



С. Я. Вовк, О. Ю. Пазен, В. В. Придатко, Н. О. Ференц

Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, м. Львів, Україна

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5278-3754> – С. Я. Вовк

<https://orcid.org/0000-0003-1655-3825> – О. Ю. Пазен

<https://orcid.org/0000-0002-6964-5929> – В. В. Придатко

<https://orcid.org/0000-0003-3139-0921> – Н. О. Ференц



sergiy_vovk@ukr.net

ДОСЛІДЖЕННЯ ВОГНЕЗАХИСНИХ ПОКРИТТІВ ДЛЯ ДЕРЕВ'ЯНИХ КОНСТРУКЦІЙ НА ОСНОВІ СИЛІКАТУ НАТРІЮ

Вступ. На даний час одними із поширених та простих у застосуванні є будівельні конструкції із деревини. Враховуючи недовговічність і здатність таких конструкцій до займання та підтримання процесу горіння, виникає гостра потреба у забезпеченні захисту від зовнішнього впливу. Одним із можливих варіантів захисту будівельних матеріалів і конструкцій із деревини є поверхневий захист вогнезахисними сумішами. Застосування вогнезахисних композицій на основі силікату натрію, базальтового волокна та оксидів металів для дерев'яних конструкцій дає можливість здійснити поверхневий захист дерев'яних будівельних матеріалів і конструкцій від впливу теплового випромінювання процесів горіння та одночасно від впливу вологи навколишнього середовища.

Метою статті є розробка і дослідження атмосферо-температуро-вогнестійких композицій на основі силікату натрію та наповнювачів із базальтового волокна і оксидів металів для зменшення пожежонебезпечності та збільшення вогнестійкості дерев'яних будівельних конструкцій.

Методи дослідження. У роботі використано експериментальний метод визначення вогнезахисної ефективності вогнезахисних речовин за методикою згідно з ГОСТ 16363-98 «Засоби вогнезахисні для деревини. Методи визначення вогнезахисних властивостей».

Основні результати дослідження. У статті досліджено композиції із рідкого натрієвого скла (60...80% мас. %), базальтового волокна (10...20% мас. %); температуростійких оксидів: MgO (10...15%); TiO₂ (10...15%); Al₂O₃ (10%); ZnO (10%). Матеріали на основі вказаних оксидів володіють високою температуростійкістю, паропроникністю і хімічною стійкістю. Такі властивості дають можливість використовувати їх в складі вогнезахисних покриттів.

У роботі залежно від втрати маси взірця визначали групу вогнезахисної ефективності. Зокрема при втраті маси взірця не більше 9% для засобу вогнезахисту встановлюють I групу вогнезахисної ефективності. Якщо втрата маси перевищує 9%, але не більша 25%, для засобу вогнезахисту встановлюють II групу вогнезахисної ефективності. При втраті маси більше 25% вважають, що даний засіб не забезпечує вогнезахисту деревини.

Показано, що всі досліджувані композиції забезпечують вогнезахист деревини. Однак, найбільш ефективним є композиція, яка складається із рідкого скла (70%), базальтового волокна (15%), MgO (15%), середнє значення втрати маси зразка якого становить 4,54% від загальної маси, що підтверджує важкозаймистість деревини та першу групу вогнезахисної ефективності.

У вогнезахисному покритті для деревини реалізуються декілька механізмів вогнезахисту: теплоізоляція, теплопоглинання, інгібування процесу горіння в газовій фазі, розбавлення горючих продуктів термодеструкції і зміна механізму термодеструкції деревини. Початковому етапу впливу високих температур властиві процеси теплоізоляції і теплопоглинання. Надалі покриття піддається термодеструкції з утворенням газоподібних речовин, створюються спучені шари, які мають меншу теплопровідність у порівнянні з початковим матеріалом.

Висновок. Експериментально встановлено, що композиції на основі рідкого скла, базальтового волокна, і температуростійких оксидів металів (MgO, TiO₂, Al₂O₃, ZnO) можуть використовуватися як вогнезахисні покриття з атмосферостійкими властивостями для дерев'яних будівельних конструкцій, зберігаючи I групу вогнезахисної ефективності, для якої допускається втрата маси взірця до 9%. Температуростійкі оксиди металів у складі покриття підвищують його атмосферостійкість експлуатації в природних умовах та вогнестійкість – в умовах дій вогню. Отже, запропоновані покриття дають можливість перевести деревину з групи «горючої» до «помірно горючої».

Ключові слова: вогнезахист, композиція, покриття, деревина, вогнезахисна ефективність, горючість.

RESEARCH OF FIRE PROTECTIVE COATINGS BASED ON SODIUM SILICATE FOR WOODEN STRUCTURES

Introduction. Currently, one of the most common and easy to use are building structures made of wood. Given the short life and ability of such structures to ignite and maintain the combustion process, there is an urgent need to provide protection from external influences. One of the possible options for the protection of building materials and wooden structures is surface protection with fire-retardant mixtures. The use of fire-retardant compositions based on sodium silicate, basalt fibre and metal oxides for wooden structures makes it possible to provide surface protection of wooden building materials and structures from the effects of thermal radiation of combustion processes and the effects of environmental moisture.

Aim. Development and research atmospheric-temperature-fire-resistant compositions based on sodium silicate and fillers of basalt fibre and metal oxides to reduce fire risk and increase the fire resistance of wooden building structures.

Methods. The experimental method of determining the fire-retardant efficiency of fire-retardant substances according to the method according to GOST 16363-98 "Fire-retardants for wood. Methods for determining fire-retardant properties.

Results. The article investigates the coating of liquid sodium glass (60... 80% wt.%), Basalt fiber (10... 20% wt.%); temperature-resistant oxides: MgO (10... 15%); TiO₂ (10... 15%); Al₂O₃ (10%); ZnO (10%). Materials based on these oxides have high-temperature resistance, vapour permeability and chemical resistance. Such properties make it possible to use them as part of fire-retardant coatings.

The group of fire-retardant efficiency was determined in the work depending on the weight loss of the sample. In particular, when the weight of the sample is not more than 9%, a fire protection group I is set for the fire protection agent. If the weight loss exceeds 9%, but not more than 25%, the fire protection group II is set for fire protection. With a weight loss of more than 25% believe that this tool does not provide fire protection of wood.

It is shown that all the studied compositions provide fire protection of wood. However, the most effective is a composition consisting of liquid glass (70%), basalt fibre (15%), MgO (15%), and the average weight loss of the sample, which is 4.54% of the total mass, which confirms the flammability of wood and the first group of fire protection efficiency.

The fire-retardant coating for wood implements several mechanisms of fire protection: thermal insulation, heat absorption, inhibition of the combustion process in the gas phase, dilution of combustible products of thermal destruction and change in the mechanism of thermal destruction of wood. At the initial stage of exposure to high temperatures, the processes of thermal insulation and heat absorption are inherent. In the future, the coating is subjected to thermal destruction with the formation of gaseous substances, creating swollen layers that have lower thermal conductivity compared to the original material.

Conclusion. It has been experimentally established that compositions based on liquid glass, basalt fibre, and temperature-resistant metal oxides (MgO, TiO₂, Al₂O₃, ZnO) can be used as fire-retardant coatings with weather-resistant properties for wooden building structures while maintaining fire protection group I, for which loss of sample weight up to 9%. Temperature-resistant oxides of metals in the coating increase its weather resistance in natural conditions and fire resistance - in conditions of a fire. Therefore, the proposed coatings make it possible to transfer wood from the groups of "combustible" to "moderately combustible".

Keywords: fire protection, composition, coating, wood, fire protection efficiency, flammability.

Постановка проблеми. Впродовж останніх років сучасна будівельна галузь нашої держави та світу в цілому, враховуючи потреби розширення інфраструктури суспільної діяльності, потребує збільшення ринку надання послуг містобудівної та промислової діяльності. Це зумовлює значний крок у сфері розвитку методів і способів проведення будівельно-монтажних робіт, застосуванні матеріалів і конструкцій із заданими параметрами конструктивного виконання, несучої здатності, стійкості до впливу різних видів випромінювання тощо. Однак реалії сьогодення не дають змоги в повній мірі користуватись новітніми технологіями будівельної галузі. Насамперед це: використання раніше зведених будівель та споруд і неможливість проведення часткової або повної їх реконструкції із заміною окремих конструктивних елементів; неконкурентноспроможність та порівняльна

вартість окремих видів конструкцій та багато інших. На даний час одними із поширених та простих у застосуванні є будівельні конструкції із деревини та металу. Враховуючи недовговічність і здатність дерев'яних конструкцій до займання та підтримання процесу горіння, виникає гостра потреба у забезпеченні захисту від впливу на них пожежі, а у випадку з металевими будівельними конструкціями, необхідно збільшувати їх клас вогнестійкості для можливості їх використання у будівлях і спорудах відповідного ступеня вогнестійкості. Одним із можливих варіантів захисту будівельних матеріалів і конструкцій із деревини та металу є поверхневий захист вогнезахисними засобами. Способами вогнезахисту дерев'яних конструкцій є вогнезахисне просочування, покриття поверхні фарбами, лаками [1, 2] та їх обмазка. Способами

вогнезахисту металевих будівельних конструкцій є нанесення на їхні поверхні реактивних та пасивних вогнезахисних покриттів [3].

Враховуючи пожежну небезпеку у будівлях та спорудах, де застосовані дерев'яні конструкції, а саме: їх горючість та можливість швидкого розповсюдження полум'я по них, актуальним є вогнезахист таких конструкцій. Для вогнезахисту дерев'яних конструкцій можливим є застосування оксидів металів на основі натрієвого рідкого скла, що дає змогу здійснити поверхневий захист дерев'яних будівельних матеріалів і конструкцій від впливу теплового випромінювання процесів горіння та одночасно від впливу вологи навколишнього середовища.

Отже, як бачимо, дослідження вогнезахисних композицій на основі силікату натрію, базальтового волокна та оксидів металів для дерев'яних конструкцій є актуальним.

Метою роботи є розробка і дослідження атмосферо-температуро-вогнестійких композицій на основі силікату натрію та наповнювачів із базальтового волокна і оксидів металів для зменшення пожежонебезпечності та збільшення вогнестійкості дерев'яних будівельних конструкцій.

Методи досліджень. Визначення вогнезахисної ефективності вогнезахисних речовин проводили за методикою, описаною в ГОСТ 16363-98 «Засоби вогнезахисні для деревини. Методи визначення вогнезахисних властивостей» [4]. Вимірювали товщину покриву штангенциркулем.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналітичний огляд досліджень та публікацій показує [5-15], що для вогнезахисту деревини та виробів з неї використовують вогнезахисне просочення, фарби, лаки, обмазки, штукатурки та плівкові покриття. Різні способи вогнезахисту мають свої переваги і недоліки. Відповідно до відмінностей в їх експлуатаційних властивостях, вони мають різні галузі застосування [5].

Обробка дерев'яних конструкцій вогнезахисними покриттями – один із найбільш ефективних методів вогнезахисту [6]. Традиційними засобами вогнезахисту дерев'яних конструкцій є покриття на основі цементно-піщаних і інших штукатурок із спеціальними добавками для підвищення теплоізоляційних та адгезійних властивостей. При нанесенні вогнезахисної штукатурки на будівельну конструкцію створюється захисний теплоізоляційний шар. Основний недолік вогнезахисту штукатуренням – обмеження застосування його при підвищеній вологості.

Поширеними є вогнезахисні фарби на основі органічних в'язучих і вогнезахисні просочення. На

особливу увагу заслуговує використання епоксиполімерних композицій як вогнезахисних покриттів. Такі покриття дедалі частіше застосовують для підвищення вогнестійкості елементів та конструкцій із металів, пластмас, деревини в різних спорудах промислового і цивільного будівництва, в транспортних засобах [7, 8]. У роботі [9] досліджено вогнезахист дерев'яних будівельних конструкцій при зміні вогнезахисного розчину, а в [10] розглянуто проблемні питання щодо термінів збереження ефективності вогнезахисту деревини, обробленої просочувальними вогнезахисними засобами та покриттями. Недоліком вогнезахисних просочень є обмежена можливість їх впливу на горючість деревини. Навіть глибоке просочення деревини не забезпечує дерев'яним конструкціям високу вогнестійкість. Використання вогнезахисних покриттів забезпечує більш широкі можливості, оскільки завдяки збільшенню їхньої товщини можна підвищити вогнестійкість дерев'яних конструкцій до декількох годин. Недоліком покриттів на основі органічних в'язучих є їх власна горючість, токсичність продуктів термодеструкції, висока вартість.

Дослідники [11] описують поведінку вогнезахисних засобів у момент формування теплоізоляційної структури. Вони встановили, що просочення характеризується розкладом антипіренів під дією температури з поглинанням тепла та виділенням негорючих газів, гальмуванням окиснення в газовій і конденсованій фазі та утворенням на поверхні деревини теплозахисного шару коксу.

Найбільш ефективними засобами вогнезахисту деревини є покриття, що спучуються.

У роботах [12] досліджено спучування покриттів, утворених вогнезахисними засобами, найбільш поширеними в Україні, за різних температурних режимів.

Покриття на основі рідкого скла та деяких інших компонентів при хімічній взаємодії з агресивними газами, що містяться в повітрі, можуть покриватися плямами і тріщинами, що погіршує їхні властивості. Тому на сьогодні існує потреба у покращенні якості захисту будівельних конструкцій від високих температур, що можна досягнути внаслідок модифікування їх поверхонь вогнезахисними покриттями з покращеними захисними властивостями, зокрема такими, які мають термо- і вогнезахисні, атмосферостійкі властивості, є надійними та довговічними в експлуатації і водночас економічно обґрунтованими [13].

Автори [14] досліджують ефективність вогнезахисних покриттів і експериментально доводять, що вона спрямована на створення

спучувальних вогнезахисних матеріалів, які діють за принципом істотного зниження теплопровідності утворених ними покриттів у результаті перетворення їх при інтенсивному тепловому впливі у пінококсіві шари. Ці шари значно відсувають в часі як момент загоряння горючих конструкцій з дерева, так і нагрівання протягом заданого часу конструкцій до неприпустимо високих температур, що знижує їхню конструкційну міцність.

Дослідники [15] беруть за основу покриття рідке скло, через те, що воно є доступним, а ще, розплавлене скло має в'язучі властивості і здатне до мимовільного твердіння з утворенням штучного силікатного каменю. Додавання в рідке скло таких компонентів як перліт, графіт і епоксидна смола, беручи до уваги їх позитивні характеристики щодо дії високих температур, дали можливість отримати новий вогнезахисний склад.

Основні результати. Вогнезахисну ефективність визначали на взірцях – прямокутних соснових брусках поперечного перерізу розмірами – 150 x 60 x 30 мм за методикою описано в ГОСТ 16363-98 «Засоби вогнезахисні для деревини. Методи визначення вогнезахисних властивостей» [4].

Дослідження проводилися для взірців оброблених такими вогнезахисними композиціями:

- композиція із рідкого натрієвого скла (80% мас. %) і базальтового волокна (20% мас. %);
- композиція із рідкого натрієвого скла (60...80% мас %), базальтового волокна (10...20% мас %) та з різним вмістом температуростійких оксидів (мас %): MgO (10...15%); TiO₂ (10...15%); Al₂O₃ (10%); ZnO (10%) (табл. 1).

У якості основного компоненту досліджуваних вогнезахисних покриттів використовували рідке натрієве скло із силікатним модулем 1,6÷3,5 (водний розчин силікату натрію). Його густина 1,36÷1,60 г/см³, масова частка двоокису кремнію – 24,8÷36,7%, масова частка оксиду натрію – 8,0÷13,3%.

В склад вогнезахисних композицій вводили базальтове волокно із діаметром 60...80 мкм. Як сировину для виробництва базальтових волокон, використовують базальтові гірські породи (базальт, базаніти, амфіболіти, габродіабази або їх суміші), середній хімічний склад яких такий (% за масою): SiO₂ (47,5...55,0); TiO₂ (1,36...2,0); Al₂O₃ (14,0...20,0); Fe₂O₃ + FeO (5,38...13,5); MnO (0,25...0,5); MgO (3,0...8,5); CaO (7,0...11,0); Na₂O (2,7...7,5); K₂O (2,5...7,5); P₂O₅ (не більше 0,5); SO₃ (не більше 0,5); інші породи (не більше 5). Їх виробництво базується на отриманні із розплаву базальтових гірських порід в плавильних печах і його вільному витіканні через спеціальні пристрої, які виготовлені з платини а бо жаростійких металів [16]. Матеріали на основі базальтового волокна є пористими, температуростійкими, паропроникними і хімічно, стійкими. Такі властивості дають можливість використовувати їх в складі вогнезахисних покриттів.

У склад вогнезахисних композицій вводили температуростійкі оксиди металів: магнію, титану, алюмінію та цинку [17].

Склади розроблених вогнезахисних композицій наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Склади композицій для вогнезахисних покриттів

№ з/п	Вміст натрієвого рідкого скла, мас. % за сухим залишком	Наповнювач, мас %					
		MgO	TiO ₂	Al ₂ O ₃	ZnO	Базальтове волокно	Товщина вогнезахисного покриву, мм
1	80	-	-	-	-	20	0,25
2	60	15	15	-	-	10	0,75
3	70	-	-	10	10	10	0,5
4	70	15	-	-	-	15	0,5
5	80	-	-	10	-	10	0,5
6	80	-	10	-	-	10	0,25
7	80	10	-	-	-	10	0,75
8	80	-	-	-	10	10	0,35
9	70	-	10	-	10	10	0,5

Склади композицій для вогнезахисних покриттів у співвідношеннях, вказаних у табл. 1, готували механічним диспергуванням у кульових млинах до тонини розмелювання, яка відповідає залишку на ситі з вічком 0,2 мм (№ 2) не більше 2% після просіювання.

Випробування проводили на 9 взірцях із порівняносухої деревини сосни густиною 500 кг/м³. Взірці деревини виготовляли у вигляді брусків з поперечним перерізом 30x60 мм і довжиною волокон 150 мм. Відхилення від розмірів не перевищувало ±1 мм. Бічна поверхня взірців оброблялась наждачним папером.

Зразки деревини перед нанесенням вогнезахисного покриття мали вологість (8±2)%. На зрізці деревини зі всіх сторін наносили пензликом випробовувані композиції рис. 1 і висушували протягом 24 год при кімнатній температурі близькій до 20⁰ С. Перед випробуванням оброблені і висушені зразки деревини випробовували в ексікаторі і зважували для визначення приросту маси з похибкою не більше 0,1 г (рис. 2) та визначали крайовий кут змочування, який знаходиться в межах 80...85 градусів, що підтверджує гідрофобність, атмосферостійкість. Результати випробувань вологостійкості та витрати сухої вогнезахисної речовини відображені в таблиці 2.



Рисунок 1 – Взірець деревини, який покритий вогнезахисною композицією №4

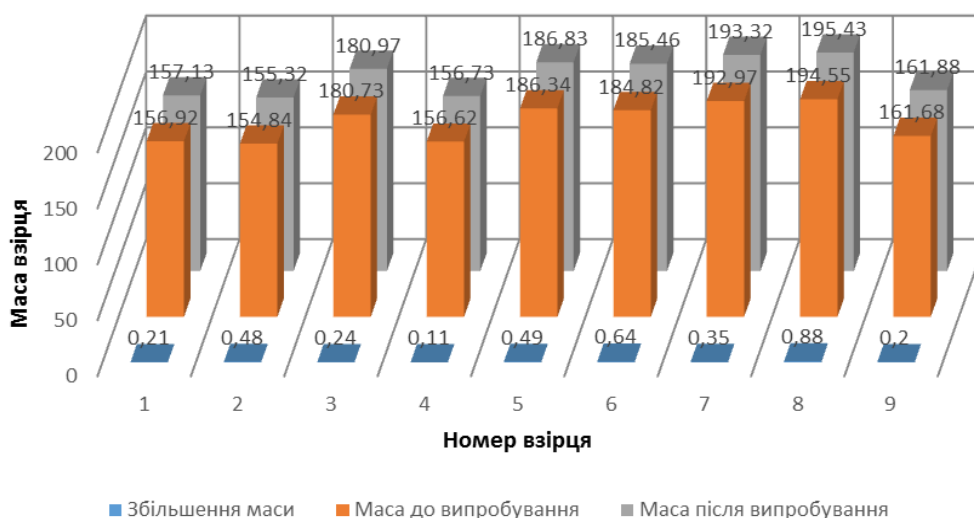


Рисунок 2 – Результати збільшення маси взірця при атмосферостійких випробуваннях

Витрату сухої вогнезахисної речовини обчислювали за формулою:

$$R_1 = \frac{m_1 - m_2}{F},$$

де: m_1 – маса взірця перед спалюванням, г;
 m_2 – маса взірця до нанесення покриття, г;
 F – площа поверхні взірця, м².

Таблиця 2

Результати випробувань вологостійкості та витрати сухої вогнезахисної речовини

№ покриття	маса зразка, г				витрата сухої вогнезахисної речовини, г/м ²
	до нанесення вогнезахисної речовини	після нанесення вогнезахисної речовини	після випробування вологостійкості	збільшення маси зразка після випробувань вологостійкості, г / %	
1	150,22	156,92	157,13	0,21/0,13	218,95
2	139,69	154,84	155,32	0,48/0,31	495,09
3	169,79	180,73	180,97	0,24/0,13	357,52
4	143,57	156,62	156,73	0,11/0,07	426,47
5	178,42	186,34	186,83	0,49/0,26	258,82
6	174,22	184,82	185,46	0,64/0,35	346,41
7	179,31	192,97	193,32	0,35/0,18	446,40
8	187,13	194,55	195,43	0,88/0,45	242,48
9	155,95	161,68	161,88	0,20/0,12	187,25

Для визначення вогнезахисної ефективності використовували установку, згідно з [4]. У цій установці регулювали витрату газу таким чином, щоб температура протягом 5 хв дорівнювала (200 ± 5) °С, після чого фіксували значення витрати газу за показами ротаметра.

При досягненні температури (200 ± 5) °С зонт відводили і взірець, який закріплений в тримачі, опускали в керамічний короб і одночасно вмикали секундомір. Потім зонт повертали в робоче положення. Взірець тримали в полум'ї пальника протягом 2 хв. Впродовж випробувань контролювали витрату газу. Через 2 хв подачу газу припиняли і залишали взірець охолоджуватись до кімнатної температури. Охолоджений взірець діставали з керамічного короба і зважували (рис.3-4).

Результати випробувань вогнезахисної ефективності відображені в таблиці 3.



Рисунок 3 – Взірець деревини, який покритий вогнезахисною композицією №4, після випробування

Таблиця 3

Результати випробувань вогнезахисної ефективності

№ покриття	температура в камері до введення зразка, °С	тривалість дії полум'я, с	маса зразка, г			
			до оброблення	після оброблення	після випробування	втрата маси зразка після випробувань, г / %
1	200	120	150,22	156,92	144,29	12,63/8,05
2	200	120	139,69	154,84	143,55	11,29/7,29
3	200	120	169,79	180,73	169,93	10,80/5,98
4	200	120	143,57	156,62	149,51	7,11/4,54
5	200	120	178,42	186,34	173,12	13,22/7,09
6	200	120	174,22	184,82	169,66	15,16/8,2
7	200	120	179,31	192,97	175,16	17,81/9,23
8	200	120	187,13	194,55	173,21	21,34/10,97
9	200	120	155,95	161,68	152,40	9,28/5,74

Втрату маси, %, обчислювали з точністю до 0,1% за формулою $P = \frac{(m_1 - m_2)}{m_1} \cdot 100$,

де: m_1 – маса взірця до випробування, г;
 m_2 – маса взірця після випробування, г.

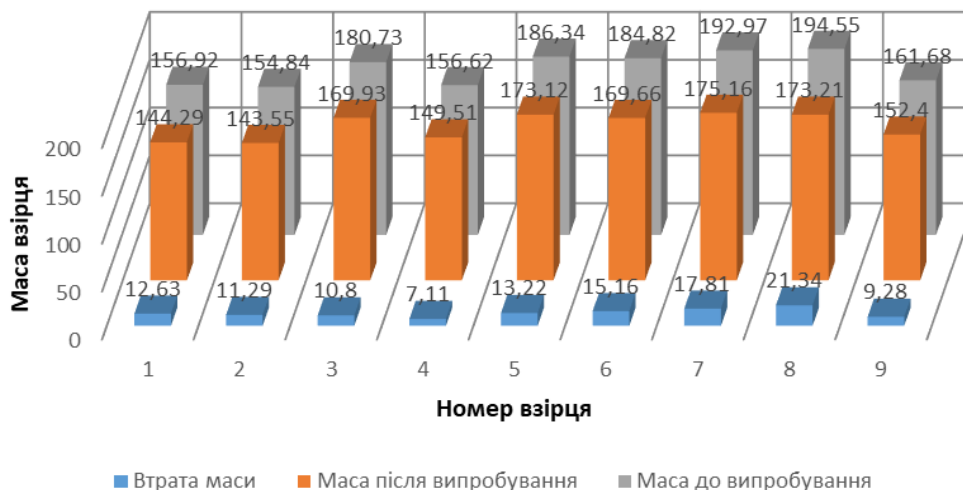


Рисунок 4 – Результати втрати маси взірця при вогневих випробуваннях

Залежно від втрати маси взірця можна встановити групу вогнезахисної ефективності, яка необхідна згідно з вимогами [19,19]. Згідно з ГОСТ 16363-98 при втраті маси взірця не більше 9% для засобу вогнезахисту встановлюють I групу вогнезахисної ефективності. Якщо втрата маси перевищує 9%, але не більша 25%, для засобу вогнезахисту встановлюють II групу вогнезахисної ефективності. При втраті маси більше 25% вважають, що даний засіб не забезпечує вогнезахист деревини.

Як показано (рис.4), всі досліджувані композиції забезпечують вогнезахист деревини. Однак, найбільш ефективним є склад №4, який складається із рідкого скла (70%), базальтового волокна (15%), MgO (15%), середнє значення втрати маси зразка якого становить 4,54% від загальної маси, що підтверджує важкозаймистість деревини та першу групу вогнезахисної ефективності, згідно з ГОСТ 16363-98.

Механізм дії досліджуваних вогнезахисних покриттів для деревини пояснюється теплоізоляцією, теплопоглинанням, інгібуванням процесу горіння в газовій фазі, розбавленням горючих продуктів термодеструкції і зміною механізму термодеструкції деревини. На початковому етапі впливу високих температур властиві процеси теплоізоляції і теплопоглинання. Надалі покриття піддається термодеструкції з утворенням газоподібних речовин, створюються спучені шари, які мають меншу теплопровідність у порівнянні з початковим матеріалом.

Висновок. У роботі досліджено атмосферо-температуро-вогнестійкі композиції на основі силікату натрію та наповнювачів із базальтового волокна і оксидів металів. Експериментально встановлено, що композиції на основі рідкого скла, базальтового волокна, і температуростійких оксидів металів (MgO, TiO₂, Al₂O₃, ZnO) можуть використовуватися як вогнезахисні покриття з атмосферо-вогнестійкими властивостями для дерев'яних будівельних конструкцій, забезпечуючи I групу вогнезахисної ефективності, для якої допускається втрата маси взірця до 9 %.

Встановлено, що найбільш ефективним є покриття на основі рідкого скла (70%), базальтового волокна (15%), оксиду MgO (15%). Температуростійкі оксиди металів і силікат натрію у складі покриття підвищують вогнестійкість – в умовах дій вогню, а силікат натрію його атмосферо-вогнестійкість в природних умовах. Отже, запропоновані покриття дають можливість перевести деревину з групи «горючої» до «помірно горючої».

Список літератури:

1. Tsapko, Y., Lomaha, V., Bondarenko, O. P., & Sukhanevych, M. (2020). Research of mechanism of fire protection with wood lacquer. In *Materials Science Forum* (Vol. 1006, pp. 32-40). Trans Tech Publications Ltd. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.1006.32>.
2. Mali, P., Sonawane, N. S., Patil, V., Lokhande, G., Mawale, R., & Pawar, N. (2022). Morphology of wood degradation and flame retardants wood coating technology: an overview. *International Wood Products Journal*, 13(1), 21-40. <https://doi.org/10.1080/20426445.2021.2011552>.
3. Веселівський Р.Б., Смоляк Д.В. (2021). Способи вогнезахисту металевих будівельних конструкцій. *Пожежна безпека*, 39, 63-76. <https://doi.org/10.32447/20786662.39.2021.08>.
4. ГОСТ 16363:1998. Засоби вогнезахисні для деревини. Методи визначення вогнезахисних властивостей. [Чинний від 1999-07-01]. Київ, 1999. 12 с. (Інформація та документація).
5. Чернуха А. А. Підвищення ефективності вогнезахисту деревини за допомогою гелеутворюючих складів на основі силікатів: автореф. дис. на здобуття наук ступеня к-та тех. наук: 21.06.02. Харків, 2013. 20 с.
6. Правила з вогнезахисту : наказ МВС України від 26.12.2018 р. № 1064. // База даних «Законодавство України» / ВР України. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0259-19#Text> (дата звернення: 17.08.2021).
7. Пастухов П.В., Кочубей В.В., Лавренюк О.І., Михалічко Б.М. (2019). Хімічностіжки вогнезахисні покриття на основі модифікованих купрум(II) карбонатом епоксіамінних композицій. *Пожежна безпека*, (34), 66-71. <https://doi.org/10.32447/20786662.34.2019.11>.
8. Пастухов П.В., Петровський В.Л., Лавренюк О.І., Михалічко Б.М. (2020). Ефективні антипірени епоксидних смол: синтез, будова, властивості. *Пожежна безпека*, 36, 101-107. <https://doi.org/10.32447/20786662.36.2020.11>.
9. Гаврилюк А.Ф., Гайдук М.О., Дуленко Д.І. (2021). Дослідження впливу взаємозаміни вогнезахисного засобу на зниження показників вогнезахисної ефективності дерев'яних будівельних конструкцій. *Пожежна безпека*, 39, 12-20. <https://doi.org/10.32447/20786662.39.2021.02>.
10. Дослідження строку придатності вогнезахисного покриву (просочення) вогнезахисних засобів для деревини/ В. М. Михайлов та ін. *Науковий вісник: Цивільний захист та пожежна безпека*. 2021, №2 (12). С. 4–10.
11. Цапко Ю. В., Цапко О.Я. Встановлення ефективності вогнезахисту деревини органічно-неорганічною композицією. *Науковий Вісник НЛТУ України*.2018, 28(5). С.88–92.

12. Беліков А.С., Шаломов В.А., Корж С.М., Рагімов С.Ю. Підвищення вогнестійкості дерев'яних будівельних конструкцій за рахунок зниження горючості деревини. *Строительство, материаловедение, машиностроение*. Вып. 98-2017 ISSN 2415-7031. С. 41–43.

13. Вовк С. Я. Вплив органосилікатного покриття на вогнестійкість дерев'яних будівельних конструкцій. *Збірник наукових праць ЛДУ БЖД. Пожежна безпека*. №28. 2016. С.13–17.

14. Беліков А.С., Шаломов В.А., Корж С.М., Рагімов С.Ю. Підвищення вогнестійкості дерев'яних будівельних конструкцій за рахунок зниження горючості деревини. *Строительство, материаловедение, машиностроение*. Вып. 98-2017 ISSN 2415-7031. С. 41–43.

15. Корж С.М., Шаранова Ю.Г., Карасьов О.Г. Вибір матеріалів для розробки захисних покриттів від впливу високих температур. *Строительство, материаловедение, машиностроение*. Вып. 105-2018 ISSN 2415-7031. С. 50–54.

16. Сергєєв В.П. Базальтові волокнисті матеріали та композити на їх основі – матеріали XXI століття *Наука та інновації*. 2005. Т 1. № 6. С. 91–101.

17. Опейда Й., Швайка О. Глосарій термінів з хімії. Ін-т фізико-органічної хімії та вуглехімії ім. Л. М. Литвиненка НАН України, Донецький національний університет. Донецьк: Вебер. 2008. 758 с.

18. ДБН В.1.1-7:2016 Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги. [Чинний від 2017-06-01]. Вид. офіц. Київ, Мінрегіон України. 2013. 41 с. (Інформація та документація).

19. Правила пожежної безпеки України: НАПБ А. 01.001-2014. [Чинний від 2014-01-01]. Київ: Офіційний вісник України, 2016. 91 с.

References:

1. Tsapko, Y., Lomaha, V., Bondarenko, O. P., & Sukhaneych, M. (2020). Research of mechanism of fire protection with wood lacquer. In *Materials Science Forum* (Vol. 1006, pp. 32-40). Trans Tech Publications Ltd. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.1006.32>.

2. Mali, P., Sonawane, N. S., Patil, V., Lokhande, G., Mawale, R., & Pawar, N. (2022). Morphology of wood degradation and flame retardants wood coating technology: an overview. *International Wood Products Journal*, 13(1), 21-40. <https://doi.org/10.1080/20426445.2021.2011552>.

3. Veselivskyy, R., & Smolyak, D. (2021). Methods of fire protection of metal building structures, 39, 63-76. <https://doi.org/10.32447/20786662.39.2021.08>.

4. HOST 16363:1998. *Zasoby vohnezakhysni dlya derevyny. Metody vyznachennya*

vohnezakhysnykh vlastyvostryey. [Chynnyy vid 1999-07-01]. Kyiv, 1999. 12 s. (Informatsiya ta dokumentatsiya).

5. Hernukha A. A. *Pidvyshchennya efektyvnosti vohnezakhystu derevyny za dopomohoyu heleutvoryuyuchykh skladiv na osnovi sylikativ: avtoref. dys. na zdobuttya nauk stupenya k-ta tekhn. nauk*: 21.06.02. Kharkiv, 2013. 20 s.

6. *Pravyla z vohnezakhystu* [Fire protection rules] (2017). Ofitsiyni vebсайт Verkhovnoi Rady Ukrainy. Retrieved from: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0259-19#Text> [in Ukrainian].

7. Pastuhov, P., Kochubei, V., Lavrenyuk, O., Mykhalichko, B. (2019). Chemically resistant flame retarding coatings based on epoxy-amine composites modified with copper(ii) carbonate. *Pozhezhna bezpeka*. (34), 66-71. <https://doi.org/https://doi.org/10.32447/20786662.34.2019.11>.

8. Pastukhov P.V., Petrovs'kyi V.L., Lavrenyuk O.I., Mykhalichko B.M. *Efektivni antypireni epoksydnykh smol: syntezy, budova, vlastyvostryey*. *Zbirnyk naukovykh prats' LDU BZHD. Pozhezhna bezpeka*. №36. 2020. S.101–107. <https://doi.org/10.32447/20786662.36.2020.11>.

9. Havryliuk, A., Haiduk M., & Dulenko, D. (2021). Study of the influence of change of fire protective agent on reduction of fire protection efficiency of wooden building structures. *Pozhezhna bezpeka*. 39, 12-20. <https://doi.org/10.32447/20786662.39.2021.02>.

10. *Doslidzhennya stroky prydatnosti vohnezakhysnoho pokryvu (prosochennya) vohnezakhysnykh zasobiv dlya derevyny / V.V. Mykhaylov ta in. Naukovyy visnyk: Tsyvil'nyy zakhyst ta pozhezhna bezpeka*. 2021, №2 (12). S. 4–10.

11. Tsapko YU. V., Tsapko O.YA. *Vstanovlennya efektyvnosti vohnezakhystu derevyny orhanoneorhanichnoyu kompozytsiyye*. *Naukovyy Visnyk NLTU Ukrayiny*. 2018, 28(5). S.88–92.

12. Byelikov A.S., Shalomov V.A., Korzh YE.M., Rahimov S.YU. *Pidvyshchennya vohnestiykosti derev'yanykh budivel'nykh konstruktсий za rakhunok znyzhennya horyuchosti derevyny. Budivnytstvo, materyalovedenye, mashynostroenye*. Вып. 98-2017 ISSN 2415-7031. С. 41–43.

13. Vovk S. YA. *Vplyv orhanosylikatnoho pokryttya na vohnestiykist' derev'yanykh budivel'nykh konstruktсий*. *Zbirnyk naukovykh prats' LDU BZHD. Pozhezhna bezpeka*. №28. 2016. S.13–17.

14. Byelikov A.S., Shalomov V.A., Korzh YE.M., Rahimov S.YU. *Pidvyshchennya vohnestiykosti derev'yanykh budivel'nykh konstruktсий za rakhunok znyzhennya horyuchosti derevyny. Budivnytstvo, materyalovedenye, mashynostroenye*. Вып. 98-2017 ISSN 2415-7031. С. 41–43.

15. Korzh YE.M., Sharanova YU.H., Karas'ov O.H. *Vybir materialiv dlya rozrobky zakhysnykh*

pokryttiv vid vplyvu vysokykh temperatur. Budivnytstvo, materyalovedenye, mashynostroenye. Vyp. 105-2018 ISSN 2415-7031.S. 50–54.

16. Serhyeyev V.P. Bazal'tovi voloknisti materialy ta kompozyty na yikh osnovi – materialy KHKHI stolittya Nauka ta innovatsiyi.2005.T 1.№ 6.S. 91–101.

17. Opeyda Y., Shvayka O. Hlosariy terminiv z khimiyi. In-t fizyko-orhanichnoyi khimiyi ta vuhlekhimiyi im.. L.V. M. Lytvynenka NAN Ukrayiny,

Donets'kyi natsional'nyi universytet. Donets'k: Veber. 2008. 758 s.

18. DBN V.1.1-7:2016 Pozhezhna bezpeka ob'yektiv budivnytstva. Zahal'ni vymohy. [Chynnyy vid 2017-06-01]. Vyd. ofits. Kyiv, Minrehion Ukrayiny. 2013. 41 s. (Informatsiya ta dokumentatsiya).

19. Pravyla pozhezhnoyi bezpeky Ukrayiny: NAPB A.V. 01.001-2014. [Chynnyy vid 2014-01-01]. Kyiv: Ofitsiyyny visnyk Ukrayiny, 2016. 91 s.

© С. Я. Вовк, О. Ю. Пазен, В. В. Придатко,
Н. О. Ференц, 2022.

Науково-методична стаття.

Надійшла до редакції 08.04.2022.

Прийнято до публікації 17.05.2022.