



Цапко Ю. В.



Бондаренко О. П.



Цапко О. Ю.



Жеребчук Д. С.

Цапко Ю. В., доктор технічних наук, професор, Київський національний університет будівництва і архітектури, Повітрофлотський пр., 31, м. Київ, Україна, ✉ juriyts@ukr.net ☎ +38 (097) 081 84 14 ORCID ID: 0000-0003-0625-0783,

Бондаренко О. П., кандидат технічних наук, доцент, Київський національний університет будівництва і архітектури, Повітрофлотський пр., 31, м. Київ, Україна, ✉ bondolya3@gmail.com ☎ +38 (097) 683 68 85 ORCID ID: 0000-0002-8164-6473

Цапко О. Ю., кандидат технічних наук, доцент, Київський національний університет будівництва і архітектури, Повітрофлотський пр., 31, м. Київ, Україна, Український державний науково-дослідний інститут "Ресурс", м. Київ, Україна ✉ alekseytsapko@gmail.com ☎ +38 (067) 847 40 27 ORCID ID: 0000-0003-2298-068X

Жеребчук Д. С., студент, ☎ +38068047-43-99, ORCID ID: 0000-0002-7174-132X Київський національний університет будівництва і архітектури, Повітрофлотський пр., 31, м. Київ, Україна

Yu. Tsapko, Doctor of Technical Sciences, Professor, Kyiv National University of construction and architecture, ave. Povitroflotskyi Prospect, 31, 03037, Kyiv, Ukraine, ✉ juriyts@ukr.net ☎ +380970818414 ORCID ID: 0000-0003-0625-0783,

O. Bondarenko, PhD of Technical Sciences, Associate professor, Kyiv National University of construction and architecture, ave. Povitroflotskyi Prospect, 31, 03037, Kyiv, Ukraine, ✉ bondolya3@gmail.com ☎ +38 (097) 683 68 85 ORCID ID: 0000-0002-8164-6473

A. Tsapko, PhD of Technical Sciences, Associate professor, Kyiv National University of construction and architecture, ave. Povitroflotskyi Prospect, 31, 03037, Kyiv, Ukraine, Ukrainian State Research Institute "Resource", Kyiv, Ukraine ✉ alekseytsapko@gmail.com ☎ +38 (067) 847 40 27 ORCID ID: 0000-0003-2298-068X

D. Zerebchuk, student, ☎ +38068047-43-99, ORCID ID: 0000-0002-7174-132X Kyiv National University of construction and architecture, ave. Povitroflotskyi Prospect, 31, 03037, Kyiv, Ukraine

ВСТАНОВЛЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВОГНЕЗАХИСТУ ДЕРЕВИНИ КОМПОЗИЦІЄЮ НА ОСНОВІ ПОЛІФОСФАТУ АМОНІЮ

DETERMINATION OF THE EFFICIENCY OF FIRE PROTECTION OF WOOD BY A COMPOSITION BASED ON AMMONIUM POLYPHOSPHATE

Анотація. Проведено експериментальні дослідження з визначення ефективності вогнезахисту композицій із застосуванням експериментальних зразків поліфосфату амонію та встановлено, що вогнезахисна деревина відноситься до важкогорючих матеріалів. Показано, що експериментальні зразки деревини після оброблення композицією із застосуванням поліфосфату амонію та поліфосфату амонію, термостабілізованого поліфосфатом меламіну, за ефективністю вогнезахисту відносяться до матеріалів першої групи ефективності (важкогорючі матеріали). Досліджувана композиція забезпечує ефективність вогнезахисту відповідно для об'єктів I...V класів. За результатами експериментальних досліджень, встановлено, що застосування гідрофобізуючих сумішей «Сілол» затримує проникнення та накопичення води вогнезахисною деревиною. Виявлено також підвищення вогнезахисної ефективності вогнезахисної деревини під час спільної дії «ДСА-2» та гідрофобізуючої суміші «Сілол» після оброблення зразків.

Ключові слова: деревина, горючість, композиція, вогнезахист, поліфосфат амонію, покриття.

Abstract. Experimental studies were conducted to determine the effectiveness of fire protection of compositions using experimental samples of ammonium polyphosphate and it was established that fire-resistant wood belongs to non-flammable materials. It is shown that experimental wood samples after treatment with a composition using ammonium polyphosphate and ammonium polyphosphate heat-stabilized with melamine polyphosphate belong to the materials of the first efficiency group (flammable materials) in terms of fire protection efficiency. The studied composition provides fire protection efficiency, respectively, for objects of classes I...V. According to the results of experimental studies, it was established that the use of "Silol" hydrophobic mixtures delays the penetration and accumulation of water in fire-resistant wood. An increase in the fire-resistant efficiency of fire-resistant wood during the joint action of "DSA-2" and the hydrophobizing mixture "Silol" after processing the samples was also revealed. The atmospheric resistance of fire-resistant wood as a result of the joint action of the composition was investigated using experimental samples of ammonium polyphosphate and ammonium polyphosphate heat-stabilized with melamine polyphosphate and the "Silol" mixture.

Keywords: wood, flammability, composition, fire protection, ammonium polyphosphate, coating.

Вступ

Вогнезахист деревини та виробів з неї шляхом нанесення на поверхню лаків, фарб і емалей є одним із профілактичних засобів горіння деревини. Така деревина залежно від ефективності покриття та його товщини, може класифікуватися як важкозаймиста або важкогорюча. Більш ефективними вогнезахисними покриттями є такі, що спучуються, утворюючи бар'єр для теплопровідності [1].

Покриття складається із в'язучої речовини та наповнювачів, внаслідок чого його фізико-хімічні властивості залежать від індивідуальних характеристик і співвідношення компонентів, що входять у покриття. Вишальний вплив на загальні властивості покриття здійснюється завдяки взаємодії в'язучих речовин та наповнювачів, тому правильний підбір компонентів покриття є важливим завданням при відпрацюванні його



рецептури. Значення такого підбору полягає не тільки в забезпеченні вогнезахисних властивостей. Покриття в умовах експлуатації повинне відповідати ряду додаткових вимог, до числа яких відносяться: водонепроникність, водостійкість, еластичність, міцність, зчеплення з матеріалом, який захищається, атмосферостійкість тощо [2].

Рішення такого комплексного завдання теоретичним шляхом представляє значні труднощі, а підбір компонентів для вогнезахисного покриття здійснюється в основному дослідним шляхом.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

За останні три десятиліття вогнезахисні покриття, що спучуються, набули широкого застосування в багатьох країнах. Це пояснюється їхньою низькою теплопровідністю в умовах пожежі внаслідок утворення дрібнопористого вугільного шару покриття, що запобігає прогріванню деревини, подовжуючи фазу її підготовки до активної участі в процесі горіння. Під час спучування відбувається розм'якшення складових з одночасним ендотермічним розкладанням антипіренів і газоутворювачів, що спричиняє вогнезахисні властивості покриття, яке спучується [3].

В роботі [4] показано застосування вогнезахисних фарб, що спучуються, а саме «Пролан-64», «Альберт ДС», «ДС-463», «ВПД», для захисту як деревини, так і конструкцій з неї. До складу фарб, які спучуються, входили сечовино-формальдегідна смола, фосфорнокислий амоній, дициандіамід, а також речовини, що містять елементи кремнію, титану з домішками заліза й алюмінію. Основними компонентами для їхнього приготування були карбамідні смоли.

Розроблена вогнезахисна фарба, що спучується, «ВПД» [4] дозволила перевести деревину в групу важкогорючих матеріалів. Зазвичай вона мала вигляд оздоблювальної водоемульсійної фарби. Однак, згідно з вимогами обробки інтер'єрів вогнезахисні покриття повинні збері-

гати текстуру деревини, тобто мати консистенцію лакових покриттів, що спучуються й обвуглюються при нагріванні.

В роботах [5–7] показано можливість створення вогнезахисних покриттів, що спучуються. Дослідження тривали в напрямку розширення асортименту з використанням нової, більш ефективної сировини й удосконалювання його властивостей. Так, було розроблено вогнезахисне покриття «ВПМ 3», до складу якого входив новий антипірен «Факкор», який відрізнявся від тих, що використовувались раніше ортофосфатів, зниженою розчинністю й полімерною будовою, яка забезпечується більше високим вмістом у його складі фосфору й азоту. Термічні перетворення «Факкор», що характеризуються поглинанням тепла в інтервалі 199...412 °С, дозволили використати цей антипірен не тільки в покриттях, але й для зниження горючості матеріалів, що вимагають технологічної переробки за підвищених температур.

Як показали дослідження [7], під час впливу полум'я спучування покриття «ВПМ-3» відбувалося більш інтенсивно, тому для досягнення однакової вогнестійкості металевих конструкцій (0,75 год) витрата покриття «ВПМ-3» була в 1,5 рази менше, ніж покриття «ВПМ-2». Товщина сухого покриття «ВПМ-3» становила 2...2,5 мм. Досвід його експлуатації протягом чотирьох років на металоконструкціях горючих приміщень в умовах поперемінного впливу негативних і позитивних температур, а також високої вологості в окремі сезонні періоди показав відсутність змін у стані покриття, що дозволило рекомендувати його для застосування в неопалюваних приміщеннях з перепадом температур і підвищеною вологістю.

Однак, промислове виробництво «ВПМ-3» стримувалося недостатнім обсягом виробництва антипірену «Факкор». Одним з дефіцитних видів сировини в покриттях, що спучуються, з'явився мелем (триаміногептазин). Його виробництво також обмежило випуск «ВПМ-2», «ВПМ-3», «ВПД». У зв'язку із цим були проведені дослідження з його заміни зі збереженням вогнезахисної ефек-

тивності покриттів. Мелом виконував функції термостійкого наповнювача, тому що його термічні перетворення супроводжувалися утворенням більш конденсованої структури, стійкої до розкладання до температури більше 700 °С. Ця властивість дуже важлива для стійкості спіненого вугільного шару до тривалого впливу високої температур.

В роботах [8–10] проведено дослідження з підбору вогнезахисних засобів, що сплучуються, на основі рідкого натрієвого скла та вивчено їхні властивості. Проведені дослідження дозволили розробити засоби для захисту дерев'яних поверхонь від швидкого прогріву при пожежі за рахунок ефекту спучування покриття. Нажаль через певний термін часу покриття втрачає адгезійну здатність до деревини і починає обсипатися. Ремонтна здатність покриттів дуже складна. Такі недоліки найбільш притаманні вогнезахисному покриттю «Сіофарб», основним компонентом якого є силікат натрію (рідинне скло). Також під час розроблення цього покриття не були враховані фізико-хімічні властивості силікату натрію, який під дією оксиду вуглецю, як ангідриду більш сильної вугільної кислоти, переходить у карбонат натрію з утворенням оксиду кремнію. Ось чому покриття «Сіофарб» мав дуже обмежений термін експлуатації.

Метою роботи є дослідження ефективності вогнезахисту деревини експериментальною композицією на основі поліфосфату.

Сировинні матеріали та методи досліджень

З метою створення вітчизняних покриттів для деревини були проведено комплекс досліджень щодо отримання та застосування дослідних зразків поліфосфату амонію в якості антипіренів.

В результаті проведених досліджень було розроблено технологічний процес синтезу поліфосфату амонію з сечовини та моноамонійфосфату, які використовуються основними компонентами сплучуючих вогнезахисних покриттів та встановлено можливість їх виготовлення із застосуванням вітчизняної виробничої та сировинної бази.

Для визначення ефективності вогнезахисту деревини проведено випробування із застосуванням експериментальних зразків поліфосфату амонію та поліфосфату амонію, термостабілізованого поліфосфатом мелаїну, згідно з [5]. Антипірени вводили в композицію, яка складалася з наступних компонентів: водний розчин полімеру карбоксиметилцелюлози (КМЦ), модифікований крохмаль, гідроксид алюмінію, сечовина, полівінілацетат (ПВА). Витрата композиції в перерахунку на безводну частину становила 0,36...0,38 кг/м².

Основний матеріал і результати

Для встановлення ефективності вогнезахисту було проведено послідовну обробку експериментальних зразків деревини композицією із застосуванням поліфосфату амонію та поліфосфату амонію, термостабілізованого поліфосфатом мелаїну. Результати досліджень наведено в табл. 1.

Результати табл. 1, засвідчують, що експериментальні зразки деревини після оброблення композицією із застосуванням поліфосфату амонію та поліфосфату амонію, термостабілізованого поліфосфатом мелаїну за ефективністю вогнезахисту відносяться до матеріалів першої групи ефективності (важкогорючі матеріали).

Досліджувана композиція забезпечує ефективність вогнезахисту відповідно для об'єктів I...V класів. Проте для об'єктів VI...X класів, де джерелами зволоження є водяний конденсат і атмосферні опади, застосування її обмежено здатністю до вимивання та потребує додаткових технологічних і технічних рішень [7].

Перспективним напрямком досліджень є підвищення вогнестійкості дерев'яних будівельних конструкцій та збільшення їх довговічності за допомогою гідрофобізуючих сумішей «Сілол». За результатами експериментальних досліджень, проведених в [7] встановлено, що застосування гідрофобізуючих сумішей «Сілол» затримує проникнення та накопичення води вогнезахисною деревиною. Виявлено також підвищення вогнезахисної ефективності вогнезахисної деревини під час спільної дії ДСА-2 та гідрофобізуючої суміші «Сілол» після оброблення зразків.

З метою визначення вогнезахисної властивості атмосферостійкої композиції із застосуванням експериментальних зразків поліфосфату амонію та поліфосфату амонію, термостабілізованого поліфосфатом мелаїну, та суміші «Сілол» для деревини, проведено експериментальні дослідження з визначення вогнезахисної ефективності згідно з [5]. Результати досліджень наведено на рис. 1.

На рис. 1 зображено результати 1', 3', 2', 4' — при однократному нанесенні композиції та 1, 2, 3, 4 — при двократному нанесенні композиції.

При проведенні досліджень антипірени вводили в композицію, яка складалася з наступних компонентів: гідрофобізуючої суміші «Сілол», модифікованого крохмалю, гідроксиду алюмінію, полівінілацетату (ПВА). Витрата композиції в перерахунку на безводну частину становила при однократному нанесенні – 0,3...0,31 кг/м², а при двократному – 0,49...0,51 кг/м².

Як видно з рис. 1 при однократному нанесенні композиції на деревину ефективність її вогнезахисту відповідає групі ІВ, а при двократному обробленні – ІВ відповідно до [6].

Таблиця 1.

Ефективність вогнезахисту експериментальних зразків деревини шляхом послідовної обробки композицією поліфосфатом амонію та поліфосфатом амонію, термостабілізованим поліфосфатом мелаїну

Серія зразків	Середня витрата композиції, кг/м ²	Максимальна температура димових газів, °С	Середня втрата маси, %	Група ефективності вогнезахисту за [6]
поліфосфат амонію	0,376	220	8,6	ІВ
поліфосфат амонію, термостабілізований поліфосфатом мелаїну	0,378	230	8,8	ІВ

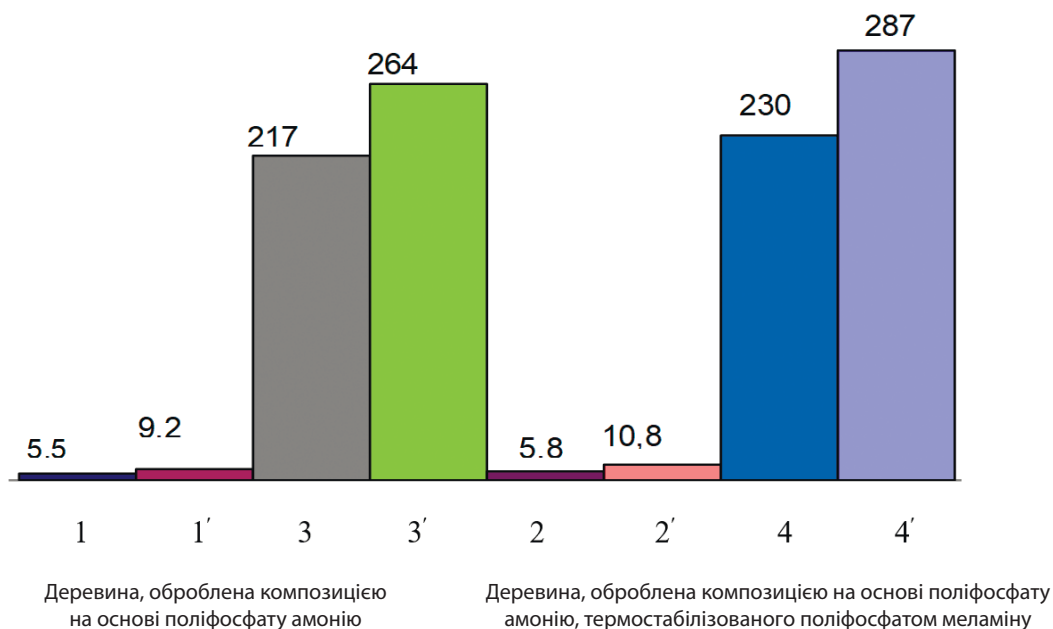


Рис. 1. Результати втрати маси зразків Δm , % (1, 1', 2, 2') та максимального приросту температури газоподібних продуктів горіння Δt , °C (3, 3', 4, 4')

Таким чином, в результаті проведених експериментальних досліджень виявлено вогнезахисну ефективність та атмосферостійкість вогнезахисної деревини в наслідок спільної дії композиції із застосуванням експериментальних зразків поліфосфату амонію та поліфосфату амонію, термостабілізованого поліфосфатом меламіну, та суміші «Сілол».

Висновки та перспективи подальших розроблень

В результаті проведених досліджень виявлено вогнезахисну ефективність та атмосферостійкість вогнезахисної деревини в наслідок спільної дії композиції з застосуванням експериментальних зразків поліфосфату

амонію та поліфосфату амонію термостабілізований поліфосфатом меламіну та суміші «Сілол» після обробки зразків.

Показано, що експериментальні зразки деревини після оброблення композицією із застосуванням поліфосфату амонію та поліфосфату амонію, термостабілізованого поліфосфатом меламіну, за ефективністю вогнезахисту відносяться до матеріалів першої групи ефективності (важкогорючі матеріали). Досліджувана композиція забезпечує ефективність вогнезахисту відповідно для об'єктів I...V класів.

Подальші дослідження можуть бути спрямовані на встановлення взаємозв'язку між складовими та властивостями вогнезахисних композицій, а також їх оптимізацію.

Література:

1. Tsapko Yu., Tsapko A. Establishment of fire protective effectiveness of reed treated with an impregnating solution and coatings. *Eastern-European Journal Enterprise Technologies*. 2018, Vol. 4, № 10 (94), p. 62–68. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.141030>.
2. Tsapko Yu., Bondarenko O., Tsapko A. Effect of a flame-retardant coating on the burning parameters of wood samples. *Eastern-European Journal Enterprise Technologies*. 2019, Vol. 2, № 10 (98), p. 49–54. DOI: 10.15587/1729-4061.2019.163591. <http://journals.uran.ua/eejet/article/view/163591/165012>.
3. Tsapko Yu., Tsapko A., Bondarenko O. Establishment of heat-exchange process regularities at inflammation of reed samples. *Eastern-European Journal Enterprise Technologies*. 2019, Vol. 1, № 10 (97), p. 36–42. DOI: 10.15587/1729-4061.2019.156644. <http://journals.uran.ua/eejet/article/viewFile/156644/157209>.
4. Krüger S., Gluth G.J.G., Watolla M.B., Morys M., Häßler D., Scharrel B. Neue Wege: Reaktive Brandschutzbeschichtungen für Extrembedingungen. *Bautechnik*. 2016, Vol. 93, Issue 8, p. 531–542.
5. Gaff M., Kačič F., Gašparík M., Makovická Osvaldová L., Čekovská H. The effect of synthetic and natural fire-retardants on burning and chemical characteristics of thermally modified teak (*Tectona grandis* L. f.) wood. *Construction and Building Materials*. 2019, Vol. 200, p. 551–558.
6. Dr. Simone Krüger, Dr.-Ing. Gregor J. G. Gluth, Marie-Bernadette Watolla, Michael Morys, Dustin Häßler and Dr. Bernhard Scharrel Neue Wege: Reaktive Brandschutzbeschichtungen für Extrembedingungen. *Bautechnik*. 2016, Vol. 93, Issue 8, p. 531–542.
7. Na Xiao, Xue Zheng, Shuping Song, Junwen Pu Effects of Complex Flame Retardant on the Thermal Decomposition of Natural Fiber. *United States: BioResources*. 2014, Vol. 9, Issue 3, p. 4924–4933.
8. Md J. Nine, Diana N. H. Tran, Tran Thanh Tung, Shervin Kabiri, and Dusan Losic Graphene-Borate as an Efficient Fire Retardant for Cellulosic Materials with Multiple and Synergetic Modes of Action. *School of Chemical Engineering, The University of Adelaide, ACS Appl. Mater. Interfaces, Australia*. 2017, Vol. 9 (11), p. 10160–10168.
9. 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.
10. Carosio F., Kochumalayil J., Cuttica F., Camino G., Berglund L. Oriented Clay Nanopaper from Biobased Components Mechanisms for Superior Fire Protection Properties. *Washington: ACS Appl. Mater. Interfaces*. 2015, Vol. 7 (10), p. 5847–5856.



НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЛАБОРАТОРІЯ ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА БУДІВЕЛЬНОЇ КЕРАМІКИ

ВИКОНУЄ РОЗРОБКИ:

- технології виробництва керамічних стінових, архітектурно – оздоблювальних, санітарних, фарфорових і клінкерних виробів на основі глинистої сировини природного та техногенного походження;
- інвестиційних проектів на виробництво керамічних будівельних матеріалів різного призначення;
- нормативних документів (стандарти, технічні умови) на будівельні матеріали та вироби і технологічної документації (вихідні дані для проектування, технологічний регламент) на виробництво керамічних стінових, архітектурно-оздоблювальних і клінкерних виробів на основі глинистої сировини природного та техногенного походження.

ПРОВОДИТЬ:

- дослідження хіміко-мінералогічного складу та кераміко-технологічних властивостей глинистої сировини природного та техногенного походження;
- підбір технологічного обладнання для виробництва керамічних стінових матеріалів;
- диференційно-термічний аналіз матеріалів;
- визначення теплопровідності теплоізоляційних і стінових матеріалів;
- визначення допустимої температури використання теплоізоляційних матеріалів;
- маркетингові дослідження ринку керамічних стінових і архітектурно-оздоблювальних матеріалів, клінкерних керамічних матеріалів;
- аналіз ринку глинистої сировини, відходів гірничовидобувної промисловості та матеріалів техногенного походження;
- сертифікаційні випробування керамічних стінових і архітектурно-оздоблювальних виробів.



Старший науковий співробітник

**ДМИТРЕНКО
НАТАЛІЯ ДАНИЛІВНА**

☎ +38 (050) 411 51 84
☎ +38 (067) 507 11 61

e-mail:

ndibmv@ukr.net