

Н.М. Лисак, аспірант

О.Б. Скородумова, д.т.н., професор

А.А. Чернуха, к.т.н., доцент

В.С. Калашнікова, курсант

Національний університет цивільного захисту України

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ФОСФОРВІСНИХ КОМПОНЕНТІВ НА ВЛАСТИВОСТІ ВОГНЕЗАХИСНОГО ПОКРИТТЯ ДЕРЕВИНИ

У більшості видів будівництва активно застосовуються дерев'яні конструкції, адже такі матеріали характеризуються екологічністю, міцністю, простотою обробки та відмінними теплоізоляційними властивостями. Однак деревина має суттєвий недолік, що може обмежити її використання, - висока горючість. Для покращення вогнестійкості деревини часто застосовуються захисні покриття інтумесцентного типу, що під дією високих температур здатні набухати і обмежувати доступ кисню, при цьому запобігаючи поширенню вогню. Протипожежні засоби захисту такого роду часто містять у своєму складі силікатні компоненти [1]. Основними аргументами при виборі цих сполук є їхня здатність витримувати високі температури без розкладання та втрати захисних властивостей, а також забезпечувати гарну адгезію до різних поверхонь. Останнім часом увагу дослідників все більше привертає золь-гель метод як один із перспективних напрямів одержання вогнезахисних покриттів із однорідною структурою та покращеною стійкістю до атмосферних впливів на основі кремнезему [2]. Прекурсорами при цьому часто виступають органосилани, які незважаючи на свою ефективність у сфері вогнезахисту, можуть бути небезпечними для довкілля. Відтак, розробка доступних нетоксичних вогнезахисних матеріалів для деревини є одним з пріоритетних завдань у галузі пожежної безпеки.

Порівняно дешевою сировиною, що застосовується для отримання кремнеземвмісних покриттів на основі золь-гель синтезу, є рідке скло. Серед його переваг також можна відзначити універсальність, екологічну безпечність та простоту використання в ході технологічного процесу - легкість змішування з водою та введення добавок для покращення функціональних властивостей покриття [3]. Відомо також про синергійний вплив кремній- та фосфорвмісних сполук у контексті забезпечення вогнестійкості деревини [4]. Цей аспект пояснюється формуванням енергетично і термічно стабільних силікофосфатних зв'язків [5].

Золі кремнезему зазвичай є стійкими в сильнокислому та сильнолужному середовищі, але обробка зразків такими композиціями може спричинити послаблення фізико-механічних властивостей деревини [6]. За результатами раніше проведених досліджень було встановлено, що задля отримання золів із високими показниками плинності в середовищі, близькому до нейтрального, доцільно використовувати буферні системи [7]. Зокрема, при змішуванні розчинів рідкого скла та оцтової кислоти можливе утворення буферної пари $\text{CH}_3\text{COOH} / \text{CH}_3\text{COO}^-$, що забезпечує підтримку рН в межах 5–6. Таке значення водневого показника є задовільним для отримання більш живучих золів SiO_2 низької концентрації.

Беручи до уваги важливість буферного ефекту та взаємний позитивний вплив кремнезему і фосфорвмісних антипіренів, доцільним та логічним було дослідження впливу фосфатних буферних розчинів на реологічні властивості золів SiO_2 та ефективність вогнезахисних властивостей силікофосфатних покриттів деревини.

Золі кремнієвої кислоти добували змішуванням розчинів рідкого скла та ацетатної кислоти. Фосфатні буферні розчини готували на основі NaH_2PO_4 та Na_2HPO_4 , досліджували вплив добавок з рН 6, 7 та 8, також варіювали об'ємну частку буферного розчину (15, 20 та 25 %).

Зміну оптичної густини в часі для композицій визначали за допомогою фотоколориметру КФК-2 при довжині хвилі 490 нм. Як розчин порівняння

використовували дистильовану воду. Отримані залежності вказували, що досліджувані композиції були плинними протягом більш тривалого періоду, порівняно із системами з добавками ортофосфатної кислоти, що були об'єктом вивчення раніше [8]. Було зафіксовано, що найвищу живучість мав золь з 15 %-ою об'ємною добавкою фосфатного буферного розчину з рН 7.

Для встановлення, наскільки повно фосфат-йони вбудовуються в силоксановий каркас, фотометрично визначали їх вміст в інтерміцелярних рідинах над експериментальними гелями, що застигли в закритих бюксах. При цьому застосовували молібденову суміш (розчини амоній молібдату, стибій (III) хлориду, сульфанілової та винної кислот) у присутності аскорбінової кислоти. Для усіх досліджуваних зразків масова частка PO_4^{3-} , що інтегруються в силоксанову структуру, перевищувала 97 %.

Групу вогнезахисної ефективності силікофосфатних покриттів визначали відповідно до стандарту ГОСТ 16363-98, клас горючості - за ДСТУ 8829:2019. Експериментальні зразки сосни звичайної розміром 9x6x3 см заздалегідь просушували при 100°C. Поверхню деревини обробляли золем кремнезему, модифікованим за допомогою ортофосфатної кислоти (11 % розчин) ванним методом. Наносили 2–3 шари, кожен з яких висувували при 80°C перед нанесенням наступного. Після цього покриті зразки додатково обробляли амонійним розчином гідрофосфату.

Установка для проведення вогневих випробувань представлена на рис. 1.

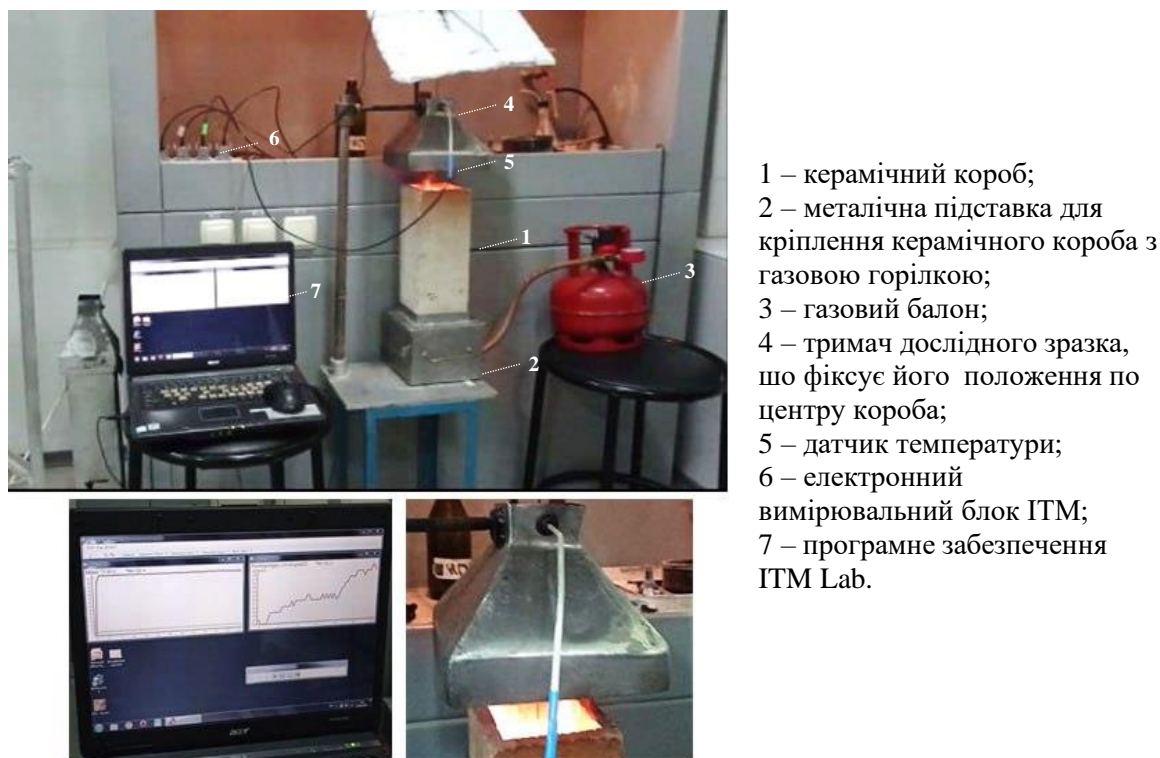


Рис. 1. Лабораторна установка для визначення ефективності вогнезахисних покриттів

Значення втрати маси зразків з одно- та двошаровим покриттям не перевищували 9 %, що відповідає I групі вогнезахисної ефективності покриття. Для зразків деревини з одношаровим покриттям максимальний приріст температури газоподібних продуктів горіння становив < 60 °С, втрата маси зразка < 60 %, тому згідно з ДСТУ 8829:2019 такі матеріали є важкогорючими. Для зразків, вкритих двома шарами золью $\Delta t_{\text{max}} > 60$ °С, при цьому час досягнення $t_{\text{max}} < 240$ с, але > 30 с – такі експериментальні моделі належать до матеріалів середньої займистості. Отже, кращу вогнестійкість забезпечувало одношарове покриття.

Реологічні властивості досліджених буферованих золів кремнієвої кислоти були задовільними для якісного нанесення покриття на поверхню будівельного матеріалу та забезпечення однорідності його структури, а силікофосфатні покриття на основі H_3PO_4 показали високу вогнестійкість. Тому можна прогнозувати гарні показники вогнезахисної ефективності для систем, модифікованих фосфатними буферними розчинами. Це питання стане об'єктом подальших досліджень.

ЛІТЕРАТУРА

1. Kwang Yin J.J., Yew M.C., Yew M.K., Saw L.H. Preparation of Intumescent Fire Protective Coating for Fire Rated Timber Door. *Coatings*. 2019. Vol. 9. № 11. P. 738. doi: 10.3390/coatings9110738
2. Mastalska-Popławska J., Pernechele M., Troczynski T., Izak P. Thermal properties of silica-coated cellulose fibers for increased fire-resistance. *Journal of Sol-Gel Science and Technology*. Vol. 3. № 83. P. 683–691. doi: 10.1007/s10971-017-4445-5
3. Wright J. D., Sommerdijk N. A. J. M. *Sol-Gel Materials*. In CRC Press eBooks. 2018. doi: 10.1201/9781315273808
4. Tang Y. Inhibition effect of phosphorus flame retardants on the fire disasters induced by spontaneous combustion of coal. *Journal of Spectroscopy*. 2017. P. 1–10. doi: 10.1155/2017/7635468
5. Imperato C., Bifulco A., Malucelli G. Solids containing Si-O-P bonds: is the hydrolytic sol-gel route a suitable synthesis strategy? *Journal of Sol-Gel Science and Technology*. 2023. doi: 10.1007/s10971-023-06241-4
6. Skorodumova O., Chebotareva O., Sharshanov A., Chernukha A. Selection of precursors of safe silica-based fireproof coatings for textile materials. *Problems of Emergency Situations*. 2023. Vol. 1. № 37. P. 192–202. doi: 10.52363/2524-0226-2023-37-14
7. Skorodumova O., Tarakhno O., Chebotareva O., Bajanova K. Silicon protective coatings for textile materials based on liquid glass. *Problems of Emergency Situations*. 2022. Vol. 1. № 35. P. 109–119. doi: 10.52363/2524-0226-2022-35-8
8. Lysak N., Skorodumova O., Chernukha A. Development of a fire-proof coating containing silica for polystyrene. *Problems of Emergency Situations*. 2023. Vol. 2. № 38. P. 192–202. doi: 10.52363/2524-0226-2023-38-10

N.M. Lysak, postgraduate
O.B. Skorodumova, DSc, Professor
A.A. Chernukha, PhD, Associate Professor
V.S. Kalashnikova, cadet
National University of Civil Defence of Ukraine

STUDY OF THE INFLUENCE OF PHOSPHORUS-CONTAINING COMPONENTS ON THE PROPERTIES OF THE FIREPROOF COATING OF WOOD

Abstract. The rheological properties of silicic acid sols with additions of a phosphate buffer solution with pH 6, 7, and 8 (volume fraction of 15, 20, and 25%) were studied. The highest survivability of the sol buffered with a pH 7 solution (volume fraction of the additive was 15%) was recorded. The fact of incorporation of phosphate ions in the gel structure was confirmed by the results of photometric determination by the molybdenum method.

The 1st group of fire-resistant efficiency of silicophosphate coating obtained based on silica sol with additives of orthophosphate acid was established. It was determined that the best indicators of fire resistance are given by a single-layer coating of the studied composition.