

УДК 614.842

DOI: <https://doi.org/10.31731/2524.2636.2023.7.2.19.28>

Андрій БЕРЕЗОВСЬКИЙ¹, кандидат технічних наук, доцент
(ORCID: 0000-0002-4043-1206),

Богдан КОПИЛ¹ (ORCID: 0000-0002-2995-3927),

Іван ІЩЕНКО¹ (ORCID: 0009-0000-5050-4926),

Наталія САЄНКО², кандидат технічних наук, (ORCID: 0000-0003-4873-5316),

¹Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля

Національного університету цивільного захисту України,

²Національний університет цивільного захисту України

ВПЛИВ СПІВВІДНОШЕННЯ ВОГНЕЗАХИСНИХ КОМПОНЕНТІВ НА ВОГНЕЗАХИСНУ ЕФЕКТИВНІСТЬ ПОКРИТТІВ МЕТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ НА ВОДНІЙ ОСНОВІ

Створення полімерних вогнезахисних покриттів для металевих конструкцій завжди було і залишається одним із пріоритетних напрямків протипожежного захисту будівель та споруд, так як матеріальні затрати на відновлення після пожежі багатократно перевищують затрати на профілактичні заходи з вогнезахисту.

Крім забезпечення властивостей, необхідних для більшості лакофарбових матеріалів, плівкоутворюючий компонент повинен розкладатися в правильному температурному діапазоні разом з іншими вогнезахисними компонентами, щоб змогли пройти хімічні реакції, в результаті яких утворюється пінокок. Більше того, воно повинно мати не дуже низьку в'язкість розплаву, щоб не призвести до сповзання розплавленого вогнезахисного покриття в процесі піноутворення, і не надто високу, щоб не заважати створенню піни.

В результаті проведених експериментальних досліджень по визначенню коефіцієнту спучування, його міцності та групи вогнезахисної ефективності розроблених вогнезахисних покриттів на основі стирол-акрилової водної дисперсії від вмісту вогнезахисних компонентів. Встановлено, що всі дослідні покриття мають першу групу вогнезахисної ефективності. Пінокок, сформований компонентами ПФА 25 мас.%, ПЕ 15-25 мас.%, $Al(OH)_3$ 40 мас.% має пористу структуру, рівномірні, щільні і невеликі осередки, без мікротріщин і великих порожнин, що забезпечує кращі ізоляційні властивості.

Ключові слова: вогнезахисні покриття, металеві конструкції, водна основа покриттів, вогнезахист металу, захист металу від пожежі.

Постановка проблеми. Створення полімерних вогнезахисних покриттів для металевих конструкцій завжди було і залишається одним із пріоритетних напрямків протипожежного захисту будівель та споруд, так як матеріальні затрати на відновлення після пожежі багатократно перевищують затрати на профілактичні заходи з вогнезахисту. Необхідність проведення протипожежного захисту будівель та споруд визначається відповідно до діючих в Україні норм, зокрема, ДБН В.1.1-7:2016, ДБН В.1.2-7-2008. Одним з основних методів підвищення вогнестійкості конструкцій з металу є застосування пасивного вогнезахисту – матеріалів, що збільшують час збереження несучої здатності будівельних конструкцій в умовах пожежі [1–5].

Найбільш поширеними вогнезахисними засобами, що масово застосовуються у світовій практиці, є тонкошарові інтумесцентні реактивні матеріали. Механізм вогнезахисної дії інтумесцентної системи полягає в утворенні вуглецевого спученого шару, що діє як бар'єр для тепла, кисню та продуктів піролізу. Збільшуючись в об'ємі та

зменшуючись за щільністю, такі покриття сповільнюють нагрівання сталі та продовжують час до руйнування металоконструкції [6–10].

Роль полімерного плівкоутворювача визначається вимогами до фізико-хімічних, експлуатаційних та вогнезахисних властивостей лакофарбових покриттів (ЛФП). Незважаючи на те, що органорозчинні покриття відповідають поточним європейським вимогам щодо вмісту легких органічних сполук (ЛОС), ринковий попит зміщується у бік водно-дисперсійних лакофарбових матеріалів (ВД), особливо у разі їх застосування на будівельному майданчику, де емісія ЛОС може спричинити певні проблеми. Застосування ВД дозволяє знизити вимоги до охорони праці, пожежо- та вибухонебезпечність фарбувальних робіт. Такі матеріали вирішують завдання не тільки декоративного оздоблення будівель та споруд, але й захищають конструкції від дії вологи, сонячного світла, механічних чи хімічних ушкоджень [11, 12].

Основні принципи побудови рецептур тонкошарових вогнезахисних фарб аналогічні рецептурам лакофарбових матеріалів: плівкоутворювач, наповнювачі, пігменти (якщо необхідно), реологічні добавки, сикативи (отверджувачі). Головна відмінність – наявність антипірену, що відповідає за процес утворення пінококсу [13–15].

Крім забезпечення властивостей, необхідних для більшості лакофарбових матеріалів, плівкоутворюючий компонент повинен розкладатися в правильному температурному діапазоні разом з іншими вогнезахисними компонентами, щоб змогли пройти хімічні реакції, в результаті яких утворюється пінококс. Більше того, він повинен мати не дуже низьку в'язкість розплаву, щоб не призвести до сповзання розплавленого вогнезахисного покриття в процесі піноутворення, і не надто високу, щоб не заважати створенню піни.

Мета роботи. В даній роботі розглядаються результати експериментальних досліджень визначення коефіцієнту спучування, його міцності та групи вогнезахисної ефективності нових вогнезахисних покриттів на основі стирол-акрилової водної дисперсії від вмісту вогнезахисних компонентів.

Матеріали та методи дослідження. В якості плівкоутворювача застосовували стирол-акрилову дисперсію Acronal 290 D, яка випускається фірмою BASF (вміст нелетких сполук – 50 мас.%, рН 7.5-9.0, середній розмір частинок приблизно 100 нм, в'язкість при 23 °С (ISO 3219, DIN 53019) при швидкості зсуву 100 с⁻¹ складає 7-15 мПа×с).

Отримання інтумісцентних покриттів зазвичай досягається при використанні трьох компонентів: джерела неорганічної кислоти, джерела вуглецю, газовиділяючого агента [16–19].

В якості джерела неорганічної кислоти в даний час одним з часто використовуваних класів для термопластичних і термореактивних полімерів є антипірени на основі фосфору. Фосфоровмісні антипірени впливають на горіння полімеру, діючи в конденсованій та газовій фазах. При впливі полум'я фосфоровмісні антипірени перетворюються шляхом термічного розкладання у фосфорну кислоту і, як наслідок, поліфосфорну кислоту, яка етерифікує і зневоднює полімер з утворенням карбонізованого шару, що має склоподібне покриття. Цей шар захищає полімер від теплового випромінювання та запобігає його розкладанню. Найактуальнішим із фосфоровмісних антипіренів, на сьогоднішній день, є поліфосфат амонію (ПФА) із кристалічною фазою II ($n > 1000$) [5].

В якості сировини для утворення вуглецевого каркасу спученого шару застосовували пентаеритрит. Це дрібнодисперсний білий порошок, який при впливі температур понад 250 °С забезпечує утворення щільного карбонового шару, що володіє низькою теплопровідністю та значною мірою знижує термічний вплив на матеріал або конструкцію, що захищається.

Як газовиділяючий агент застосовували гідроксид алюмінію – порівняно нова для виробництва вогнезахисних матеріалів мінеральна добавка. Гідроксид алюмінію при температурах близько 200 °С та вище виділяє пари води з утворенням гідроксиду алюмінію, охолоджуючи та розбавляючи зону займання. В результаті ендотермічної дегідратації гідроксиду алюмінію, динамікою його розкладання відбувається прискорення карбонізації полімеру і реакції поперечного зшивання зі скороченням газообміну при деструкції полімеру через інтумесцентний шар, що утворюється, що надає додаткові димознижувальну і вогнепригнічуючу дію[20]. Крім того, стабільні розміри частинок гідроксиду алюмінію (1-5 мікрометрів), а також їхня майже сферична форма підвищує стійкість ЛФП до дії ультрафіолетових променів внаслідок рівномірного відбиття світла від поверхні. Також він надає текучості та тиксотропних властивостей лакофарбовим матеріалам, що є визначальним фактором технології їх нанесення.

При розробці нових матеріалів для підвищення вогнестійкості будівельних конструкцій необхідні попередні випробування для прогнозування вогнезахисного ефекту покриттів. Тому для оцінки горючості та коксоутворення розроблених покриттів використовували такі показники: кисневий індекс (КІ) (ДСТУ EN ISO 4589-2:2018), коефіцієнт спучування (Кс) [21, 22], механічна міцність покриття. За ГОСТ 16363-98 визначали групу вогнезахисної ефективності.

Аналіз проблеми та шляхи її вирішення. Однією з характеристик, що істотно впливає на вогнезахисну ефективність покриттів металевих конструкцій, є лінійний коефіцієнт спучування (Кс).

Для дослідження коефіцієнту спучування фрагментів вогнезахисного покриття використовується спеціальна електрична муфельна піч схема установки приведена на рис. 1.

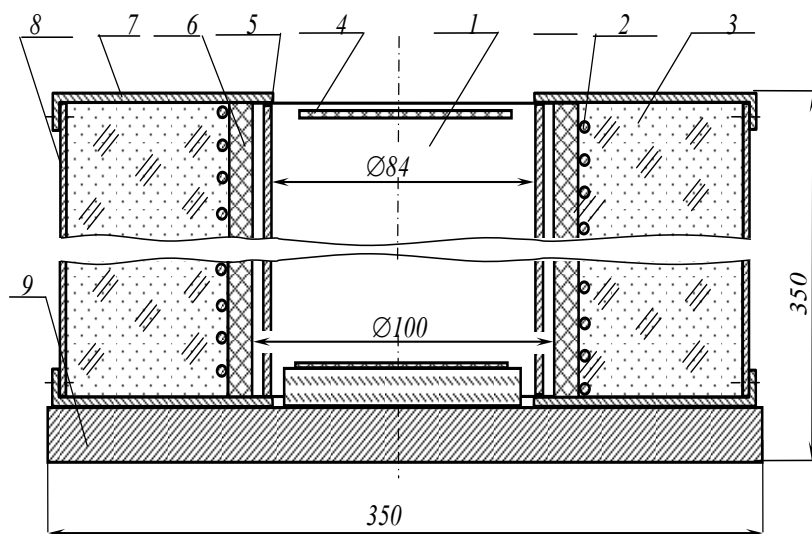


Рисунок 1. Схема установки для випробувань зразків вогнезахисного покриття: 1 – внутрішній простір камери печі; 2 – ніхромова спіраль; 3 – азбесто-шамотна засипка; 4 – азбестова тканина; 5 – сталевий муфель; 6 – стінка вогнетривкої камери; 7 – кришка; 8 – кожух печі; 9 – основа

Випробування визначення коефіцієнта спучення проводили за методикою, описаної в [23, 24]. Суть методики полягає у спучення покриття товщиною 1 мм, нанесеного на металеву пластину розміром 100x100 мм, термошафу протягом 5 хвилин при температурі 600 °С і вимірюванні висоти утвореного спученого шару.

Кс визначається як відношення товщини спученого шару h до вихідної товщини покриття h_0 .

$$K_c = h / h_0 \quad (1.1)$$

Для випробувань використовувалась електрична муфельна піч СНОЛ 1,6.2.0.0,8/9-М-1 (потужність 2,4 кВт) з горизонтальним завантаженням.

Головною особливістю цієї печі є наявність муфеля – оболонки, що захищає матеріал зразків при нагріванні і є головним робочим простором муфельної печі. Призначення муфеля – ізолювати матеріал або виріб від контакту нагрівальним елементом.

Вигляд муфельної печі перед початком випробувань показано на рис. 2.



Рисунок 2. Вигляд муфельної печі перед початком випробувань

Лінійна швидкість нагрівання камери печі склала 8,6 °С/хв. При досягненні значення 600 °С встановлено стаціонарний режим за допомогою регулювання потужності нагріву печі. Всі зразки одночасно поміщені у камеру муфельної печі та витримані при постійній температурі 600 °С протягом 5 хвилин.

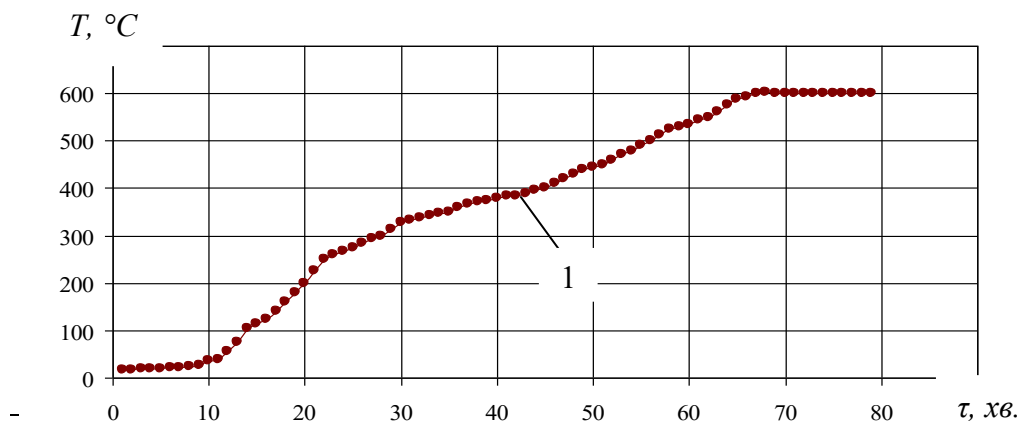


Рисунок 3. Лінійна швидкість нагрівання камери печі: 1 – температурно-часова залежність в камері муфельної печі

Для вимірювання температури в печі використовувалися термопари ТХА з діаметром дроту 1,5 мм (див. рис. 4), які можна використовувати для вимірювання температури в діапазоні від 0 до 1100 °С.

Для зняття цифрових значень температури в місцях установки термопари використовувалися вторинні електронний прилад Digital multimeter DT 700С, які підключено до термопари. Діапазон вимірювання температур даного приладу складає від -20 °С до 1370 °С похибка становить ± 1.0%.

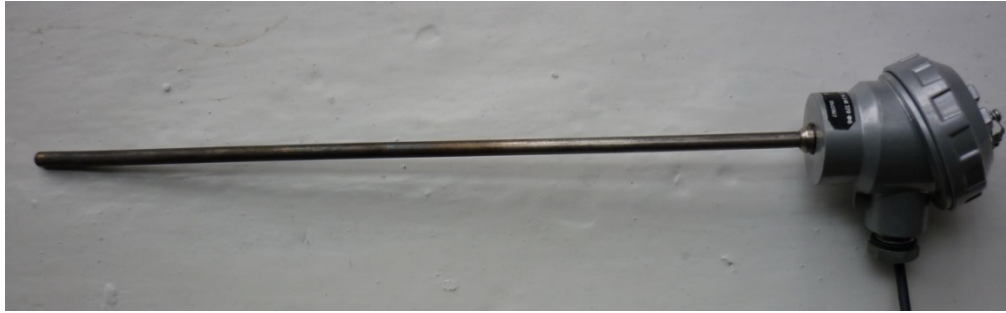


Рисунок 4. Термопара ТХА-VIII – 1-27-К-2-И-320-INC-6-А-(0...1100)°С

Для первинного визначення горючості водно-дисперсійних покриттів та ефективного вмісту ПФА визначали кисневий індекс (КІ) відповідно з ДСТУ EN ISO 4589-2:2015. Такий метод можна застосовувати тільки як один з елементів оцінки пожежної небезпеки покриттів.

В нормативних джерелах відсутня класифікація матеріалів пожежної небезпеки виходячи з величини кисневого індексу. Але в інформаційних джерелах містяться класифікаційні параметри, які можуть бути застосовані до матеріалів: зразки з величиною кисневого індексу менше 25 % відносяться до горючих; полімери вважаються важкогорючими матеріалами і є самогасаючими якщо кисневий індекс 25-27%; з величиною КІ більше 27% - до важкогорючих.

На рис. 5 наведено залежності кисневого індексу (КІ) та коефіцієнту спучення (Кс) від вмісту ПФА.

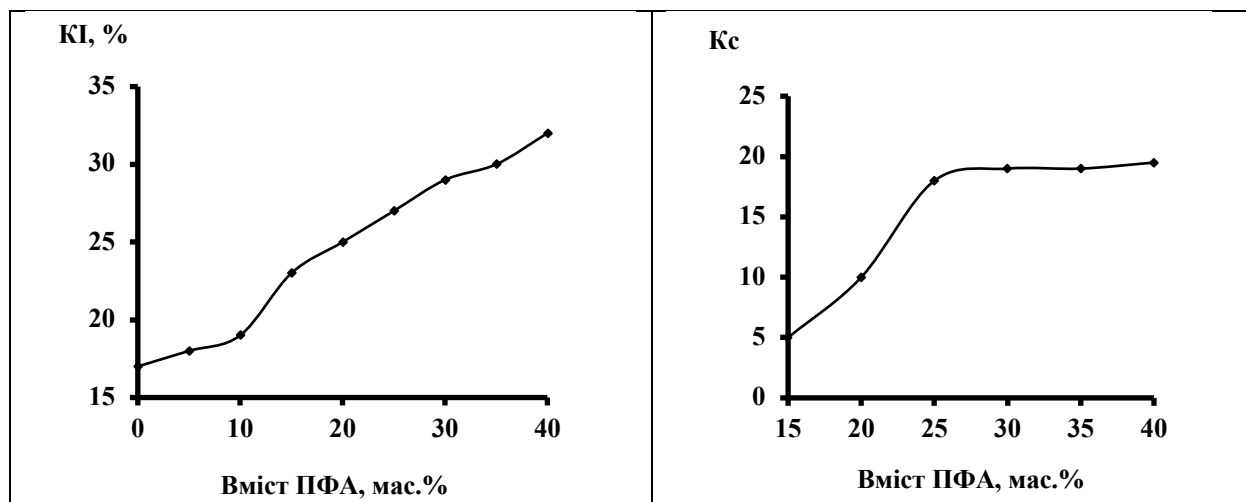


Рисунок 5. Залежність кисневого індексу (КІ) та лінійного коефіцієнту спучення (Кс) від вмісту ПФА

Як видно з рис. 5 стирол-акрилове лакофарбове покриття переходить з групи горючих матеріалів (КІ=16%) до важкогорючих самогасаючих при вмісту ПФА від 20 мас.% та мас КІ=25-32%. З точки зору впливу ПФА на коефіцієнт спучування (рис.5) видно, що максимальне його значення приходить на вміст ПФА 25 мас.%, подальше збільшення вмісту його в композиції не впливає на висоту спученого шару, проте призводить до зниження технологічних властивостей (збільшення в'язкості, складність приготування та нанесення композиції).

Відомо, що збільшення K_c призводить до зниження щільності пінококсу. Враховуючи, що при спученні з реакційної маси йде деяка кількість речовини у вигляді газів і диму, можна говорити, що при сильному спученню відбувається ослаблення структури пінококсу. Також при великих коефіцієнтах спучення, згідно із законом збереження маси (навіть без урахування газоподібних втрат), щільності пінококсу виявиться недостатньою, щоб протистояти механічним впливам потоків газів при реальній пожежі, тому було визначено міцність пінококсу. Пориста структура, що має рівномірні, щільні і невеликі осередки, без мікротріщин і великих порожнин, забезпечує кращі ізоляційні властивості.

На рисунку 6 представлено структуру утвореного спученого шару покриттів при експериментальних дослідженнях.

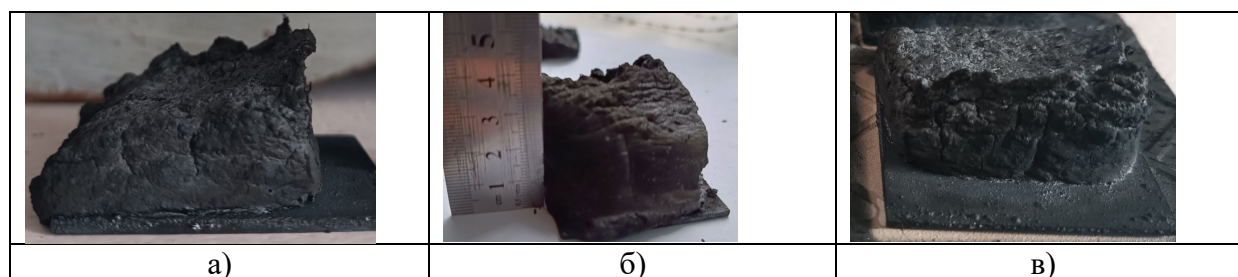


Рисунок 6. Структура пінококсу при різному вмісті ПФА, ПЕ та $Al(OH)_3$: ПФА: ПЕ: ПФА = 15:20:35 мас.%(а), ПФА: ПЕ: ПФА = 15:20:40 мас.%(б), ПФА: ПЕ: ПФА = 20:15:40 мас.%(в)

В табл. 1 наведені дані коефіцієнту спучення (K_c), міцності пінококсу (F), втрати маси після випробування на визначення вогнезахисної ефективності (D_m) та групи вогнезахисної ефективності покриттів (товщиною $2\text{ мм} \pm 0,2$) на основі стирол-акрилової дисперсії наповненої ПФА в кількості 25 мас.% та спільного поєднання ПЕ та $Al(OH)_3$.

| Склад покриття, мас. % ПЕ/ $Al(OH)_3$ | K_c | F , г/см ² | Втрата маси, D_m , % | Група вогнезахисної ефективності |
|--|-------|-------------------------|---------------------------|--|
| 15/20 | 17,3 | 5,3 | 3,5 | I |
| 15/30 | 16,9 | 9,5 | 2,5 | I |
| 15/40 | 9,6 | 11,5 | 3,7 | I |
| 20/20 | 13,3 | 16,5 | 3,8 | I |
| 20/30 | 11,3 | 17,3 | 5,3 | I |
| 20/40 | 6,3 | 18,2 | 3,4 | I |
| 25/20 | 19,3 | 11,2 | 2,9 | I |
| 25/30 | 16,6 | 15,3 | 2,8 | I |
| 25/40 | 11,6 | 18,5 | 2,5 | I |

Слід зазначити, що абсолютне значення коефіцієнта спучення не є мірою вогнезахисної ефективності, тобто, чим більше параметр K_c , тим більша вірогідність високих значень межі вогнестійкості. Перш за все, теплоізоляційна ефективність коксового каркаса за всіх інших рівних обставин залежить від його міцності та стабільності. Так, дрібнопориста піна, яка найкраще забезпечує найбільшу міцність вуглецевого шару та теплоізолюючі властивості, спостерігається для розроблених

тонкошарових водно-дисперсійних покриттів наповнених наступними компонентами: ПФА 25 мас.%, ПЕ 15-25 мас.% та при $Al(OH)_3$ 40 мас.%.

Незважаючи на те, що всі дослідні покриття мають першу групу вогнезахисної ефективності, пінококс, сформований компонентами ПФА 25 мас.%, ПЕ 15-25 мас.% та при $Al(OH)_3$ 40 мас.% має пористу структуру, рівномірні, щільні і невеликі осередки, без мікротріщин і великих порожнин, що забезпечує кращі ізоляційні властивості.

Висновки. в результаті проведених експериментальних досліджень по визначенню коефіцієнту спучування, його міцності та групи вогнезахисної ефективності розроблених вогнезахисних покриттів на основі стирол-акрилової водної дисперсії від вмісту вогнезахисних компонентів. Встановлено, що всі дослідні покриття мають першу групу вогнезахисної ефективності. Пінококс, сформований компонентами ПФА 25 мас.%, ПЕ 15-25 мас.%, $Al(OH)_3$ 40 мас.% має пористу структуру, рівномірні, щільні і невеликі осередки, без мікротріщин і великих порожнин, що забезпечує кращі ізоляційні властивості.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Yasir M., Ahmad F., Yusoff P. S. M. M., Ullah S., Jimenez M. Latest trends for structural steel protection by using intumescent fire protective coatings: a review. *Surface Engineering*. 2019. № 36 (4). С. 334–363.

2. Андрющенко Л., Борисенко В., Горонескуль М., Кудін О. Інтумесцентні вогнезахисні покриття у сучасному будівництві (огляд). *Проблеми надзвичайних ситуацій*. 2019. № 1(29). С. 121-138.

3. Mariappan T. Recent developments of intumescent fire protection coatings for structural steel: A review. *Journal of Fire Sciences*. 2016. № 34(2). С. 120–163.

4. Zybina O., Gravit M. *Intumescent Coatings for Fire Protection of Building Structures and Materials*. Springer Series on Polymer and Composite Materials. 2020. 216 p.

5. Беліков, А. С., Коваленко, О. В., Клименко, Г. О., Харченко, В. В. (2022). До питання зниження горючості та підвищення вогнестійкості металевих конструкцій. *Український журнал будівництва та архітектури*, № 4 (010), 2022. С. 20-25

6. Вахітова, Л. М., Калафат, К. В., Таран, Н. А., Бессарабов, В. І. (2021). Порівняння амінів як газотворювачів вогнезахисних композицій інтумесцентного типу. *Технології та інжиніринг*. №4. 2021. С. 69-80.

7. Спіріна-Смілка О. Ю., Яковлева, Р. А., Саєнко, Н. В., Довбиш, А. В., Рибка, Є. О. (2011). Підвищення вогнезахисної ефективності епоксидних складів, що спучуються. *Проблеми пожежної безпеки*. С. 247-252

8. Вахітова, Л. М., Таран, Н. А., Калафат, К. В., Бессарабов, В. І. (2021). Полімерні матеріали для систем реактивного вогнезахисту (огляд літератури). *Фізико-органічна хімія, фармакологія та фармацевтична технологія біологічно активних речовин*. С.110-136

9. Афанасенко К.А., Білим П.А., Михайлюк О.П. Зниження показників пожежної небезпеки композиційних полімерних матеріалів шляхом застосування сполучних, схильних до карбонізації. *Проблеми пожежної безпеки*. 2013. №. 34. С. 12-17.

10. Березовський А. І. Захист металевих конструкцій від впливу високих температур вогнезахисними покриттями, що спучуються / А. І. Березовський, І. Г. Маладика, Р. А. Яковлева // *Вісник Черкаського державного технологічного університету : зб. наук. праць. – Черкаси : ЧДТУ, 2010. – № 2. – С. 127–131.*

11. Демідов, Д. В., Саєнко, Н. В., Попов, Ю. В., Биков, Р. О., Уманська, Т. І. (2018). Реологічні та енергетичні характеристики високонаповнених акрил-стирольних водних дисперсій. *Науковий вісник будівництва*, (94, № 4), 171-177.

12. Караваєв Т.А. Водно-дисперсійні фарби: товарознавча оцінка : монографія / Т.А. Караваєв. – К. : Київ. нац. торг.-екон. ун-т, 2015. – 288 с.

13. Демидов, Д. В., Саєнко, Н. В., Биков, Р. О., Саєнко, Л. В., & Ільєнко, К. О. (2019). Спрямоване регулювання горючості та вогнезахисних характеристик лакофарбових покриттів. Інтегровані технології та енергозбереження. – 2019. – № 1. – С. 52-60.
14. Вахітова, Л. М., Таран, Н. А., Калафат, К. В., Придятько, С. П., Прудченко, А. П., Подкопаєв, С. В. (2019). Вплив нанокмполімерів стиролакрилату на вогнезахисну ефективність реактивного покриття інтумесцентного типу. Вісті Донецького гірничого інституту, 1(44), 87-99.
15. Саєнко, Н. В., Демидов, Д. В. (2016). Первинна оцінка вогнезахисних властивостей водно-дисперсійних акрилових.
16. Вахітова, Л. М., Калафат, К. В., Таран, Н. А., & Бессарабов, В. І. (2021). Порівняння поліолів як карбонізуючих агентів вогнезахисних композицій інтумесцентного типу. Технології та інжиніринг. № 6, 2021 С. 27-36.
17. Калафат, К. В., Таран, Н. А., Плаван, В. П., Редько, А. М., Сфімова, І. В., & Вахітова, Л. М. Вплив співвідношення поліфосфат амонію: меламін: пентаеритрит на вогнезахисну ефективність покриттів реактивного типу. *Voprosy khimii i khimicheskoi tekhnologii*, 2020, No. 6, pp. 59-68
18. Drevelle C. Influence of Ammonium Polyphosphate on the mechanism of Thermal Degradation of an Acrylic Binder Resin / Drevelle C., Duquesne S., Le Bras M., Lefebvre J., Delobel R. et al. // *Journal of Applied Polymer Science*. - 2004. - Vol. 94, №. 2. - P. 719-729
19. Wang G., Yang J. Influences of binder on fire protection and anti-corrosion properties of intumescent fire resistive coating for steel structure // *Surface & Coatings Technology*. — 2010, Jan. — Vol. 204, N 8. — P. 1186–1192.
20. Григоренко, О. М., Липовий, В. О., Пишняк, А. М. (2016). Дослідження впливу амофосу та тригідрату оксиду алюмінію на горючість та кратність спучування епоксиполімерів.
21. Вплив фосфоровмісних антипіренів на горючість та процеси коксоутворення вогнезахисних епоксидних композицій / Р.А. Яковлева, Ю.В. Попов, А.М. Безуглий, О.Ю. Шевцова// Проблеми пожежної безпеки. – Харків: УДЗУ, 2008. – №23. - С. 230-236.
22. Березовский А.І. Визначення залежності коефіцієнта спучування та характеристик міцності спученого шару вогнезахисних вібростійких покриттів для металевих конструкцій при різному вмісті наповнювачів / А.І. Березовський, І.Г. Маладика, В.М. Гвоздь // Вісник Черкаського державного технологічного університету : зб. наук. праць. – Черкаси : ЧДТУ, 2013. – №1. – С117–122.
23. Золкіна Є.С. Дослідження залежності кратності спучення епоксиполімеру від вмісту поліфосфату амонію, пентаеритриту та інтеркальованого графіту / О.М. Григоренко, Є.С. Золкіна // *Проблемы пожарной безопасности*. – 2020. – Вып. 48. – С. 30-36.
24. Золкіна, Є. С., Григоренко, О. М., Попов, Ю. В. (2021). Дослідження впливу наповнювачів на властивості спученого коксового шару епоксиамінних композицій. *Problems of Emergency Situations: Матеріали Міжнародної науковопрактичної конференції*. Харків: Національний університет цивільного захисту України, 2021. – С. 28-30.

REFERENCES

1. Yasir M., Ahmad F., Yusoff P. S. M. M., Ullah S., Jimenez M. Latest trends for structural steel protection by using intumescent fire protective coatings: a review. *Surface Engineering*. 2019. № 36 (4). С. 334–363.
2. Andryushchenko L., Borysenko V., Horoneskul' M., Kudin O. Intumescentsni vohnezakhysni pokryttya u suchasnomu budivnytstvi (ohlyad). *Problemy nadzvychaynykh sytuatsiy*. 2019. № 1 (29). Z. 121-138.
3. Mariappan T. Recent developments of intumescent fire protection coatings for structural steel: A review. *Journal of Fire Sciences*. 2016. № 34(2). С. 120–163.
4. Zybina O., Gravit M. *Intumescent Coatings for Fire Protection of Building Structures and Materials*. Springer Series on Polymer and Composite Materials. 2020. 216 p.

5. Byelikov, O. S., Kovalenko, O. V., Klymenko, H. O., Kharchenko, V. V. (2022). Do pytannya znyzhennya horyuchosti ta pidvyshchennya vohnestiykosti metalevykh konstruktsiy. *Ukrayins'kyi zhurnal budivnytstva ta arkhitektury*, №4 (010), 2022. S. 20-25
6. Vakhitova, L. M., Kalafat, K. St, Taran, N. A., Bessarabov, St I. (2021). Porivnyannya aminiv yak hazoutvoryuvachiv vohnezakhysnykh kompozytsiy intumestsentnoho typu. *Tekhnolohiyi ta inzhynirynh*. №4. 2021. S. 69-80.
7. Spirina-Smilka O. YU., Yakovlyeva, R. O., Sayenko, N. V., Dovbysh, O. V., Rybka, YE. O. (2011). Pidvyshchennya vohnezakhysnoyi efektyvnosti spuchuyut'sya epoksydnykh skladiv. *Problemy pozhezhnoyi bezpeky*. S. 247-252
8. Vakhitova, L. M., Taran, N. A., Kalafat, K. St, Bessarabov, St I. (2021). Polimerni materialy dlya system reaktyvnoyi vohnezakhystu (ohlyad literatury). *Fizyko-orhanichna khimiya, farmakolohiya ta farmatsevychna tekhnolohiya biolohichno aktyvnykh rechovyn*. S.110-136
9. Afanasenko K.A., Bilym P.A., Mykhaylyuk O.P. Znyzhennya pokaznykiv pozhezhnoyi opasnosti kompozytsiynykh polimernykh materialiv shlyakhom zastosuvannya spoluchnykh, skhyl'nykh do karbonizatsiyi. *Problemy pozhezhnoyi bezpeky*. 2013. №. 34. S. 12-17.
10. Berezovs'kyi O. I. Zakhyst metalevykh konstruktsiy vid vplyvu vysokykh temperatur spuchuyut'sya vohnezakhysnyimi pokryttyami / A. I. Berezovs'kyi, I. H. Maladyka, R. A. Yakovlyeva // *Visnyk Cherkas'koho derzhavnoho tekhnolohichnoho universytetu: zb. nauk. prats'*. – Cherkasy: CHDTU, 2010. – № 2. – S. 127–131.
11. Demidov, D. V., Sayenko, N. V., Popov, YU. V., Bikov, R. O., Umans'ka, T. I. (2018). Reolohichni ta enerhetychni kharakterystyky vysokonapovnenykh akryl-styrol'nykh vodnykh dyspersiy. *Naukovy visnyk budivnytstva*, (94, №4), 171-177.
12. Karavayev T.O. Vodno-dyspersiyini farby: tovaroznavcha otsinka: monohrafiya / T.A. Karavayev. - K.: Kyiv. nats. torh.-ekon. un-t, 2015. - 288 s.
13. Demidov, D. V., Sayenko, N. V., Bikov, R. O., Sayenko, L. V., & Il'yenko, K. O. (2019). Napravlene rehulyuvannya horyuchosti ta vohnezakhysnykh kharakterystyk lakofarbovykh pokryttiv. *Intehrovani tekhnolohiyi ta enerhozberezhennya*. - 2019. - № 1. - S. 52-60.
14. Vakhitova, L. M., Taran, N. A., Kalafat, K. V., Pridatyko, S. P., Prudchenko, O. P., Podkopayev, S. V. (2019). Vplyv nanokompozytiv styrolakrylatu na vohnezakhysnu efektyvnist' reaktyvnoho pokryttya intumestsentnoho typu. *Visti Donets'koho hirnychoho instytutu*, 1(44), 87-99.
15. Sayenko, N. V., Demidov, D. V. (2016). Pervynna otsinka vohnezakhysnykh vlastyivostey vodno-dyspersiynykh akrylovykh.
16. Vakhitova, L. M., Kalafat, K. St, Taran, N. A., & Bessarabov, St I. (2021). Porivnyannya polioliu yak karbonizuyuchykh ahentiv vohnezakhysnykh kompozytsiy intumestsentnoho typu. *Tekhnolohiyi ta inzhynirynh*. № 6, 2021 r. S. 27-36.
17. Kalafat, K. St, Taran, N. O., Plavan, St P., Red'ko, O. M., Sfimova, I. V., & Vakhitova, L. M. Vplyv spivvidnoshennya polifosfat amoniyu: melamin: pentayerytryt na vohnezakhysnu efektyvnist' pokryttiv reaktyvnoho typu. *Voprosy khimii i khimicheskoy tekhnologii*, 2020, No. 6, pp. 59-68
18. Drevelle C. Influence of Ammonium Polyphosphate on the mechanism of Thermal Degradation of an Acrylic Binder Resin / Drevelle C., Duquesne S., Le Bras M., Lefebvre J., Delobel R. et al. // *Journal of Applied Polymer Science*. - 2004. - Vol. 94, №. 2. - P. 719-729
19. Wang G., Yang J. Influences of binder on fire protection and anti-corrosion properties of intumescent fire resistive coating for steel structure // *Surface & Coatings Technology*. — 2010, Jan. — Vol. 204, N 8. — P. 1186–1192.
20. Hryhorenko, O. M., Lypoviy, V. O., Pishnyak, O. M. (2016). Doslidzhennya vplyvu ammosy ta tryhidratu oksydu alyuminiyu na horyuchist' ta kratnist' spuchuvannya epoksyopolimeriv.

21. Vplyv fosforovmisnykh antypireniv na horyuchist' ta protsesy koksoutvorennya vohnezakhysnykh epoksydnykh kompozytsiy / R.A. Yakovlyeva, YU.V. Popov, A.M. Bezvuhlyy, O.YU. Shevtsova// Problemy pozhezhnoyi bezpeky. - Kharkiv: UDZU, 2008. - №23. – S. 230-236.

22. Berezovs'kyy A.I. Vyznachennya zalezhnosti koefitsiyenta spuchuvannya ta kharakterystyk mitsnosti spuchenoï kuli vohnezakhysnykh vibrostiykykh pokryttiv dlya metalevykh konstruktsiy pry riznomu vmisti napovnyuvachiv / A.I. Berezovs'kyy, I.H. Maladika, V.M. Tsvyakh // Visnyk Cherkas'koho derzhavnoho tekhnolohichnoho universytetu: zb. nauk. prats'. – Cherkasy: CHDTU, 2013. – №1. - S117-122.

23. Zolkina YE.S. Doslidzhennya zalezhnosti kratnosti spuchennya epoksyopolimeru vid vmistu polifosfatu amoniyu, pentaerytrytu ta interkal'ovanoho hrafitu / O.M. Hryhorenko, YE.S. Zolkina // Problemy pozhezhnoyi bezpeky. - 2020. - Vyp. 48. - S. 30-36.

24. Zolkina, YE. S., Hryhorenko, O. M., Popov, YU. V. (2021). Doslidzhennya vplyvu napovnyuvachiv na vlastyvoli spuchenoï koksovoï kuli epoksyaminnykh kompozytsiy. Problems of Emergency Situations: Materialy Mizhnarodnoyi naukovo-praktychnoyi konferentsiyi. Kharkiv: Natsional'nyy universytet tsyvil'noyi zakhystu Ukrayiny, 2021. - S. 28-30.

Andrii BEREZOVSKIY, PhD in technical sciences, docent, (ORCID: 0000-0002-4043-1206),

Bohdan KOPYL, (ORCID: 0000-0002-2995-3927),

Ivan ISHCENKO, (ORCID: 0009-0000-5050-4926),

*Cherkasy Institute of Fire Safety named after Chornobyl Heroes
of National University of Civil Protection of Ukraine,*

Natalia SAIENKO, PhD in technical sciences, docent, (ORCID: 0000-0003-4873-5316)

National University of Civil Protection of Ukraine

INFLUENCE OF THE RATIO OF FIRE PROTECTION COMPONENTS ON THE FIRE PROTECTION EFFICIENCY OF WATER BASED COATINGS OF METAL STRUCTURES

The creation of polymer fire-resistant coatings for metal structures has always been and remains one of the priority areas of fire protection of buildings and structures, since the material costs of recovery after a fire many times exceed the costs of preventive fire protection measures.

In addition to providing the properties required for most paint materials, the film-forming component must decompose in the correct temperature range along with the other flame retardant components to be able to undergo the chemical reactions that result in the formation of foamcoke. Moreover, it should have a melt viscosity that is not too low to prevent the molten flame retardant coating from slipping during foaming, and not too high to prevent foaming.

As a result of the conducted experimental studies on the determination of the coefficient of swelling, its strength and the group of fire-resistant efficiency, developed fire-resistant coatings based on styrene-acrylic water dispersion from the content of fire-resistant components it was established that all experimental coatings have the first group of fire protection efficiency. Foamcoke, formed by PFA components 25 mas.%, PE 15-25 mas.%, Al(OH)₃ 40 mas.% has a porous structure, uniform, dense and small cells, without microcracks and large cavities, which provides better insulating properties.

Key words: *fire-resistant coatings, metal structures, water-based coatings, fire protection of metal, protection of metal from fire.*