



DOI <https://doi.org/10.32447/20786662.47.2025.01>

В. М. Баланюк, В. І. Слободян, В. С. Пікус

*Львівський державний університет безпеки життєдіяльності,
м. Львів, Україна*

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8951-6534> – В. М. Баланюк

<http://orcid.org/0009-0007-3163-5956> – В. І. Слободян

<http://orcid.org/0000-0002-8850-9068> – В. С. Пікус



Bagr33@ukr.net

АНАЛІЗ ЗАСОБІВ ПОВЕРХНЕВОГО ВОГНЕЗАХИСТУ ДЛЯ ДЕРЕВИНИ

Вступ. У статті розглянуто актуальну проблему забезпечення належного рівня вогнестійкості деревини за допомогою поверхневих засобів вогнезахисту. Деревина, як природний і відновлюваний будівельний матеріал, має низку переваг – екологічність, легкість оброблення, естетичність, – проте її горючість істотно підвищує рівень її пожежної небезпеки. Саме тому питання підвищення вогнестійкості деревини залишається одним із важливих напрямків сфери пожежної безпеки. У роботі проведено ґрунтовний аналіз вітчизняних і зарубіжних досліджень, присвячених засобам поверхневого вогнезахисту деревини, їх складу, механізму дії, ефективності та експлуатаційним характеристикам.

Метою дослідження є проведення комплексного аналізу існуючих засобів вогнезахисту деревини, визначення найбільш ефективних, а також розроблення теоретичних основ для нового вогнезахисного складу, який би забезпечував глибше просочення деревини, утворення товстішого шару пінококсу при впливі високих температур та мав покращені експлуатаційні властивості. У ході аналізу встановлено, що більшість традиційних покриттів, мають обмежений термін дії та втрачають ефективність під впливом атмосферних факторів. У той же час сучасні інтумесцентні покриття, що утворюють спінений вуглецевий шар при нагріванні, демонструють вищі показники захисту.

Наукова новизна роботи полягає у систематизації сучасних підходів до поверхневого вогнезахисту деревини та формуванні теоретичних передумов для створення нового комбінованого складу покриття, здатного одночасно забезпечити глибше проникнення активних компонентів у структуру деревини та формування стійкого до руйнування шару пінококсу.

Отримані результати дослідження мають практичне значення для подальшого вдосконалення технологій вогнезахисту дерев'яних конструкцій та розроблення нових складів покриттів. Запропоновані напрямки можуть бути використані у виробництві сучасних екологічно безпечних матеріалів, здатних забезпечити тривалий захист деревини без втрати її декоративних і фізико-механічних властивостей.

Ключові слова: вогнезахист, вогнезахисна ефективність, антипірени, інтумесцентні покриття

V. M. Balaniuk, V. I. Slobodian, V. S. Pikus

Lviv State University of Life Safety, Lviv, Ukraine

ANALYSIS OF SURFACE FIRE-PROTECTION MEANS FOR WOOD

Introduction. The article examines the pressing issue of ensuring adequate fire resistance of wood through surface fire-retardant treatments. Wood, as a natural and renewable construction material, has numerous advantages—environmental friendliness, ease of processing, and aesthetic appeal—but its combustibility significantly increases fire risk. Therefore, enhancing the fire resistance of wood remains a key direction in fire safety research. The study provides a comprehensive analysis of domestic and foreign research on surface fire-protection coatings for wood, focusing on their composition, mechanism of action, efficiency, and operational characteristics.

The aim of the study is to perform an integrated analysis of existing fire-retardant materials, identify the most effective ones, and develop theoretical foundations for a new fire-protective composition that would ensure deeper wood penetration, form a thicker intumescent (char) layer under high temperatures, and exhibit improved

durability. The analysis revealed that most traditional coatings have limited service life and lose efficiency under atmospheric exposure, while modern intumescent coatings show higher protection performance.

The scientific novelty of the work lies in the systematization of modern approaches to surface fire protection of wood and in forming theoretical premises for creating a new combined coating capable of ensuring both deeper penetration of active components and the formation of a stable, heat-resistant char layer.

The obtained results have practical significance for improving fire-protection technologies for wooden structures and developing environmentally safe coatings that provide long-term protection without compromising the decorative or physical-mechanical properties of wood.

Key words: fire protection, fire-retardant efficiency, fire retardants, intumescent coatings.

Постановка проблеми. Проблема підвищення рівня пожежної безпеки будівель в Україні залишається надзвичайно актуальною. За 2024 рік в державі зареєстровано 105214 пожеж (+54,9% відносно 2023 року), унаслідок яких гине 1521 людей [1]. По більшій мірі таке значне зростання пов'язане з активними бойовими діями, проте це не знижує актуальності проблеми підвищення рівня пожежної безпеки об'єктів будівництва. Про високий рівень пожежної небезпеки в Україні свідчать дані офіційної світової пожежної статистики. Якщо в Україні в у 2014 році у розрахунку на 100 пожеж унаслідок пожежі гинуло близько 3,3 осіб, то у США – 0,3, Великобританії – 0,2, Франції та Нідерландах – 0,1 [2].

Деревина як будівельний матеріал знаходить широке застосування завдяки високим фізико-механічним та експлуатаційним властивостям. Однак деревина належить до горючих речовин і в більшості випадків саме вона є найбільш небезпечним матеріалом.

Потреба в вогнезахисних засобах для деревини є критично важливою через зростаючий попит на екологічно чисті будівельні матеріали. Ефективні вогнезахисні обробки повинні бути постійними та не впливати на довговічність чи механічні властивості деревини. Крім того, вони повинні бути нетоксичними та мінімізувати утворення диму. Таким чином, розробка екологічно чистих та безпечних для здоров'я обробок деревини, стійких до вилуговування, має значне економічне та соціальне значення [3].

Ефективним способом зниження горючості деревини є обробка її вогнезахисними матеріалами, різновидами якої є поверхневе та глибоке просочування антипіренами. Поверхневе просочування дозволяє перевести деревину до групи важкозаймистих матеріалів, а глибоке просочування – до групи важкогорючих матеріалів. Однак глибоке просочування можна застосувати тільки до нових дерев'яних конструкцій. До того ж ці операції пов'язані з використанням вакууму або надлишкового тиску і потребують складного спеціального обладнання. Технологічний процес триває декілька діб, а вартість вогнезахисної деревини надто висока.

Варто зазначити, що деревина в процесі експлуатації стає більш пожежонебезпечною. У дослідженні [4] було виявлено, що вогневі властивості сильно залежать від щільності та структури волокон деревини. Отже, пухка структура, що утворюється в результаті вивітрювання та старіння, горить швидше, має низький час займання та утворює більше тепла.

У зв'язку з широким застосуванням деревини як будівельного матеріалу проблема підвищення ефективності вогнезахисту деревини є актуальною з точки зору необхідності підвищення рівня пожежної безпеки в Україні.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Проведено аналіз останніх українських і закордонних досліджень у сфері поверхневого вогнезахисту деревини. Вітчизняні науковці зосереджують увагу на створенні доступних і екологічно безпечних композиційних покриттів на основі силікатів, фосфатів та мінеральних добавок, які забезпечують підвищену стійкість деревини до дії високих температур. Закордонні дослідження спрямовані на вдосконалення спучувальних покриттів та розроблення нових полімерно-неорганічних систем із кращими захисними властивостями та меншою токсичністю. Сучасні тенденції характеризуються прагненням поєднати ефективність, довговічність і екологічну безпечність вогнезахисних засобів. Згідно з Наказом МВС № 1064 від 26.12.2018 [5] вогнезахисні засоби мають широку класифікацію і залежно від складу та властивостей ВЗ поділяються на: просочувальні вогнезахисні речовини, суміші для просочувальних вогнезахисних речовин, фарби вогнезахисні, лаки вогнезахисні, пасти (обмазки) вогнезахисні, штукатурки вогнезахисні, облицювальні ВЗ.

Залежно від методів захисту ВЗ поділяються на пасивні і реактивні.

До пасивних належать ВЗ, які під час температурного впливу не змінюють своїх розмірів і вогнезахисна ефективність яких забезпечується завдяки їх теплофізичним властивостям (просочувальні та облицювальні ВЗ, штукатурки, пасти (обмазки), вогнезахисні вироби).

До реактивних належать тонкошарові ВЗ (фарби, лаки, пасти (обмазки), що спучуються),

які під час температурного впливу внаслідок хімічних реакцій значно збільшуються у розмірах (спучуються) з утворенням коксового теплоізолявального шару, який захищає об'єкт вогнезахисту від високотемпературного впливу.

Залежно від товщини нанесення ВЗ поділяються на тонкошарові (з товщиною шару до 3 мм включно), товстошарові (з товщиною шару більше 3 мм).

Антипірени – речовини, що ускладнюють займання матеріалів та знижують швидкість поширення полум'я. Антипірени надають матеріалам вогнестійкості, а також припиняють доступ кисню до вкритих ними поверхонь.

Як антипірени найбільш часто використовуються ефіри фосфорних кислот, похідні сурми, хлоровані парафіни, борат цинку, сульфат амонію, бура, борна кислота, рідке скло, переробки фосфоритів з сульфатними згущувачами [6], бромовані аліфатичні ефіри, пропорції силікату натрію та біовугілля [7] та синергічні суміші.

Останнім часом дослідники приділяють значну увагу фосфорвмісним сполукам, оскільки вони відповідають екологічним стандартам для вогнезахисних речовин. Одна з цих речовин, діамоній гідрофосфат, фосфорно-азотна сполука, може бути використана для покращення вогнестійкості полімерів. Крім того, діамоній гідрофосфат, має малу щільність диму та високу ефективність у вогнестійкості [8].

Карбонат калію також ефективний як антипірен через ряд властивостей. Зокрема, висока вогнезахисна ефективність, висока розчинність у воді, фунгіцидну дію, низьку корозійну активність до заліза та незначний шкідливий вплив на людей і тварин [9].

Антипірени повинні відповідати низці вимог, що забезпечують ефективний і безпечний вогнезахист деревини. Вони мають перешкоджати горінню та тлінню захищаного матеріалу, не викликати корозії металевих частин конструкцій і зберігати довготривалість своєї дії. Крім того, антипірени не повинні підвищувати гігроскопічність деревини, бути токсичними для людей і тварин або впливати на лакофарбові покриття, нанесені на оброблені поверхні. Важливо також, щоб вони забезпечували біостійкість просоченого матеріалу – самостійно або у поєднанні з антисептиками, не створювали труднощів під час механічної обробки та не погіршували фізико-механічних властивостей деревини.

Просочувальні вогнезахисні засоби є одним із найпоширеніших методів зниження горючості деревини. Їхня дія ґрунтується на глибокому проникненні в структуру матеріалу спеціальних

антипіренів – речовин, які при нагріванні утворюють негорючі продукти, що перешкоджають термічному розкладанню та поширенню полум'я. Таке оброблення не змінює фізико-механічних властивостей основи, зберігає її природний вигляд і не потребує складного технологічного обладнання, що робить метод зручним у застосуванні. Завдяки поєднанню методів вогнезахисту, вогнестійкість та біоохист деревини можна збільшити в кілька разів [10].

Ефективність вогнезахисту залежить від багатьох факторів, зокрема: хімічного складу вогнезахисного засобу, способу його нанесення, здатності засобу до ефективного проникнення в деревину, вологості деревини, розподілу засобу по деревині та глибини просочування, а також від перевірки відповідності вогнезахисту та часу експлуатації вогнезахисту [11].

Вернер та ін. [12] досліджували ефективність просочування деревини деякими аніпіренами. Дослідження показало, що вогнезахисну ефективність деревини при дворазовому нанесенні розчину забезпечує лише покриття деревини меламінполіфосфатом. Обробка деревини водними розчинами борної кислоти, гідроксиду алюмінію та меламінполіфосфату (магнійфосфату) вимагає багаторазового покриття цими вогнезахисними речовинами.

Розробляються вогнезахисні просочувальні речовини на основі біоохисних засобів, що робить їх універсальними та доцільними. Наприклад, Сіврікая та ін. [13] досліджували ефективність обробки сосни сумішшю сорбітол-лимонної кислоти та антипіренів діамоній гідрофосфату та карбонат калію, пропорцією 1:2. Така суміш підвищує термічну стабільність, що призводить до вищої залишкової маси порівняно з тільки сорбітол-лимонною кислотою та необробленою сосною.

Постановка задачі та її розв'язання: проведення аналізу існуючих засобів поверхневого вогнезахисту деревини, визначення їх ефективності та недоліків, а також розроблення теоретичного підґрунтя для нового складу покриття, з більш ефективними характеристиками проникнення та поверхневого захисту.

Виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих результатів. Таким чином вагомим недоліком просочувальних вогнезахисних речовин є відносно недовгий строк придатності вогнезахисного просочування. Строк придатності вогнезахисного просочування. В умовах високої конкуренції вогнезахисних засобів суб'єкти господарювання все частіше здійснюють заміну вогнезахисного

засобу при повторних роботах з вогнезахисту, що призводить до виникнення антагонізму їх властивостей [14].

Корнієнко та ін. [15] досліджували строки придатності вогнезахисних просочень для деревини. Об'єктом досліджень у даній роботі були вогнезахисні речовини «БС-13», «АЛАНА», «ECOSEPT 450-1», «Неомид 450-1», предметом дослідження – вплив терміну зберігання в неопалювальних приміщеннях зразків деревини, виготовлених і оброблених згідно з вимогами нормативних документів, на змінення ефективності

їхнього вогнезахисту. Результати досліджень наведені у таблиці 1. Нижче наведено аналіз просочувальних рецептур та вказано їх основні характеристики які впливають на їх вогнезахисну ефективність.

З результатів дослідження можна зробити висновок, що поширені просочувальні вогнезахисні засоби забезпечують початкове значення вогнезахисної групи протягом одного року, що передбачено їхнім регламентом. З кожним наступним роком зберігання середнє значення втрати маси зразків зростає на декілька відсотків. Найменше

Таблиця 1

Результати випробувань з визначення групи вогнезахисної ефективності досліджених вогнезахисних речовин залежно від терміну зберігання [15, 16]

Назва вогнезахисної речовини для дерев'яних елементів горючих покриттів	Спосіб вогнезахисного оброблення	Середня витрата вогнезахисного засобу	Група вогнезахисної ефективності вогнезахисного засобу (середнє значення втрати маси зразків, %)		Примітка (про зміни якості вогнезахисту)
			на момент закладання	Через 1 рік зберігання	
Просочувальні вогнезахисні речовини					
Просочувальна вогнезахисна речовина «БС-13»	Глибоке вогнезахисне просочення	494,1 кг/м³ (в перерахунку на суху речовину – 74,1 кг/м³)	I (7,4)	I (7,6)	Забезпечується початкове значення групи вогнезахисної ефективності протягом одного року
Просочувальна вогнебіозахисна речовина «АЛАНА»	Поверхнєве вогнезахисне просочення (пензлем за два рази)	249,6 г/м² (в перерахунку на суху речовину – 174,7 г/м²)	I (6,6)	I (6,8)	
Просочувальна вогнебіозахисна речовина «ECOSEPT 450-1»	Поверхнєве вогнезахисне просочення (пензлем за два рази)	300,1 г/м² (в перерахунку на суху речовину – 193,1 г/м²)	I (7,1)	I (7,2)	
Просочувальна вогнезахисна речовина «Неомид 450-1»	Поверхнєве вогнезахисне просочення (пензлем за два рази)	249,7 г/м² (в перерахунку на суху речовину – 187,2 г/м²)	I (2,8)	I (5,7)	
Просочувальна вогнезахисна речовина «Бар'єр-1»	Глибоке вогнезахисне просочення (гаряча-холодна ванна) I група	759,5 кг/м³ (в перерахунку на суху речовину – 151,9 кг/м³)	I (7,2)	I (8,1)	
Просочувальна вогнезахисна речовина «Тутан Professional 4F Вогнебіозахист»	Глибоке вогнезахисне просочення (гаряча-холодна ванна) I група	184,4 кг/м³ (в перерахунку на суху речовину – 46,1 кг/м³)	I (7,3)	I (8,0)	
Вогнезахисна просочувальна речовина (антипірен) NLA-8	Глибоке вогнезахисне просочення (автоклавне просочення) I група	647 кг/м³ (в перерахунку на суху речовину – 80,9 кг/м³)	I (8,1)	I (8,3)	

зростання спостерігається у «ECOSEPT 450-1» (+1,41% від початкового значення) та «АЛАН» (+3,03% від початкового значення). Найменшу ефективність збереження терміну придатності показує «Неомид 450-1» (+103,57% від початкового значення). Спостерігаючи таку динаміку, можна зробити висновок, що через декілька років зберігання ці засоби не зможуть забезпечувати початкову групу вогнезахисту.

Парадоксально, проте найефективніші і найменш ефективніші засоби були нанесені за допомогою пензля. З цього можна зробити висновок, що збереження терміну придатності більше залежить від складу речовини, а не від способу нанесення. Однак, у випадку з БС-13 спосіб нанесення має важливе значення. При глибокому вогнезахисному просоченні цей засіб надає І групу вогнезахисту, який зберігається протягом 1 року експлуатації. Однак, при поверхневому нанесенні БС-13 забезпечує II групу вогнезахисту, а після 1 року зберігання взагалі не забезпечує вогнезахист деревини [16].

Просочувальні вогнезахисні засоби є одними з найпоширеніших засобів. Основними перевагами просочення є простота застосування, збереження зовнішнього вигляду деревини, невисока вартість обробки та можливість використання для різних типів конструкцій. Також важливим позитивним аспектом цього методу вогнезахисту є певний рівень біозахисту [17], що є суттєвим при обробці деревини.

Водночас такі засоби мають і певні недоліки. Глибина та тривалість дії просочення залежать від вологості деревини, умов експлуатації та способу нанесення. При впливі атмосферних опадів, сонячного випромінювання чи механічного стирання захисні властивості поступово знижуються, що потребує періодичного оновлення обробки. Згідно подальшого порівняння, фарби та лаки частково позбавлені таких недоліків і мають дещо довший термін вогнезахисної придатності. Вогнезахисні фарби та лаки є ефективними засобами зниження горючості будівельних матеріалів, зокрема деревини та металевих конструкцій. Вони утворюють на поверхні тонкий шар, який під дією високої температури спінюється або утворює теплоізоляційну плівку, що уповільнює нагрівання та займання основи. Такі покриття поєднують декоративну та захисну функції, відповідають вимогам чинних нормативних документів і застосовуються для підвищення рівня пожежної безпеки будівельних об'єктів [18].

Вогнезахисні фарби та лаки повинні відповідати ряду вимог, що забезпечують їх ефективність і безпечність під час експлуатації. Насамперед

вони мають бути нетоксичними, тобто безпечними для використання у житлових приміщеннях і не виділяти шкідливих речовин під час нагрівання. Важливою характеристикою є гнучкість покриття, яка дає змогу деревині вільно розширюватися та стискатися без утворення тріщин, зберігаючи цілісність і міцність захисного шару. Крім того, такі матеріали повинні вирізнятися простотою нанесення – забезпечувати рівномірне покриття на різних типах дерев'яних поверхонь, створюючи надійний бар'єр проти вогню [19].

Вогнезахисні лаки – речовини, що утворюють на поверхні матеріалу, який захищається, тонку прозору плівку. Ця плівка дозволяє зберегти текстуру деревини й володіє декоративними властивостями, а також захищає деревину від загоряння.

Вогнезахисні фарби – речовини, що наносять на поверхню матеріалу, який захищається, з метою утворення на ньому непрозорого шару різних кольорів і відтінків, для надання декоративного виду, попередження загоряння, поширення полум'я по поверхні та захисту від впливу вологи [20]. Цей метод вогнезахисту характеризується тривалішим терміном експлуатації порівняно з просоченнями. Однак наявність у складі органічних розчинників обмежує його використання в житлових і громадських будівлях. Вогнезахисні фарби являють собою суспензію пігментів, наповнювачів та допоміжних компонентів і призначені переважно для оброблення конструкцій усередині приміщень [20].

Згідно класифікації вогнезахисні фарби та лаки поділяються на пасивні та реактивні. Пасивні фарби не змінюють свого об'єму при збільшенні температури, що робить їх не такими ефективними в порівнянні з реактивними. Застосування фарб, що не спучуються, уповільнює загоряння деревини лише на 3 – 5 хв. В основному цю фарбу застосовують для захисту деревно-полімерних композитів [20].

При нагріванні покриття, що спучуються, розкладаються, виділяючи пари або газу, що блокують конвективний перенос тепла до поверхні, подавляють полум'я. А пористий шар обугленого покриття служить теплоізолятором [21]. Вогнезахисні фарби та лаки посідають важливе місце серед сучасних засобів підвищення пожежної безпеки будівельних конструкцій. Вогнезахисні фарби є найпоширенішим способом вогнезахисту деревини через ряд переваг, а саме відносно висока вогнезахисна ефективність і простота у використанні. Варто зазначити, що фарби та лаки мають ще 2 додаткові функції – біологічний захист декоративність.

Особливо доцільними є інтумесцентні фарби, ефективність яких зумовлена здатністю утворювати на поверхні конструкцій захисний теплоізоляційний шар, який при дії високої температури перешкоджає доступу кисню, знижує теплопровідність та уповільнює процеси займання і поширення полум'я [22]. Завдяки цьому такі матеріали істотно підвищують межу вогнестійкості деревини, металу та інших основ, що особливо важливо для внутрішніх елементів будівель.

Оцінку ефективності деяких фарб і лаків провів Гайдук [23] та ін., результати яких наведено в таблиці 2.

У порівняльному аналізі слід звернути увагу на строк вогнезахисного терміну, адже це основна перевага фарб та лаків над просоченнями. Бачимо, що найдовші терміни (25-30 років) у фарб №3, 4 та 6. Проте слід звернути увагу, що виробник цих засобів не надає протоколів підтвердження терміну. Тому не можна обґрунтовано підтвердити такий довгий час вогнезахисної ефективності. До уваги треба брати ті зразки, які мають протоколи підтвердження заявленого терміну вогнезахисту. У цьому випадку середній термін становить більш реальні 10 років, що переважно довше за строк вогнезахисної придатності просочувальних речовин.

Для виконання вогнезахисного облицювання використовують гіпсокартон, магнезитові та цементно-стружкові плити, азбестоцемент, базальтові мати, склотканини й інші термостійкі матеріали. Ефективність екранування залежить від товщини й теплопровідності облицювального шару, способу кріплення та герметичності стиків. Завдяки простоті монтажу, довговічності та

відсутності потреби у спеціальному обладнанні, метод екранування широко застосовується в будівництві для захисту як дерев'яних, так і металевих конструкцій [25].

До конструктивного вогнезахисту відносяться штукатурки, облицювання плитними, рулонними та іншими вогнезахисними матеріалами, у тому числі на каркасі, з повітряними прошарками, а також комбінація даних матеріалів, у тому числі з тонкошаровими покриттями, що спучуються. Широкого застосування набули гіпсокартонні листи, магнезитові, гіпсоволокнисті та вермикулитові плити, композитні панелі, плити з базальтовими волокнами тощо [26].

Широкого застосування в облицюванні набув гіпсокартон через ряд різноманітних властивостей. Щодо вогнезахисної, то стратегія пожежної безпеки для Dalston Works визначає, що гіпсокартон забезпечує 49 хвилин вогнезахисту, після чого деревина обвуглюється зі швидкістю 0,7 мм за хвилину [27].

Конструктивний вогнезахист ефективний та суттєво підвищує межу вогнестійкості будівельних конструкцій. Шаршанов та Абрамов [28] у своїх дослідженнях вказують такий результат:

- вогнезахисні штукатурки (до 180 і більше хвилин);
- облицювальні вогнестійкі плити (до 180 і більше хвилин);
- вогнезахисні сполуки (фарби), що спучуються (до 90 хв)

Вогнезахисне облицювання (екранування) є одним із найнадійніших та довговічних способів підвищення вогнестійкості будівельних конструкцій. Воно забезпечує ефективну теплоізоляцію

Таблиця 2

Характеристики сучасних вогнезахисних засобів для деревини, що застосовувались в Україні в період з 2019 року до 01.07.2023 року [23, 24]

№ з/п	Назва вогнезахисного засобу	Стан вогнезахисного засобу	Товщина вогнезахисного просочення (оброблення), (мм)	Заявлений термін вогнезахисту, років	Наявність протоколів підтвердження терміну вогнезахисту
1	Фенікс ДБ	Фарба	0,25	30	Не вказано
2	Antifire Paint Plus	Лак	0,15	7	В наявності
3	Фаєрвол-Вуд	Фарба	0,2	10	В наявності
4	Defens W	Фарба	0,2	30	Не вказано
5	ВД АК 5021 «Пірант Колор»	Фарба	0,2	10	Не вказано
6	Defender	Фарба	Не вказано	25	Не вказано
7	ЕНДОТЕРМ ХТ-150	Фарба	0,2	12	Не вказано
8	Ендотерм 250103	Фарба	0,12	10	В наявності
9	Fireproof coating	Фарба	0,1	10	В наявності

матеріалу від дії відкритого полум'я, що значно знижує ризик його займання та деформації. Застосування негорючих плитних або волокнистих матеріалів дозволяє зберігати несучу здатність конструкцій упродовж тривалого часу пожежі.

Разом із тим, ефективність методу залежить від правильності монтажу, вибору матеріалів та забезпечення цілісності захисного шару. Також вагомим недоліком є можливість піролізу та тління під вогнезахисним екраном внаслідок тривалого нагрівання деревини, яке знаходиться під ним.

Висновок. Перспективи подальших досліджень полягають у розробленні нових композиційних вогнезахисних засобів із покращеними адгезійними, термостійкими та гідрофобними властивостями, які забезпечуватимуть глибше проникнення активних речовин у структуру деревини та формування більш стабільного шару пінококсу. Особливу увагу слід приділити оптимізації складу інтумесцентних систем, підбору ефективних каталізаторів і стабілізаторів спучування, а також вивченню взаємодії покриттів із різними породами деревини з урахуванням їх фізико-хімічних характеристик.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Аналітична довідка про пожежі та їх наслідки в Україні. URL: <https://dsns.gov.ua/upload/2/2/8/5/6/0/7/analichna-dovidka-pro-pojeji-112024.pdf>.
2. Ключко А. М., Борисова Л. В., Никітіна Л. О. Щодо статистичних даних у сфері пожежної безпеки. *Bulletin of the National University of Civil Protection of Ukraine. Series: Public Administration*. 2022. Issue 2(17)2022. URL: <https://doi.org/10.5236/3/2414-5866-2022-2-33>.
3. Sauerbier P., Mayer A.K., Emmerich L., Militz H. Fire retardant treatment of wood—state of the art and future perspectives. In *Wood & Fire Safety: Proceedings of the 9th International Conference on Wood & Fire Safety* 9: 97–102. Springer International Publishing. 2020. https://doi.org/10.1007/978-3-030-41235-7_14.
4. Jing C., Renner, J.S., Xu, Q. Research on the Fire Performance of Aged and Modern Wood. In: Makovická Osvaldová, L., Hasburgh, L.E., Das, O. (eds). 2024. *Wood & Fire Safety* 2024.
5. Про затвердження Правил з вогнезахисту. Офіційний вебпортал парламенту України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0259-19#Text>.
6. Begimkulov J., Abdurakhmanov E., Abdurakhmanov G., Murodova Z.B., Baratova M.R. Production of Fire-Resistant Compounds for Protecting Wood Products from Fire Based on Central Kyzilkum Phosphorites. In: Silhavy, R., Silhavy, P. (eds) *Software Engineering: Emerging Trends and Practices in System Development*. CSOC 2025. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 1558. 2026.
7. Rantuch P., Kvorková V., Martinka J., Štefko T., Wachter I. Fire Protection of Wood Using a Coating Based on Sodium Silicate and Biochar. In: Makovická Osvaldová, L., Hasburgh, L.E., Das, O. (eds) *Wood & Fire Safety* 2024.
8. Liu C, Wei L, Ma B, Zhang Y, Jia X. Effect of diammonium hydrogen phosphate coated with silica on flame retardancy of epoxy resin. *RSC Adv*. 2024. 14(39):28965–28975. <https://doi.org/10.1039/D4RA05513F>.
9. Grzeskowiak W. Evaluation of the effectiveness of the fire retardant mixture containing potassium carbonate using a cone calorimeter. *Fire Mater* 36(1):75–83. <https://doi.org/10.1002/fam.1088>.
10. Popescu C. M., Pfriem A. Treatments and modification to improve the reaction to fire of wood and wood-based products—An overview. *Fire Mater*. 2012. 44(1):100–111. <https://doi.org/10.1002/fam.2779>.
11. Marino S., Gaff M., Sethy A.K., et al.: Enhancing the fire resistance properties of thermally modified *Robinia pseudoacacia* wood with natural and synthetic flame retardants: chemical characterisation and fire behaviour. *Eur. J. Wood Prod*. 82, 2024. 1145–1157.
12. Islam MN, Ando K, Hattori N, Yamauchi H, Kobayashi Y. Comparative study between full cell and passive impregnation method of wood preservation for laser incised Douglas fir lumber. *Wood Sci Technol*. 2008. № 42. P. 343–350.
13. Li X., Li C., Wang L. et al. Synergistic flame retardant mechanism of PA66 with aluminum dicyclohexyl hypophosphonate and melamine polyphosphate. *J Therm Anal Calorim* 150, 5099–5108. 2025. <https://doi.org/10.1007/s10973-025-14107-w>.
14. Sivrikaya H., Wu M., Militz H. Fire resistance of Scots pine modified with sorbitol, citric acid and fire retardants. *Eur. J. Wood Prod*. 83, 127, 2025. <https://doi.org/10.1007/s00107-025-02282-4>.
15. Гаврилук А. Ф., Гайдук М. О. Дослідження антагонізму вогнезахисного просочування дерев'яних будівельних конструкцій, як спосіб покращення пожежної безпеки в умовах війни. *Цивільний захист в умовах війни*. 2023. С. 121.
16. Корнієнко О. В. Проміжні результати досліджень з визначення строку придатності вогнезахисних покривів (просочень) для деревини. *Проблеми техніко-екологічної безпеки: освіта, наука, практика*. 2016. С. 57.
17. О. Д. Гудович, О. В. Корнієнко. Дослідження зміни ефективності вогнезахисту деревини залежно від часу та умов зберігання. *Вісник Київського національного університету технологій та дизайну* 2012. № 5 (67). С. 50–55.
18. Van Acker, J., Durimel, M., De Ligne, L., Parakhonskiy, B., Skirtach, A.G., Vanden Bulcke, J. Wood Modification Methods and Fire Resistance of Façades and Cladding. In: Goli, G., et al. *Proceedings of the 11th European Conference on Wood Modification*. 2025.
19. Демідов Д. В. Вивчення впливу мінеральних наповнювачів на вогнезахисні характеристики водно-дисперсійних лакофарбових покриттів. *Збір-*

ник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту. 2018. Т. 182. С. 37–43.

20. Вибір вогнезахисних фарб: аналіз матеріалів для різних будівель. Аналіз матеріалів для вогнезахисних фарб: який вибір підходить для різних будівель | МЕРКОР. URL: <https://mercor.com.ua/analiz-materialiv-dlya-vognezahysnyh-farb-yakyj-vybir-pidhodyt-dlya-riznyh-budivel/>.

21. Пазен О., Пранничук О. Сучасні методи та засоби вогнезахисту деревини. Проблеми та перспективи розвитку системи безпеки життєдіяльності : Матеріали міжнар. конф., м. Львів. 2022. С. 23–26.

22. Баланюк В. М. The effectiveness of open space fire extinguishing with flammable liquid fighting aerosols. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5(10(77)), 2015. 4–11. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2015.51399>.

23. Баланюк В.М., Грималюк Б.Т., Кіт Ю.В., Левуш С.С. Вплив газової фази на ефективність вогнегасних аерозолів. Вісник Національного університету «Львівська політехніка». 2004. Т. 5. С. 102–104.

24. Haiduk M., Havryliuk A., Yakovchuk R. Problematic aspects of determining fire protection of wood. *Municipal economy of cities*. 2024. Vol. 1, no. 182. P. 187–194. URL: <https://doi.org/10.33042/2522-1809-2024-1-182-187-194>.

25. Вогнебіозахист для дерева/деревини – вогнезахисна обробка дерев'яних конструкцій. Обробка дерева – купити антисептичні засоби захисту деревини від вологи/гниття/вогню в Києві. URL: <https://bionic-house.com.ua/ua/katalog-produktsiji/vognebiozakhist-derevini-ta-antipireni.html>.

26. Данілін О., Кульченко Є. Захист будівель від впливу небезпечних чинників. Науково – практичні аспекти управління у сфері цивільного захисту : матеріали міжнар. конф., м. Харків. 2023. С.44–45.

27. Zehfuß J., Sander L. Gypsum plasterboards under natural fire – Experimental investigations of thermal properties. *Civil Engineering Design*, 3(3), 2021. 62–72.

28. Pearson A. Dalston Lane: Tall Timber. 2016. URL: <https://www.building.co.uk/technical-case-studies/dalston-lane-tall-timber/5079749.article>.

29. Захист речовин і матеріалів від теплового впливу пожежі за допомогою екранів і покриттів / А.Я. Шаршанов, Ю.О. Абрамов. Харків: НУЦЗУ, 2023. 280 с.

REFERENCES

1. Analıtychna dovidka pro pozhezhi ta yikh naslidky v Ukraini [Analytical Report on Fires and Their Consequences in Ukraine]. (n.d.). Retrieved from: <https://dsns.gov.ua/upload/2/2/8/5/6/0/7/analıtychna-dovidka-pro-pojeji-112024.pdf> [in Ukrainian].

2. Klochko, A. M., Borysova, L. V., & Nikitina, L. O. (2022). Shchodo statystychnykh danykh u sferi pozheznoi bezpeky [On Statistical Data in the Field of Fire Safety]. *Bulletin of the National University of Civil Protection of Ukraine. Series:*

Public Administration – Bulletin of the National University of Civil Protection of Ukraine. Series: Public Administration, 2(17). <https://doi.org/10.52363/2414-5866-2022-2-33> [in Ukrainian].

3. Sauerbier, P., Mayer, A. K., Emmerich, L., & Militz, H. (2020). Fire retardant treatment of wood – state of the art and future perspectives. In *Wood & Fire Safety: Proceedings of the 9th International Conference on Wood & Fire Safety* (pp. 97–102). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-41235-7_14

4. Jing, C., Renner, J. S., & Xu, Q. (2024). Research on the Fire Performance of Aged and Modern Wood. In *Makovická Osvaldová, L., Hasburgh, L. E., & Das, O. (Eds.), Wood & Fire Safety 2024*.

5. Pro zatverdzhennia Pravyl z vohnezakhystu [On the Approval of Fire Protection Rules]. (n.d.). Ofitsiyniy vebportal parlamentu Ukrainy – Official Web Portal of the Parliament of Ukraine. Retrieved from: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0259-19> [in Ukrainian].

6. Begimkulov, J., Abdurakhmanov, E., Abdurakhmanov, G., Murodova, Z. B., & Baratova, M. R. (2026). Production of Fire-Resistant Compounds for Protecting Wood Products from Fire Based on Central Kyzylkum Phosphorites. In R. Silhavy & P. Silhavy (Eds.), *Software Engineering: Emerging Trends and Practices in System Development* (Vol. 1558).

7. Rantuch, P., Kvorková, V., Martinka, J., Štefko, T., & Wachter, I. (2024). Fire protection of wood using a coating based on sodium silicate and biochar. In *Makovická Osvaldová, L., Hasburgh, L. E., & Das, O. (Eds.), Wood & Fire Safety 2024*.

8. Liu, C., Wei, L., Ma, B., Zhang, Y., & Jia, X. (2024). Effect of diammonium hydrogen phosphate coated with silica on flame retardancy of epoxy resin. *RSC Advances*, 14(39), 28965–28975. <https://doi.org/10.1039/D4RA05513F>

9. Grzeskowiak, W. (2012). Evaluation of the effectiveness of the fire retardant mixture containing potassium carbonate using a cone calorimeter. *Fire and Materials*, 36(1), 75–83. <https://doi.org/10.1002/fam.1088>

10. Popescu, C. M., & Pfriem, A. (2012). Treatments and modification to improve the reaction to fire of wood and wood-based products – An overview. *Fire and Materials*, 44(1), 100–111. <https://doi.org/10.1002/fam.2779>

11. Marino, S., Gaff, M., & Sethy, A. K., et al. (2024). Enhancing the fire resistance properties of thermally modified Robinia pseudoacacia wood with natural and synthetic flame retardants: Chemical characterisation and fire behaviour. *European Journal of Wood and Wood Products*, 82, 1145–1157.

12. Islam, M. N., Ando, K., Hattori, N., Yamauchi, H., & Kobayashi, Y. (2008). Comparative study between full cell and passive impregnation methods of wood preservation for laser incised Douglas fir lumber. *Wood Science and Technology*, 42, 343–350.

13. Li, X., Li, C., Wang, L., et al. (2025). Synergistic flame retardant mechanism of PA66 with aluminum dicyclohexyl hypophosphonate and melamine

polyphosphate. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 150, 5099–5108. <https://doi.org/10.1007/s10973-025-14107-w>

14. Sivrikaya, H., Wu, M., & Militz, H. (2025). Fire resistance of Scots pine modified with sorbitol, citric acid and fire retardants. *European Journal of Wood and Wood Products*, 83, 127. <https://doi.org/10.1007/s00107-025-02282-4> [in Ukrainian].

15. Havryliuk, A. F., & Haiduk, M. O. (2023). Doslidzhennia antahonizmu vohnezakhysnoho prosochuvannia derevianykh budivelnnykh konstrukttsii yak sposib pokrashchennia pozhezhnoi bezpeky v umovakh viiny [Study of the Antagonism of Fire-Protective Impregnation of Wooden Building Structures as a Way to Improve Fire Safety in Wartime]. *Tsyvilnyi zakhyst v umovakh viiny – Civil Protection in Wartime*, 121. [in Ukrainian].

16. Korniienko, O. V. (2016). Promizhni rezultaty doslidzhen z vyznachennia stroku prydatnosti vohnezakhysnykh pokryviv (prosochen) dlia derevyny [Intermediate Results of Research on Determining the Service Life of Fire-Protective Coatings (Impregnations) for Wood]. *Problemy tekhniko-ekolohichnoi bezpeky: osvita, nauka, praktyka – Problems of Technical and Environmental Safety: Education, Science, Practice*, 57.

17. Hudovych, O. D., & Korniienko, O. V. (2012). Doslidzhennia zminy efektyvnosti vohnezakhystu derevyny zalezno vid chasu ta umov zberihannia [Study of Changes in Fire Protection Efficiency of Wood Depending on Time and Storage Conditions]. *Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu tekhnolohii ta dyzainu – Bulletin of Kyiv National University of Technologies and Design*, 5(67), 50–55. [in Ukrainian].

18. Van Acker, J., Durimel, M., De Ligne, L., Parakhonskiy, B., Skirtach, A. G., & Van den Bulcke, J. (2025). Wood Modification Methods and Fire Resistance of Façades and Cladding. In Goli, G., et al. (Eds.), *Proceedings of the 11th European Conference on Wood Modification*.

19. Demidov, D. V. (2018). Vyvchennia vplyvu mineralnykh napovnyuvachiv na vohnezakhysni kharakterystyky vodno-dispersynykh lakofarbovykh pokryttiv [Study of the Influence of Mineral Fillers on Fire-Protective Characteristics of Water-Dispersion Paint-and-Lacquer Coatings]. *Zbirnyk naukovykh prats Ukrainskoho derzhavnoho universytetu zaliznychnoho transportu – Collection of Scientific Works of the Ukrainian State University of Railway Transport*, 182, 37–43. [in Ukrainian].

20. Vymir vohnezakhysnykh farb: analiz materialiv dlia riznykh budivel [Selection of Fire-Protective Paints: Analysis of Materials for Different Types of Buildings]. (n.d.). MERKOR. Retrieved from: [https://mercor.com](https://mercor.com.ua/analiz-materialiv-dlya-vognezhahysnyh-farb-yakyy-vybir-pidhodyt-dlya-riznyh-budivel/).

ua/analiz-materialiv-dlya-vognezhahysnyh-farb-yakyy-vybir-pidhodyt-dlya-riznyh-budivel/ [in Ukrainian].

21. Pazen, O., & Prannychuk, O. (2022). Suchasni metody ta zasoby vohnezakhystu derevyny [Modern Methods and Means of Wood Fire Protection]. In *Problemy ta perspektyvy rozvytku systemy bezpeky zhyttiedialnosti – Problems and Prospects of Development of the Life Safety System* (pp. 23–26). [in Ukrainian].

22. Balaniuk, V. M. (2015). The effectiveness of open space fire extinguishing with flammable liquid fighting aerosols. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5(10), 4–11. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2015.51399> [in Ukrainian].

23. Balaniuk, V. M., Hrymaluk, B. T., Kit, Yu. V., & Levush, S. S. (2004). Vplyv hazovoi fazy na efektyvnist vohnehasnykh aeroliziv [Influence of Gas Phase on the Efficiency of Fire-Extinguishing Aerosols]. *Visnyk Natsionalnoho universytetu “Lvivska politekhnika” – Bulletin of Lviv Polytechnic National University*, 5, 102–104. [in Ukrainian].

24. Haiduk, M., Havryliuk, A., & Yakovchuk, R. (2024). Problematic aspects of determining fire protection of wood. *Municipal Economy of Cities*, 1(182), 187–194. <https://doi.org/10.33042/2522-1809-2024-1-182-187-194>.

25. Vohnebiozakhyst dlia dereva/derevyny – vohnezakhysna obrobka derevianykh konstrukttsii [Fire-Bio Protection for Wood – Fire-Protective Treatment of Wooden Structures]. (n.d.). Bionic House. Retrieved from: <https://bionic-house.com.ua/ua/katalog-produktsiji/vognebiozakhyst-derevini-ta-antypireni.html> [in Ukrainian].

26. Danilin, O., & Kulchenko, Ye. (2023). Zakhyst budivel vid vplyvu nebezpechnykh chynnykiv [Protection of Buildings Against Hazardous Factors]. In *Naukovo-praktychni aspekty upravlinnia u sferi tsyvilnoho zakhystu – Scientific and Practical Aspects of Management in the Field of Civil Protection* (pp. 44–45). [in Ukrainian].

27. Zehfuß, J., & Sander, L. (2021). Gypsum plasterboards under natural fire: Experimental investigations of thermal properties. *Civil Engineering Design*, 3(3), 62–72.

28. Pearson, A. (2016). Dalston Lane: Tall Timber. <https://www.building.co.uk/technical-case-studies/dalston-lane-tall-timber/5079749.article>.

29. Sharshanov, A. Ya., & Abramov, Yu. O. (2023). Zakhyst rehovyn i materialiv vid teplovoho vplyvu pozhezhi za dopomohoiu ekraniv i pokryttiv [Protection of Substances and Materials Against Thermal Fire Exposure Using Screens and Coatings]. *Kharkiv: NUTSU*.

© В. М. Баланюк, В. І. Слободян, В. С. Пикус

Оглядова стаття.

Стаття надійшла до редакції 20.09.2025

Стаття прийнята 02.10.2025

Статтю опубліковано 23.12.2025