наявність вогнезахисного шару пінококсу на деревині змінює процес термодеструкції, зменшує кількість горючих газів, які флегматизуються великою кількістю азоту та діоксиду вуглецю, що відповідно підтверджується результатами визначення індексу горючості. Вочевидь такий механізм впливу добавок є фактором регулювання ступеня стійкості коксу і ефективності теплоізолювання матеріалу.

Подальші дослідження будуть спрямовані на вивчення процесів структуроутворення захисного шару, встановлення взаємозв'язку між складовими і властивостями покриттів та їх оптимізації.

Список літератури:

1. Babashov V.G., Bepalov A.S., Istomin A.V., Varrik N.M. Heat and Sound Insulation Material Prepared Using Plant Raw Material. *Refractories and Industrial Ceramics*. 2017. Vol. 58 (2). P. 208-213.
2. Berdnyk O.Yu., Lastivka O.V., Maystrenko A.A., Amelina N.O. Processes of structure formation and neof ormation of basalt fiber in an alkaline environment. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020. Vol. 907, 012036. DOI: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/907/1/012036>.
3. Tsapko Yu., Tsapko A., Bondarenko O. Determination of the laws of thermal resistance of wood in application of fire-retardant fabric coatings. *Eastern-European*

Journal of Enterprise Technologies. 2020. Vol. 2/10 (104). P. 13-18. DOI:10.15587/1729-4061.2020.200467.

4. Tsapko Yu., Tsapko A., Bondarenko O. Research of conditions of removal of fire protection from building construction. *Key Engineering Materials*. 2020. Vol. 864. P. 141-148. DOI: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.864.141>.

5. Tsapko Yu., Tsapko A., Bondarenko O. Modeling of thermal conductivity of reed products. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. Innovative Technology in Architecture and Design*. 2020. Vol. 907, 012057. DOI: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/907/1/012057>.

6. Tsapko Yu., Kyrychok V., Tsapko A., Bondarenko O., Guzii S. Increase of fire resistance of coating wood with adding mineral fillers. *MATEC Web of Conferences*. 2018. Vol. 230, 02034. DOI: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201823002034>.

7. Krüger S., Gluth G.J.G., Watolla M.-B., Morys M., Häbler D., Schartel B. Neue Wege: Reaktive Brandschutzbeschichtungen für Extrembedingungen. *Bautechnik*. 2016. Vol. 93 (8). P. 531-542. DOI: <https://doi.org/10.1002/bate.201600032>

8. Xiao N., Zheng X., Song S., Pu J. Effects of Complex Flame Retardant on the Thermal Decomposition of Natural Fiber. *United States: BioResources*. 2014. Vol. 9 (3). P. 4924-4933. DOI: <https://doi.org/10.15376/biores.9.3.4924-4933>

9. Gaff M., Kačič F., Gašparik M., Todaro L., Jones D., Corleto R. et. al. The effect of synthetic and natural fire-retardants on burning and chemical characteristics of thermally modified teak wood. *Construction and Building Materials*. 2019. Vol. 200. P. 551-558. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.12.106>

10. Zhao P., Guo C., Li L. Flame retardancy and thermal degradation properties of polypropylene/wood flour composite modified with aluminum hypophosphite/melamine cyanurate. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. 2019. Vol. 135 (6). P. 3085-3093. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10973-018-7544-9>

11. Ciripi B.K., Wang Y.C., Rogers B. Assessment of the thermal conductivity of intumescent coatings in fire. *Fire Safety Journal*. 2016. Vol. 81. P. 74-84. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2016.01.011>

12. Nine M.J., Tran D.N.H., Thanh Tung T., Kabiri Sh., Losic D. Graphene-Borate as an Efficient Fire Retardant for Cellulosic Materials with Multiple and Synergetic Modes of Action. *ACS Applied Materials & Interfaces*. 2017. Vol. 9 (11). P. 10160-10168. DOI: <https://doi.org/10.1021/acsami.7b00572>

13. Carosio F., Alongi J. Ultra-Fast Layer-by-Layer Approach for Depositing Flame Retardant Coatings on Flexible PU Foams within Seconds. *ACS applied materials & Interfaces*. 2016. Vol. 8, Issue 10. P. 6315-6319. DOI:10.1021/acsami.6b00598

14. Md Nasir K., Ramli Sulong N.H., Johan M.R., Afifi A.M. An investigation into waterborne intumescent coating with different fillers for steel application. *Pigment and Resin Technology*. 2018. Vol. 47, No2. P. 142-153. DOI:10.1108/prt-09-2016-0089

15. Erdoan Y. Production of an insulation material from carpet and boron wastes. *Bulletin of the Mineral Research and Exploration*. 2016. Issue 152. P. 197-202. DOI: <https://doi.org/10.19111/bmre.74700>

16. Khalili P., Tshai K.Y., Hui D., Kong I. Synergistic of ammonium polyphosphate and alumina trihydrate as fire retardants for natural fiber reinforced epoxy composite. *Composites. Part B: Engineering*. 2017. Vol. 114. P. 101-110. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2017.01.049>

References:

1. Babashov, V.G., Bespalov, A.S., Istomin, A.V., Varrik, N.M. (2017). Heat and Sound Insulation Material Prepared Using Plant Raw Material. *Refractories and Industrial Ceramics*. 58 (2), 208-213.
2. Berdnyk, O.Yu., Lastivka, O.V., Maystrenko, A.A., Amelina, N.O. (2020). Processes of structure formation and neof ormation of basalt fiber in an alkaline environment. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 907, 012036. DOI: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/907/1/012036>.
3. Tsapko, Yu., Tsapko, A., Bondarenko, O. (2020). Determination of the laws of thermal resistance of wood in application of fire-retardant fabric coatings. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2/10 (104), 13-18. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.200467>.
4. Tsapko, Yu., Tsapko, A., Bondarenko, O. (2020). Research of conditions of removal of fire protection from building construction. *Key Engineering Materials*. 864, 141-148. DOI: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.864.141>.
5. Tsapko, Yu., Tsapko, A., Bondarenko, O. (2020). Modeling of thermal conductivity of reed products. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. Innovative Technology in Architecture and Design*. 907, 012057. DOI: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/907/1/012057>.
6. Tsapko, Yu., Kyrychok, V., Tsapko, A., Bondarenko, O., Guzii, S. (2018). Increase of fire resistance of coating wood with adding mineral fillers. *MATEC Web of Conferences*. 230, 02034. DOI: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201823002034>.
7. Krüger, S., Gluth, G.J.G., Watolla, M.-B., Morys, M., Häbler, D., Schartel, B. (2016). Neue Wege: Reaktive Brandschutzbeschichtungen für Extrembedingungen. *Bautechnik*. 93 (8), 531-542. DOI: <https://doi.org/10.1002/bate.201600032>
8. Xiao, N., Zheng, X., Song, S., Pu, J. (2014). Effects of Complex Flame Retardant on the Thermal Decomposition of Natural Fiber. *United States: BioResources*. 9 (3), 4924-4933. DOI: <https://doi.org/10.15376/biores.9.3.4924-4933>
9. Gaff M., Kačik F., Gašparik M., Todaro L., Jones D., Corleto R. et. al. (2019). The effect of synthetic and natural fire-retardants on burning and chemical characteristics of thermally modified teak wood. *Construction and Building Materials*. 200, 551-558. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.12.106>
10. Zhao, P., Guo, C., Li, L. (2019). Flame retardancy and thermal degradation properties of polypropylene/wood flour composite modified with aluminum hypophosphite/melamine cyanurate. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. 135 (6), 1-9. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10973-018-7544-9>
11. Ciripi, B.K., Wang, Y.C., Rogers, B. (2016). Assessment of the thermal conductivity of intumescent coatings in fire. *Fire Safety Journal*. 81 (1), 74-84. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2016.01.011>
12. Nine, M.J., Tran, D.N.H., Thanh, T.T., Kabiri, Sh., Losic, D. (2017). Graphene-Borate as an Efficient Fire Retardant for Cellulosic Materials with Multiple and Synergetic Modes of Action. *ACS Applied Materials & Interfaces*. 9 (11), 10160-10168. DOI: <https://doi.org/10.1021/acsami.7b00572>
13. Carosio, F., Alongi, J. (2016). Ultra-Fast Layer-by-Layer Approach for Depositing Flame Retardant Coatings on Flexible PU Foams within Seconds. *ACS applied materials & Interfaces*. 8 (10), 6315-6319. DOI:10.1021/acsami.6b00598
14. Nasir, K.Md, Ramli Sulong, N.H., Johan, M.R., Afifi, A.M. (2018). An investigation into waterborne intumescent coating with different fillers for steel

application. *Pigment & Resin Technology*. 47 (2), 142-153. DOI: <https://doi.org/10.1108/prt-09-2016-0089>

15. Erdoan, Y. (2016). Production of an insulation material from carpet and boron wastes. *Bulletin of the Mineral Research and Exploration*. 152, 197-202. DOI: <https://doi.org/10.19111/bmre.74700>

16. Khalili, P., Tshai, K.Y., Hui, D., Kong, I. (2017). Synergistic of ammonium polyphosphate and alumina trihydrate as fire retardants for natural fiber reinforced epoxy composite. *Composites. Part B: Engineering*. 114, 101-110. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2017.01.049>

O. Bondarenko, Yu. Tsapko, O. Tsapko, K. Kaverin, D. Semigran
Efficiency of floating coating for fire protection of wooden buildings

Studies of the effect of wood flame retardant on ignition have established the parameters of flame propagation and combustion suppression, which makes it possible to influence this process. It is proved that they consist in creating a layer on the surface of the material, which prevents heating to a critical temperature, when intensive decomposition begins with the release of the required amount of flammable gases and their ignition. This makes it possible to determine the effect of fire protection and the properties of protective compositions on the process of inhibiting the rate of wood burning. During the tests of wood samples it was found that the untreated sample took 52 s, the flame spread throughout the sample for 100 s instead, the sample fire-retardant "FIREWALL-ATTIK" did not catch fire, impregnating solution BC-13 and "FIREWALL-SV-1", Namely a mixture of 271.1 g/m², took 570 and 560 s, the spread of flame on the surface occurred only in the first areas, the maximum flue gas temperature was 86 and 89 °C for more than 5 times, and the flammability index decreased to 4. For the sample protected by "FIREWALL-LAC" ignition occurred at the last second, the flame was recorded at level 0. For the sample fire-protected by "FIREWALL-WOOD" coating no ignition occurred, combustibility index 0. Due to this, it became possible to determine the conditions for changing the parameters of combustion and braking in fire protection of wood by forming a barrier to thermal conductivity. The results of comparing the experimental data of wood burning rate with the obtained analytical equations showed the correspondence between them. Thus, there is reason to argue about the possibility of targeted regulation of fire protection processes of wood by using fire-retardant coatings capable of forming a protective layer on the surface of the material, which inhibits the rate of wood burning.

Keywords: protective means, fire resistance, weight loss, surface treatment, wood burning rate, protection efficiency.