

УДК 648.4.05

З.С. Сірко¹,
канд. техн. наук, старш. наук. співроб.

ORCID: 0000-0001-5197-9237

О.Ю. Цапко^{1,3},
канд. техн. наук, старш. наук. співроб.

ORCID: 0000-0003-2298-068X

Д.П. Торчильський¹,
старш. наук. співроб.

ORCID: 0009-0006-0989-6933

Ю.В. Цапко²,
докт. техн. наук, професор

ORCID: 0000-0003-0625-0783

О.П. Бондаренко³,
канд. техн. наук, доцент

ORCID: 0000-0002-8164-6473

В.Ю. Апанасенко³,
старш. викладач

ORCID: 0000-0001-7615-2711

¹Український державний науково-дослідний інститут "Ресурс", м. Київ

²Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ

³Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ

ВОГНЕЗАХИСТ ДЕРЕВ'ЯНИХ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ

В роботі висвітлені питання вогнезахисту целюлозовмісних матеріалів, зокрема деревини. Показано, що незважаючи на цілий ряд цінних властивостей, якими володіє деревина, вона за своїм складом доволі горючий матеріал. Із літературних джерел відомо, що одним з найважливіших кроків захисту деревини від вогню є вогнезахисне оброблення. Його здійснюють двома основними способами: поверхнєве оброблення (нанесення на поверхню деревини спеціальних складів, щоб утворити вогнезахисний шар) та глибоке просочення деревини антипіренами. Для вогнезахисту зразків OSB-плити розроблена інтумесцентна фарба на водній основі, що складається із системи антипіренів у поєднанні з наповнювачами, пігментом та функціональними добавками. Для дослідження застосовано аналітичний та експериментальний методи, які полягають в аналізованні й вивченні положень вітчизняних стандартів, які описують метод визначення групи горючості речовин і матеріалів, та метод визначення вогнезахисної ефективності вогнезахисних засобів. У експериментальній частині здійснено виготовлення зразків для випробування, нанесення на них вогнезахисних засобів, фіксування температури газоподібних продуктів горіння, максимального приросту температури, проміжку часу для досягнення максимальної температури, маси зразків та втрати маси зразків. У методиці досліджень зазначено, що випробування зразків деревини проводили згідно з ДСТУ 8829 на установці ОТМ. Також наведені засоби для вимірювання температури димових газів, часу випробувань та визначення втрати маси зразків до та після випробувань. Результати випробувань показали, що розроблений вогнезахисний

засіб на основі інтумесцентної фарби забезпечує групу важкогорючих матеріалів у відповідності з ДСТУ 8829, тобто вогнезахисена даним способом деревина відноситься до важкогорючих матеріалів, а саме: температура димових газів не перевищує 260 °С, втрата маси зразків після випробувань не більше 60%.

Ключові слова: *вогнезахист, вогнезахисний засіб, оброблення, деревина вогнезахисний ефект.*

Актуальність теми дослідження. Деревина – один із найбільш розповсюджених матеріалів, яка знайшла широке застосування у будівництві (дверні та віконні коробки, паркет, будівельні споруди, дверні полотна, погонажні вироби і т.д.). Деревину також використовують у виробництві деревинно-композиційних матеріалів (ДСП, ДВП, OSB, арболіт, декоративні вироби і т.д.), що теж знаходять широке застосування у будівництві. Таке різноманітне використання деревини можна пояснити рідкісним поєднанням у ній дуже багатьох цінних властивостей. Деревина представляє собою одночасно легкий та досить міцний матеріал (мала питома вага, висока питома густина), має високі звуко-, тепло-, та електроізоляційні властивості, здатна без руйнувань поглинати удари внаслідок пружності та гасити вібрації. Деревина дуже добре обробляється різними технологічними операціями: пилянням, фрезеруванням, струганням, шліфуванням, добанням і т.д. Вона досить легко склеюється різноманітними клеями: на основі полівінілацетату, поліуретановим клеєм, термоклеєм або клей-розплавом, столярним клеєм, епоксидним клеєм. Деревина також надійно утримує металеві та інші кріплення, що зумовлює її використання під час виготовлення будівельних конструкцій [1-4]. Разом з тим, деревина за своїм складом доволі горючий матеріал. Температура займання деревини становить 240...270 °С, температура самозаймання – у межах 350...450 °С [5].

Постановка проблеми. Одним із найважливіших кроків захисту деревини від вогню є вогнезахисне оброблення. Під вогнезахистом деревини розуміють поверхнєве оброблення (нанесення на поверхню деревини спеціальних складів, щоб утворити вогнезахисний шар), а також глибоке просочення під тиском, під час якого досягається введення антипіренів в глиб деревини. Під час глибокого просочення деревини поглинання водного розчину антипіренів становить не менше 66 кг/м³ солей [6]. Вогнезахисний ефект проявляється у тому, що під час нагрівання розкладається не лише деревина, але і вогнезахисні солі, які поєднуючись, утворюють негорючі сполуки та зменшують кількість горючих продуктів розкладання деревини.

За останні десятиріччя науковцями розроблена ціла гама вогнезахисних засобів, які широко застосовують для оброблення деревини [7-10]. Дослідження у цьому напрямку продовжуються і створюються нові вогнезахисні засоби.

Досить актуальним на теперішній час у якості ефективного вогнезахисного засобу є застосування композиції на основі інтумесцентних фарб.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. За останні роки з запропонованого напрямку досліджень відомі роботи, які направлені на розроблення вогнезахисних композицій з використанням неорганічних речовин, які модифіковані органічними сполуками, здатними утворювати на поверхні коксовий шар [11-13].

В роботі [11] приведені результати досліджень поведінки вогнезахисного покриття під дією температурного впливу. Показано як поведінку спучувального покриття, так і подальший теплоперенос. Але, залишаються невирішеними

питання, які пов'язані з встановленням температури утворення пінококсу, що знижує якість отриманих результатів. У більшості випадків такі композиції модифікують полімерними комплексами і антипіренами, однак, засоби відносяться до матеріалів, що характеризується низькою адгезією та при дії високої температури виділяють токсичні продукти горіння [12]. В роботі [13] 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. Матеріали, які наведено у роботі [14], характеризуються високою інтумесцентною здатністю, але не показано механізм утворення коксу та температурні переходу покриття в пінококс.

Доцільність використання доломітової глини підтверджується зміною структури пінококсу та суттєвим зниженням теплових характеристик, що обумовлено утворенням проміжних з'єднань, які утворюють значну кількість наноструктур. Однак, для підтвердження цього процесу не наведені відповідні фізико-хімічні розрахунки. Так, на думку авторів [15], це обумовлено утворенням при розкладу наповнювачів у складі покриття значної кількості високотемпературних з'єднань, які при температурі ущільнюються та утворюють міцний скелет. Крім того, багато покриттів мають цілу низку недоліків, таких як нанесення окремих компонентів, втрата функціональних властивостей при збільшенні температури середовища [16]. Це означає, що не визначено, як саме протікає процес за умов температур у діапазоні розкладу вогнезахисного покриття. З практичної точки зору це може викликати труднощі, що пов'язані з визначенням оптимальної кількості інертних добавок. Дана обставина пов'язана з тим, що введення їх у композиції суттєво змінює механізм та кінетику процесів коксування.

Для подолання цієї проблеми в роботі [17] проведені дослідження впливу неорганічних наповнювачів на зсувну в'язкість та вогнезахисні властивості водяних спучувальних покриттів. Показано, що завдяки встановленим аналітичним залежностям стає можливим корегування вмісту модифікаторів для забезпечення процесу термічного захисту матеріалу. Тому дослідження займання деревини та вплив вогнезахисного покриття на цей процес є невирішеною складовою забезпечення вогнестійкості будівельних конструкцій, що і обумовило проведення експериментів.

Постановка завдання. Метою роботи є дослідження та розробка інтумесцентних фарб для вогнезахисного оброблення деревини, виробів і конструкцій з неї.

Матеріали і методи досліджень. Для випробувань підготували 5 зразків деревини сосни розмірами 150x60x30 мм. Перед випробуванням зразки деревини кондиціонували у термошафі протягом 60 ± 5 хв при температурі $45 \pm 5^\circ\text{C}$. Випробування проводили не пізніше ніж через 30 хв після закінчення висушування у термошафі, або до початку випробувань зразки розміщували в сухий ексикатор.

Зразки деревини були оброблені інтумесцентною фарбою у два шари із загальною витратою в середньому 250 г/м^2 .

Зразки OSB-плити перед вогневим випробуванням показані на рис. 1.

Для дослідження застосовано аналітичний та експериментальний методи, які полягають в аналізуванні й вивченні положень вітчизняних стандартів, які

описують метод визначення групи горючості речовин і матеріалів, та метод визначення вогнезахисної ефективності вогнезахисних засобів.

У експериментальній частині застосовували процедури щодо виготовлення зразків для випробування, нанесення на них вогнезахисних засобів, фіксування температури газоподібних продуктів горіння, максимального приросту температури, проміжку часу для досягнення максимальної температури, маси зразків та втрати маси зразків.



Рис. 1. Зразок вогнезахисної OSB-плити перед випробуванням

Випробування на горючість проводили згідно з ДСТУ 8829:2019 «Пожежовибухонебезпечність речовин і матеріалів. Номенклатура показників і методи їхнього визначення. Класифікація». Цей стандарт установлює метод випробування для оцінювання характеристик горіння дерев'яних конструкцій та виробів [18].

За цим стандартом визначають групу горючості речовин і матеріалів. Суть методу експериментального визначення групи важкогорючих і горючих твердих речовин і матеріалів полягає у впливі на зразок, який розташований у керамічній трубі установки ОТМ, полум'я пальника із заданими параметрами (температура газоподібних продуктів горіння становить $200 \pm 5^\circ\text{C}$). Під час проведення випробувань фіксують максимальний приріст температури газоподібних продуктів горіння (Δt_{max}) та втрату маси зразка (Δm). Якщо під час випробувань (Δt_{max} не перевищує 60°C , то тривалість випробувань має становити (300 ± 2) с. Якщо (Δt_{max} перевищує 60°C , то тривалість випробувань визначають як проміжок часу (τ) до досягнення максимальної температури.

Час випробувань визначали секундоміром з похибкою вимірювання не більше ніж ± 1 с. Втрату маси зразків до та після випробувань визначали за допомогою лабораторних ваг з похибкою вимірювання не більше $\pm 0,1$ г. Для вимірювання температури димових газів використовували термопару діаметром електродів $0,5$ мм, з діапазоном вимірювання від 0 до 1000°C .

Для проведення випробувань використовували установку ОТМ, яка складається з газового пальника, керамічного коробу, металевої підставки,

тримача зразка, термоелектричних перетворювачів, ротаметра, секундоміра (рис. 2).



Рис. 2. Установка ОТМ для проведення випробувань зразка OSB-плити на горючість згідно ДСТУ 8829

Основна частина. Випробування проводили на установці ОТМ, протягом 300 с на кожний зразок. При цьому фіксували температуру димових газів протягом заданого часу, яка становила не більше 190°C для кожного зразка. Зразки після вогневого випробування показані на рис. 3, 4.



Рис. 3. Зразок після вогневого випробування



Рис. 4. Ефект спучення поверхні зразка після випробувань

Після випробувань визначали втрату маси. Також після завершення випробувань було відсутнє самостійне горіння та розповсюдження полум'я поверхню зразка. Результати випробувань зразків OSB-плит, оброблених інтумесцентною фарбою наведені у табл. 1.

Таблиця 1

Результати випробувань зразків OSB-плит

№ зразка	Температура в камері печі, °С	Маса зразка, г		Втрата маси зразка, г
		До випробувань	Після випробувань	
1	190	142,6	138,4	2,9
2	191	144,6	140,3	3,0
3	190	143,4	139,7	2,6
4	191	140,5	135,5	3,5
5	190	139,6	135,2	3,2
Середнє значення	190,4	142,14	137,82	3,04

Після проведених випробувань визначено, що інтумесцентна фарба забезпечує групу важкогорючих матеріалів у відповідності з п. 7.3 ДСТУ 8829, тобто вогнезахисна даною фарбою OSB-плита відноситься до важкогорючих та важкозаймистих матеріалів, а саме: температура димових газів не перевищила 191°С, втрата маси не більше 60%.

Висновки та перспективи подальших досліджень. Для вогнезахисту зразків OSB-плити розроблена інтумесцентна фарба на водній основі, що складається із системи антипіренів у поєднанні з наповнювачами, пігментом та функціональними добавками. Проведення випробування зразків OSB-плити, оброблених розробленою фарбою, на горючість проводили згідно з методами випробувань за ДСТУ 8829:2019. Результати випробувань показали, що розроблена вогнезахисна фарба на водній основі забезпечує групу важкогорючих

матеріалів у відповідності з п. 7.3 ДСТУ 8829:2019, тобто вогнезахисний плитний матеріал даною фарбою відноситься до важкогорючих матеріалів.

Подальші дослідження будуть спрямовані на теоретичне та експериментальне вивчення процесів горіння матеріалів з деревини.

Список літератури:

1. Бут В.П., Жартовський В.М., Білошицький М.В., Цапко Ю.В., Барило О.Г. Особливості дослідження тривалості вогнезахисту деревини просочувальними засобами. *Науковий вісник УкрНДПБ*. 2004, №1 (9). С. 21-25.
2. Вінтонів І.С., Сопушинський І.М., Тайшінгер А. Деревинознавство: навч. посіб. 2-е вид., доповн. Львів: Апріорі, 2007. 312 с.
3. Кірик М.Д. Механічне оброблення деревини та деревних матеріалів. Львів: Вид-во ТЗОВ "Кольорове небо", 2006. 412 с.
4. Бехта П.А. Технологія деревинних композиційних матеріалів. К.: Основа, 2003. 336 с.
5. Цапко Ю.В., Бондаренко О.П., Цапко О.Ю. Вогнезахист виробів з текстильних метеріалів. Теорія та практика: монографія. К.: ФОП Ямчинський О.В., 2021. 139 с.
6. Войтович І.Г. Основи технології виробів з деревини: підручник. Львів: НЛТУ України, ТЗОВ «Країна ангелів», 2010. 305 с.
7. Сірко З.С., Тарасюк О.Б., Бобкова О.В. Вогнезахисний засіб. Український патент. №91685. 2014 рік.
8. Цапко Ю.В., Цапко О.Ю., Сірко З.С., Стариш Є.А. Просочувальна композиція для вогнебіозахисту брезенту наметів. Український патент. №137633. 2019 рік.
9. Сірко З.С. Вогнебіозахисний засіб. Український патент. №138954. 2019 рік.
10. Сірко З.С., Запталов Б.І., Стариш Є.А., Грабовський О.В., Торчилевський Д.П. Вогнебіозахисний засіб з гідрофобним ефектом. Український патент. № 142645. 2020.
11. Krüger S., Gluth Gregor J.G., Watolla M.-B., Morys M., Häßler D., Schartel B. Neue Wege: Reaktive Brandschutzbeschichtungen für Extrembedingungen. *Bautechnik*. 2016, Vol. 93, Issue 8. P. 531-542.
12. Xiao N., Zheng X., Song Sh., Pu J. Effects of Complex Flame Retardant on the Thermal Decomposition of Natural Fiber. *BioResources*. 2014, Vol. 9, Issue 3. P. 4924-4933.
13. Nine Md. J., Tran Diana N.H., Tung Tran Thanh, 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: 10.1021/acsami.7b00572
14. 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.
15. Carosio F., Kochumalayil J., Cuttica F., Camino G., Berglund L., Oriented Clay Nanopaper from Biobased Components Mechanisms for Superior Fire Protection Properties. *ACS Appl. Mater. Interfaces*, 2015, 7, 10, 5847–5856. <https://doi.org/10.1021/am509058h>.
16. Tsapko Yu., Kyrycyok V., Tsapko A., Bondarenko O., Guzii S. Increase of fire resistance of coating wood with adding mineral fillers. *MATEC Web of Conferences*, 2018, 230, 02034. P. 1-6. <https://doi.org/10.1051/matecconf/201823002034>

17. 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.

18. ДСТУ 8829:2019. Пожежовибухонебезпечність речовин і матеріалів. Номенклатура показників і методи їхнього визначення. Класифікація. К.: ДП «УкрНДНЦ», 2020. 78 с.

References:

1. But, V.P., Zhartovskii, V.M., Biloshytskyi, M.V., Tsapko, Y.V., Barylo, O.G. (2004). "Osoblyvosti doslidzhenya tryvalosti vognезakhystu derevyny prosochuyvalnymy zasobamy", *Naukovii visnyk UkrNDIPB*, 1 (9), 21-25.

2. Vintoniv, I.S., Sopuslynskii, I.M., Tayshinger, A. (2007). "Derevynoznavstvo: navchalnyi posibnyk", Lviv: Apriori, 312 p.

3. Kiryk, M.D. (2006). "Mekhanichne obroblenya derevyny ta derevnykh materialiv", Lviv: TzOV "Kolorove nebo", 412 p.

4. Bekhta, P.A. (2003). "Tekhnologiya derevynykh kompozytsiynykh materialiv: pidruchnyk", Kyiv: Osnova, 336 p.

5. Tsapko, Y.V., Bondarenko, O.P., Tsapko, O.Y. (2021). "Vognезakhyst vyrobiv z tekstylnykh materialiv. Teoriya ta praktyka", Kyiv: TOV "TSP "Komprynt", 138 p.

6. Voitovych, I.G. (2010). "Osnovy tekhnologii vyrobiv z derevyny", Lviv: TzOV "Kraina angelyat", 304 p.

7. Sirko, Z.S., Tarasyuk, O.B., Bobkova O.V. (2014). "Vognезakhysnyi zasib", Ukrainskii patent, 91685.

8. Tsapko, Yu.V., Tsapko, O.Yu., Sirko, Z.S., Starysh, E.A. (2019). "Prosochuvalna kompozytsiya dlya vognеbiozakhystu brezentu nametiv", Ukrainskii patent, 137633.

9. Sirko, Z.S. (2019). "Vognеbiozakhysnyi zasib", Ukrainskii patent, №138954.

10. Sirko, Z.S., Zaptalov, B.I., Starysh, E.A., Grabovskii, O.V., Torchilevskii, D.P. (2020). "Vognеbiozakhysnyi zasib z gidrofobnym", Ukrainskii patent, 142645.

11. Krüger, S., Gluth Gregor, J.G., Watolla, M-B, Morys, M., Häßler, D., Schartel, B. (2016). "Neue Wege: Reaktive Brandschutzbeschichtungen für Extrembedingungen", *Bautechnik*, 93, 8, 531-542.

12. Xiao, N., Zheng, X., Song, Sh., Pu, J. (2014). "Effects of Complex Flame Retardant on the Thermal Decomposition of Natural Fiber", *BioResources*, 9, 3, 4924-4933.

13. Nine, Md J., Tran Diana, N.H., Thanh Tung, T., Kabiri, Sh., Graphene-Borate, D.L. (2017). "As an Efficient Fire Retardant for Cellulosic Materials with Multiple and Synergetic Modes of Action", *ACS Appl. Mater. Interface*, 9 (11), 10160-10168.

14. Ciriipi, B.K. Wan, Y.C., Rogers, B. (2016). "Assessment of the thermal conductivity of intumescent coatings in fire", *Fire Safety Journal*, 81, 74-84.

15. Carosio, F., Kochumalayil, J., Cuttica, F., Camino, G., Berglund, L. (2015). "Oriented Clay Nanopaper from Biobased Components Mechanisms for Superior Fire Protection Properties", *ACS Appl. Mater. Interfaces*, 7 (10), 5847-5856.

16. Tsapko, Yu., Kyrycyok, 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, 1-6.

17. 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.

18. DSTU 8829:2019 (2020). “Pozhezhovybkhonebezpechnist rehovyn i materialiv. Nomenklatura pokaznykiv i metody ikhnoho vyznachenya. Klasyfikatsiya”, Kyiv: Minrehionbud Ukrainy.

Z. Sirko, O. Tsapko, D. Torchilevsky, Yu. Tsapko, O. Bondarenko, V. Apanasenko
Fire protection of wooden building structures

The paper covers the issues of fire protection of cellulose-containing materials, in particular wood. It is shown that despite a number of valuable properties that wood possesses, it is a rather flammable material by its composition. It is known from the literature that one of the most important steps in protecting wood from fire is fire protection treatment. It is carried out in two main ways: surface treatment (applying special compounds to the wood surface to form a fireproof layer) and deep impregnation of wood with flame retardants. For the fire protection of OSB samples, a water-based intumescent paint consisting of a system of flame retardants in combination with fillers, pigment, and functional additives was developed. The research was conducted using analytical and experimental methods, which consist of analyzing and studying the provisions of national standards that describe the method for determining the flammability group of substances and materials and the method for determining the fire protection efficiency of fire retardants. The experimental part of the study involved the manufacture of test samples, application of fire retardants to them, recording the temperature of gaseous combustion products, the maximum temperature increase, the time interval for reaching the maximum temperature, the weight of the samples, and the weight loss of the samples. The research methodology states that the wood samples were tested in accordance with DSTU 8829 at the OTM installation. It also provides means for measuring the flue gas temperature, test time, and determining the mass loss of samples before and after testing. The test results showed that the developed fire retardant based on intumescent paint provides a group of refractory materials in accordance with DSTU 8829, i.e., the wood protected by this method belongs to refractory materials, namely: the flue gas temperature does not exceed 260°C, the mass loss of samples after testing is not more than 60%.

Keywords: *fire protection, fire retardant, treatment, wood, fire retardant effect.*

Посилання на статтю:

APA: Sirko, Z., Tsapko, O., Torchilevsky, D., Tsapko, Yu., Bondarenko, O., & Apanasenko, V. (2023). Fire protection of wooden building structures. *Shliakhy pidvyshchennia efektyvnosti budivnytstva v umovakh formuvannia rynkovykh vidnosyn*, 51, 241-249.

ДСТУ: Сірко З.С., Цапко О.Ю., Торчилевський Д.П., Цапко Ю.В., Бондаренко О.П., Апанасенко В.Ю. Вогнезахист дерев'яних будівельних конструкцій. *Шляхи підвищення ефективності будівництва в умовах формування ринкових відносин*. 2023. № 51. С. 241-249.