

УДК 614.841.33+699.812.3.

ВПЛИВ ІНТУМЕСЦЕНТНИХ НАПОВНЮВАЧІВ НА ВОДОПОГЛИНАННЯ ВОГНЕЗАХИСНИХ ПОКРИВІВ МЕТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ НА ОСНОВІ АКРИЛОВОЇ ДИСПЕРСІЇ

<https://doi.org/10.33269/nvcz.2024.1.85-92>

Березовський А. І.^{1*}, ORCID iD 0000-0002-4043-1206

Саєнко Н. В.² ORCID iD 0000-0003-4873-5316

Копил Б. Я.¹ ORCID iD 0000-0002-2995-3927

*E-mail: berezovskyi_andrii@chipb.org.in

¹Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля Національного університету цивільного захисту України, Україна

² Національний університет цивільного захисту України, Україна

ІНФОРМАЦІЯ ПРО АНОТАЦІЮ
СТАТТЮ

Надійшла до редакції:
15.04.2024

Пройшла рецензування:
20.05.2024

КЛЮЧОВІ СЛОВА:

вогнезахист, металева конструкція, вогнезахисні покриття, спучення, водопоглинання, вогнезахисна ефективність покриттів, інтумесцентні наповнювачі

Вогнезахист металевих конструкцій є надважливим фактором у забезпеченні протипожежного захисту як конкретної будівельної конструкції, так і всієї будівлі загалом. Полімерні вогнезахисні покриття, що спучуються (реактивні), ідеально підходять для розв'язання цієї задачі. Як водну дисперсію для плівкоутворювача вибрано стирол-акрилову дисперсію Acronal 290D на основі сополімеру акрилового естеру (бутилакрилату) і стиролу. Як сировину для формування вуглецевого каркасу спученого шару використано пентаеритрит (далі – ПЕ). Як джерело неорганічної кислоти і один з часто використовуваних класів для термопластичних і терморезистивних полімерів є антипірени на основі фосфору (в цьому разі поліфосфат амонію). Як газоутворювальний агент застосовували алюміній гідроксид. Для оцінки водопоглинання підготовлені пластинки з дослідними покриттями, які занурювали у дистильовану воду (температура води 23 ± 2 °C), через задані проміжки часу послідовно виймали з води, висушували фільтрувальним папером та зважували. Наведено основні особливості впливу інтумесцентних наповнювачів на водопоглинання вогнезахисних покриттів для захисту металевих конструкцій на основі акрилової дисперсії. Наголошено на важливості розроблення нових вогнезахисних покриттів для металевих конструкцій, які враховуватимуть не тільки захист від впливу високих температур і вогню в умовах пожежі, а й запобігатимуть сорбції вологи до конструкцій, що захищаються. Порівняно вплив інтумесцентних наповнювачів системи поліфосфат амонію / пентаеритрит / алюміній гідроксид / стирол-акрилова дисперсія на водопоглинання вогнезахисних покриттів металевих конструкцій. Отримані результати можуть бути використані під час розроблення водостійких вогнезахисних покриттів для металоконструкцій на основі системи поліфосфат амонію / пентаеритрит / гідроксид алюмінію / стирол-акрилова дисперсія.

Постановка проблеми. Металеві конструкції – важливий компонент сучасної архітектури. Сталь – універсальний будівельний матеріал, а її висока несуча здатність полегшує конструкцію будівель, які чудово інтегруються в дизайн та підкреслюють специфічні особливості.

З огляду на будівельні норми необхідне проектування з урахуванням міркувань щодо безпеки, що часто суперечить сучасним, витонченим архітектурним стилям. Проте вогнезахист металевих конструкцій є надважливим фактором у забезпеченні протипожежного захисту як конкретної будівельної

конструкції, так і всієї будівлі загалом [1–2]. В огляді [3] вказані деякі недавні роботи щодо розроблення вогнезахисного покриття, що спучується, придатного для захисту негорючих підкладок, таких як конструкційна сталь, від вогню. Також описані ключові фактори складів, що спучуються, зв'язуючих, антипіренів, наповнювачів, модифікаторів, нанорозмірних добавок, які впливають на властивості та характеристики таких покривів.

Полімерні вогнезахисні покриви, що спучуються (реактивні), ідеально підходять для розв'язання цієї задачі [4–5]. Принцип роботи таких покривів полягає в ізолюванні від вогню конструкції, що захищається, забезпечуючи термічний бар'єр, уповільнюючи швидкість нагрівання металоконструкції, надаючи необхідний за проектом час для гасіння пожежі до руйнування конструкції [6]. Зазначене допомагає віднайти економічно ефективне рішення відповідно до всіх технічних вимог, не порушуючи естетику сталевих конструкцій і не збільшуючи її вагу [7].

Вивчення стійкості вогнезахисних засобів до впливу вологи має стати необхідним етапом розроблення нових технологій реактивних покривів. Ця інформація важлива для прогнозування терміну служби вогнезахисного покриття з метою його своєчасної заміни й забезпечення надійного та ефективного вогнезахисту.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Загалом реактивні покриви металевих конструкцій характеризуються невисокою водостійкістю. Здебільшого це стосується покривів на основі водних дисперсій полімерів. Наприклад, за даними [8], інтумесцентні вогнезахисні покриття (далі – ІВП) на основі вогнезахисних композицій Ендотерм 400202 і Ендотерм 170205, що мають в своєму складі поліфосфат амонію, відрізняються за природою плівкоутворювача (органорозчинний полімер в першому випадку і водна дисперсія полімеру в другому), мають водопоглинання 6,0 та 43,8% відповідно. У разі впливу опадів і

високої вологості повітря відбувається поступове вимивання і розпад окремих елементів покриттів з виділенням аміаку, що призводить до втрати вогнезахисних властивостей матеріалів. Окрім того, потрапляння вологи з поверхні в місце контакту з підкладкою, може призвести до розвитку корозії конструкцій, що захищаються.

У роботі [9] показано, що інтумесцентні покриви незалежно від природи полімерного зв'язуючого в умовах вологості знижують вогнезахисні властивості в середньому на 10%. Втрата вогнестійкості покриттів відбувається через вилуговування пентаеритриту, поліфосфату амонію та деструкції полімеру внаслідок гідролізу. Автори пропонують вводити наноглини в досліджувану систему. Це створює бар'єрний ефект і максимально покращує хімічну формулу вогнезахисного покриття.

Роль полімерного плівкоутворювача визначається вимогами до фізико-хімічних, експлуатаційних та вогнезахисних властивостей лакофарбових покриття. Незважаючи на те, що органорозчинні покриття відповідають сучасним європейським вимогам щодо вмісту летких органічних сполук (далі – ЛОС) [10], ринковий попит зсувається у бік водних дисперсій полімерів [11], зокрема у разі їх застосування на будівельному майданчику, де емісія ЛОС може спричинити певні проблеми [12]. Застосування таких матеріалів дає змогу знизити вимоги до охорони праці, пожежо- та вибухонебезпечності фарбувальних робіт [13]. Застосування таких матеріалів допомагає вирішити завдання не тільки декоративного оздоблення будівель та споруд, а й захистити конструкції від вологи, сонячного світла, механічних чи хімічних пошкоджень [14].

Методи дослідження. Як водну дисперсію для плівкоутворювача вибрано стирол-акрилову дисперсію Acronal 290D на основі сополімеру акрилового естеру (бутилакрилату) і стиролу. Ця дисперсія призначена для виробництва архітектурних клеїв, фарб, внутрішніх і зовнішніх

покриттів, штукатурок і шпаклівок на основі синтетичних смол, де потрібна висока в'язкість та високий вміст твердих речовин [15].

На сьогодні джерелом неорганічної кислоти та одним із часто використовуваних класів для термопластичних і термореактивних полімерів є антипірени на основі фосфору. Найбільш ефективним фосфоровмісним антипіреном є поліфосфат амонію (далі – ПФА), який використовують як самостійно, так і в поєднанні з іншими наповнювачами. Механізм дії ПФА [16] на термічний розклад полімерного зв'язуючого полягає в тому, що ПФА здатний знижувати термічну стабільність полімерів унаслідок стимуляції кислотної гідролітичної реакції. Тобто за температури 250°C відбувається деградація ПФА з відщепленням води і аміаку, що призводить до утворення поліфосфорної кислоти з її подальшим випаровуванням і/або дегідратацією [17]. Але підвищена дія вогнезахисту потребує високого ступеня наповнення матриці ПФА, що негативно впливає на фізико-механічні властивості полімерного покриття.

Як сировину для формування вуглецевого каркасу спученого шару використано пентаеритрит [18]. Це дрібнодисперсний білий порошок, який під впливом температури понад 250 °C утворює щільний вуглецевий шар з низькою теплопровідністю, що значно зменшує тепловий вплив на матеріали та конструкції, які захищаються.

Як газоутворювальний агент застосовували алюміній гідроксид. Алюміній гідроксид ($\text{Al}(\text{OH})_3$) за температури близько 200 °C та вище виділяє пару води з утворенням алюмінію гідроксиду, охолоджуючи та розбавляючи зону займання [19]. Внаслідок ендотермічної дегідратації алюмінію гідроксиду та динаміки його розкладання [20] відбуваються прискорення карбонізації полімеру та реакції поперечного зшивання зі скороченням газообміну під час деструкції полімеру через інтумесцентний шар, що додатково

справляє димо- і вогнепригнічувальну дію. Крім того, стабільні розміри частинок алюмінію гідроксиду, а також їхня майже сферична форма підвищують стійкість полімерних покриттів до впливу ультрафіолетових променів унаслідок рівномірного відбиття світла від поверхні. Також надають текучості та тиксотропних властивостей полімерним дисперсіям, що є визначальним фактором технології їх нанесення.

Мінеральні або неорганічні вогнезахисні добавки, такі як алюмінію гідроксиди, додають до полімерних матеріалів у великих кількостях – до 60%. Це потрібно для забезпечення необхідного ефективного вогнезахисту [21]. У цій групі вогнезахисних добавок є різні принципи дії. Гідроксиди металів, такі як алюмінію гідроксид або магнію, у разі пожежі виділяють воду, охолоджуючи та розбавляючи зону займання. Оскільки ендотермічні реакції поглинають енергію з навколишнього простору, розкладання гідроксидів споживає теплову енергію і забирає теплову енергію від вогню. Інші неорганічні наповнювачі, такі як тальк або крейда, просто розбавляють горючі полімери і, отже, зменшують їх займістість та тепло. З огляду на це вони не є повноцінними вогнезахисними речовинами у відповідному значенні цього терміна.

Недоліком реактивних фарб, що містять як інтумесцентні добавки високу частку гідрофільних компонентів, є виняткова чутливість полімерних покривних плівок до дії води, невисока механічна міцність і зниження вогнезахисних характеристик покривної плівки в процесі їх експлуатації внаслідок вимивання гідрофільних компонентів [9]. Технічний результат цієї роботи полягає в усуненні або зменшенні зазначених недоліків водно-дисперсійних покриттів, що містять інтумесцентні добавки.

Із метою зменшення сорбції води високонаповнених водних дисперсій останнім часом як нанорозмірний модифікатор використовують гідрофобізований діоксид кремнію [22].

Діоксид кремнію, володіючи сильними електричними полями, виконує також роль стабілізатора водних дисперсій полімерів [23], запобігає осіданню наповнювачів, надає седиментаційної стійкості й тиксотропних властивостей високонаповненим водно-дисперсійним покриттям [24].

Для оцінки водопоглинання підготовлені скляні пластинки розміром 30×30×1 мм з дослідними покриттями занурювали у дистильовану воду (температура води 23 ± 2 °С), через задані проміжки часу (1, 3, 5, 10, 15, 20, 25 та 30 діб) пластинки послідовно виймали з води, залишки вологи ретельно видаляли фільтрувальним папером, витримували зразок протягом 1 години за температури 40 °С і зважували. Зміну маси (Δm , %) для кожного зразка розраховували за такою формулою:

$$\Delta m = \frac{m_1 - m_0}{m_0} \cdot 100\% \quad (1)$$

де m_0 і m_1 – маса покриття до і після занурення у воду відповідно, г.

Проводили три паралельні вимірювання зміни маси і визначали середнє значення. Похибка вимірів не перевищувала 5%.

Формулювання цілей дослідження. Мета роботи – порівняти вплив інтумесцентних наповнювачів системи поліфосфат амонію / пентаеритрит / алюміній гідроксид / стирол-акрилова дисперсія на водопоглинання. Це дасть змогу розробити нові підходи до технології реактивних вогнезахисних покриттів з більш тривалими термінами вогнезахисту.

Виклад основного матеріалу дослідження.

На рис. 1 наведено залежності впливу кількісного вмісту гідрофобізованого аеросилу (0,5; 1,0 мас.%) на водопоглинання досліджуваної стирол-акрилової водної дисперсії (ВД-СА).

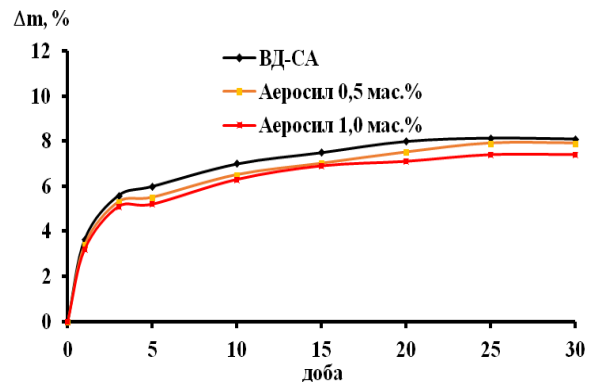


Рисунок 1 – Залежність впливу кількісного вмісту аеросилу (0,5; 1,0 мас. %) на водопоглинання досліджуваної стирол-акрилової дисперсії

Наведенні залежності на рис. 1 показують, що введення малих добавок аеросилу (0,5 та 1,0 мас. %) дає можливість знизити водопоглинання досліджуваних зразків ВД-СА на 2,5–9% відповідно. Ймовірно, це пов'язано із заповненням вільних вакансій в об'ємі сформованої плівки частинками аеросилу з високою питомою поверхнею та формуванням граничного шару гідрофобізованого аеросилу на поверхні стирол-акрилової плівки.

На рис. 2 та 3 наведено залежності впливу кількісного вмісту інтумесцентних наповнювачів (ПФА=20, 30; ПЕ=15, 20, 25; Al(OH)₃=20, 30, 40 мас. %) за перші 24 години (рис. 2) та протягом 30 діб (рис. 3) на водопоглинання досліджуваних плівок ВД-СА.

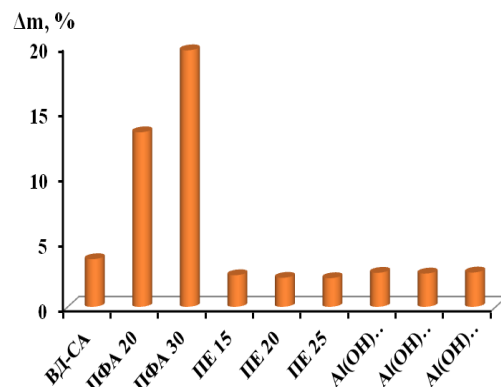


Рисунок 2 – Залежність впливу кількісного вмісту інтумесцентних наповнювачів за перші 24 години експозиції (ПФА=20, 30; ПЕ=15, 20, 25; Al(OH)₃=20, 30, 40 мас.%) на водопоглинання досліджуваних плівок ВД-СА

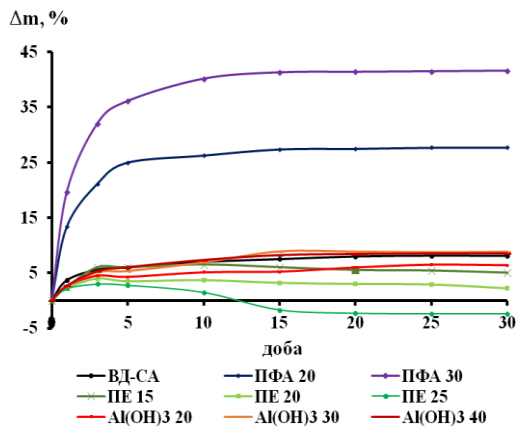


Рисунок 3 – Залежність впливу кількісного вмісту інтумесцентних наповнювачів (ПФА=20, 30; ПЕ=15, 20, 25; Al(OH)₃=20, 30, 40 мас. %) протягом 30 діб на водопоглинання досліджуваних плівок ВД-СА

На вказаних графіках (рис. 2 та 3) можна побачити залежність показника водопоглинання від часу витримки зразків у воді. У перші 24 години експозиції у воді найбільшу водопоглинальну дію виявляє фосфоровмісний антипірен ПФА (від 3,17 до 5,4 раза). Покриви, наповнені гідроксидом алюмінію в кількості 20 мас. %, мають менше водопоглинання (на 2%) порівняно з ВД-СА. Водопоглинання зростає досить повільно та врівноважується, що свідчить про максимальне набухання полімерної плівки.

Для покровів, наповнених ПЕ, спочатку маса зразка збільшується внаслідок сорбції води покривом, потім відбувається зменшення маси через розчинення покрову та вимивання ПЕ, що може призвести до втрати вогнестійкості покрову.

Із графіків залежності швидкості водопоглинання від часу можна зробити висновки, що швидкість водопоглинання стирол-акрилової дисперсії має високе значення під час витримки зразка у воді протягом доби, після чого швидкість водопоглинання зменшується.

Для регулювання водопоглинання застосовували наповнювач гідрофобізований аеросил, який виконує також роль стабілізатора водних дисперсій, запобігає осіданню пігментів і надає тиксотропні властивості. Гідрофобізований

аеросил – це високодисперсний аморфний діоксид кремнію з гідрофобною поверхнею частинок, одержуваною внаслідок обробки поверхні частинок апретами, які заміняють гідрофільні силанольні групи, що містяться на поверхні частинок, неполярними органічними групами типу метильних, питомою поверхнею 300 м²/г та середньої щільності 0,051-0,059 г/см³.

Результати спільного використання інтумесцентних наповнювачів на водопоглинання стирол-акрилової дисперсії (Δm, %), наповненої ПФА в кількості 25 мас. % та аеросилом у кількості 1,0 мас. %, та спільного поєднання ПЕ та Al(OH)₃ у вигляді поверхонь відгуку наведені на рис. 3.

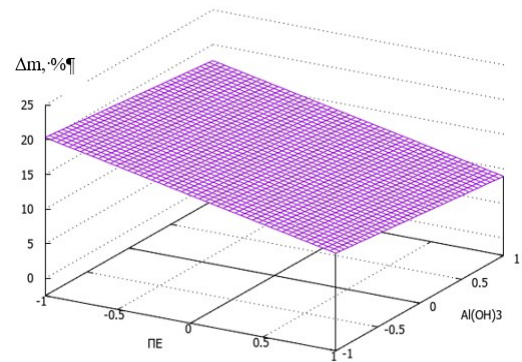


Рисунок 3 – Поверхні відгуку залежності величини водопоглинання ВД-СА від вмісту інтумесцентних агентів

Зниження водопоглинання стирол-акрилових покровів, наповнених у разі введення гідрофобізованого аеросилу, імовірно пов'язане з тим, що дрібнодисперсний аеросил із високою питомою поверхнею (300 м²/г) формує більш щільно упаковану структуру, що призводить до зменшення дефектності поверхні стирол-акрилового покрову. Локалізація на поверхні дефектних структур частинок гідрофобізованого аеросилу також спричиняє зменшення змочування цих структур водою, унаслідок чого погіршується змочування поверхні стирол-акрилового покрову та знижується дефектність його структури [6].

Висновки та напрями подальших досліджень. Отримані результати водопоглинання стирол-

акрилових покривів можуть бути інтерпретовані з погляду збільшення вкладу бар'єрного ефекту аеросилу в системах із високою в'язкістю, що зберігає хімічний склад інтумесцентного покриву. Розроблені покриви можуть експлуатуватися на межі вода-повітря, низьке водопоглинання свідчить про їхні високі захисні характеристики.

Надалі напрямом досліджень визначено вплив інтумесцентних наповнювачів на експлуатаційні

характеристики водно-дисперсійних покриттів. Наявність таких розвідок стало б підґрунтям для систематизації та узагальнення з метою створення водостійких вогнезахисних покриттів.

Отже, отримані результати можуть бути використані під час розроблення водостійких вогнезахисних покривів для металоконструкцій на основі системи поліфосфат амонію / пентаеритрит / алюмінію гідроксид /стирол-акрилова дисперсія.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

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. Андрущенко Л., Борисенко В., Горонескуль М., Кудін О. Інтумесцентні вогнезахисні покриви 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. До питання зниження горючості та підвищення вогнестійкості металевих конструкцій. *Український журнал будівництва та архітектури*. 2022. № 4(010), 2022. С. 20–25.
6. Григоренко О. М., Золкіна Є. С. Дослідження спучування вогнезахисних епоксидних покривів, модифікованих металовмісними добавками. *Проблеми пожежної безпеки*, 2018. № 43. С. 31–37.
7. Демідов Д. В., Саєнко Н. В., Биков Р. О., Саєнко Л. В., Ільєнко К. О. Спрямоване регулювання горючості та вогнезахисних характеристик лакофарбових покривів. *Інтегровані технології промисловості*. 2019. Вип. 1. С. 52–60.
8. Lucherini A., Maluk C. Intumescent coatings used for the fire-safe design of steel structures : A review. *Journal of Constructional Steel Research*. 2019. 162. 105712.
9. Vakhitova L., Kalafat K., Plavan V., Bessarabov V., Taran N., Zagorij G. Comparing the effect of nanoclays on the water-resistance of intumescent fire-retardant coatings. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2021. 3(6), 111.
10. Директива 2004/42/ЄС Європейського парламенту та ради від 21 квітня 2004 року про обмеження викидів летючих органічних сполук через використання органічних розчинників у певних фарбах і лаках і продуктах повторної обробки автомобілів та про внесення змін до Директиви 1999/13/ЄС (ОВ L 143, 30.4.2004). С. 87.
11. Вахітова Л. М., Таран Н. А., Калафат К. В., Придятько С. П., Прудченко А. П., Подкопаєв С. В. Вплив нанокмполімерів стиролакрилату на вогнезахисну ефективність реактивного покриву інтумесцентного типу. *Вісті Донецького гірничого інституту*. 2019. № 1(44). С. 87–99.
12. Gurina G., Druzhynin Y., Saienko N. V., Skripinets A. Methods for Optimizing the Content of VOCs to Create Environmentally Friendly Materials for Protective Coatings. *Solid State Phenomena*. 2023. 350 с. С. 21–30.
13. Караваєв Т. А. Водно-дисперсійні фарби: товарознавча оцінка : монографія. Київ : Київ. нац. торг.-екон. ун-т, 2015. 288 с.
14. Асаулюк Т. С., Семешко О.Я., Сарібекова Ю. Г., Куліш І. М. Полімерні покриви для спеціальних видів обробки бавовняних текстильних матеріалів. *Херсон : Типографія СТАР*, 2020. 110 с.
15. Саєнко Н. В., Демідов Д. В., М'яких М. А. Первинна оцінка вогнезахисних властивостей водно-дисперсійних акрилових покривів теплоізоляційного призначення. *Науковий вісник будівництва*, 2016. № 86(4). С. 154–157.
16. Григоренко О. М., Золкіна Є. С. Дослідження залежності кратності спучення епоксиполімеру від вмісту поліфосфату амонію, пентаеритриту та інтеркальованого графіту. *Збірник наукових праць*. 2020. Вип. 48. 2020. С. 30–36.
17. Вахітова Л. Н., Таран Н. А., Лапушкін М. П., Рибак В. В., Дрижд В. Л., Бурдина, Я. Ф. Вплив структури аміну на вогнезахисну ефективність системи поліфосфат амонію / пентаеритри / амін. *Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія : Хімія і хімічна технологія*. 2014. Вип. 1. С. 142–149.
18. Wuqing D. U., Jingyi B. I., Min L. I., Yingyan L. I. U., Zhiyong H. U. A. N. G., Chuhong L. I. N. Study on formula of styrene acrylic emulsion intumescent flame retardant coating. *China Safety Science Journal*. 2017. Вип. 27(8). С. 38.
19. Григоренко О. М., Липови В. О., Пишняк А. М. Дослідження впливу амофосу та тригідрату оксиду алюмінію на горючість та кратність спучування епоксиполімерів. *Проблеми пожежної безпеки. Збірник наукових праць*. 2016. Вип. 39. С. 73–77.
20. Шологон В. І., Вахітов Р. А., Калафат К. В., Таран Н. А., Бессарабов В. І., Вахітова Л. М. Модифікація та армування епоксидних покривів інтумесцентного типу. *Технології і інженерія*. 2023. Вип. 3. С. 77–88.
21. Березовський А., Копил Б., Іщенко І., Саєнко Н. Вплив співвідношення вогнезахисних компонентів на вогнезахисну ефективність покривів металевих конструкцій на водній основі. *Надзвичайні ситуації : попередження та ліквідація*. 2023. Вип. 7(2). С. 19–28.
22. Демідов Д. В., Саєнко Н. В., Попов Ю. В., Биков Р. О., Уманська Т. І. Реологічні та енергетичні характеристики високонаповнених акрил-стирольних водних дисперсій. *Науковий вісник будівництва*. 2018. Вип. 94(4). С. 71–177.

23. Makarov A. S., Andreeva I. A., Tretinnik V. Y. Rheological properties of polymer-containing aqueous aerosol dispersions, *Colloid Journal*. 2001. Vol. 63. № 6. P. 731–737.
24. Saienko N. V., Bikov R., Skripinets A., Demidov D. V. (2021). Research of the influence of silicate fillers on water absorption and microstructure of styrene-acrylic dispersion coatings. In *Materials Science Forum*. 2021. Vol. 1038. P. 61–67. Trans Tech Publications Ltd.c.

REFERENCES

1. Yasir, M., Ahmad, F., Yusoff, P. S. M. M., Ullah, S., Jimenez, M. (2019) Latest trends for structural steel protection by using intumescent fire protective coatings: a review. *Surface Engineering*. № 36(4). C. 334–363. DOI:10.1080/02670844.2019.1636536.
2. Andryushchenko, L., Borysenk, V., Horoneskul, M., Kudin, O. (2019). Intumescent fireproof coatings in modern construction (review) [Intumescent fireproof coatings in modern construction (review)] *Problems of emergency situations*. № 1(29). P. 121–138. DOI: 10.5281/zenodo.2602899 [in Ukrainian].
3. Mariappan T. (2016) Recent developments of intumescent fire protection coatings for structural steel: A review. *Journal of Fire Sciences*. № 34(2). C. 120–163. DOI:10.1177/0734904115626720.
4. Zybina O., Gravit M. (2020) Intumescent Coatings for Fire Protection of Building Structures and Materials. *Springer Series on Polymer and Composite Materials*. 216 p. DOI:10.1007/978-3-030-59422-0.
5. Byelikov, A. S., Kovalenko, O. V., Klymenko, H. O., Kharchenko, V. V. (2022). Do pytannya znyzhennya horyuchosti ta pidvyshchennya vohnestiykosti metalevykh konstruktiv [To the issue of reducing the flammability and increasing the fire resistance of metal structures] *Ukrayins'kyi zhurnal budivnytstva ta arkhitektury*, № 4(010), S. 20–25 DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.250822.20.873 [in Ukrainian].
6. Hryhorenko, O. M., Zolkina, Ye. S. (2018) Doslidzhennya spuchuvannya vohnezakhysnykh epoksyaminnykh pokryttiv, modyfikovanykh metalovmisnymy dobavkamy [Study of swelling of fire-resistant epoxyamine coatings modified with metal-containing additives] *Problemy pozharnoy bezopasnosti*, (43), 31–37. <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/8272> [in Ukrainian].
7. Demidov, D. V., Saienko, N. V., Bykov, R. O., Saienko, L. V., Il'yenko, K. O. (2019) Spryamovane rehulyuvannya horyuchosti ta vohnezakhysnykh kharakterystyk lakofarbovykh pokryttiv [Directional regulation of flammability and fire-resistant characteristics of paint coatings] *Intehrovani tekhnolohiyi promyslovosti*. Vyp. 1. S. 52–60. <https://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/41287> [in Ukrainian].
8. Lucherini A., Maluk C. (2019). Intumescent coatings used for the fire-safe design of steel structures: A review. *Journal of Constructional Steel Research*, 162, 105712. DOI:10.1016/j.jcsr.2019.105712.
9. Vakhitova, L., Kalafat, K., Plavan, V., Bessarabov, V., Taran, N., Zagoriy, G. (2021) Comparing the effect of nanoclays on the water-resistance of intumescent fire-retardant coatings. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 3(6), 111. DOI: 10.15587/1729-4061.2021.232822 [in Ukrainian].
10. Directive 2004/42/ec Of The European Parliament And Of The Council of April 21, 2004 on the limitation of emissions of volatile organic compounds due to the use of organic solvents in certain paints and varnishes and vehicle refinishing products and amending Directive 1999/13/EC (OJ L 143, 30.4.2004, p. 87). <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2004/42/oj> [in Ukrainian].
11. Vakhitova, L. M., Taran, N. A., Kalaf, K. V., Prydat'ko, S. P., Prudchenko, A. P., Podkopayev S. V. (2019). Vplyv nanokompozytiv styrolakrylatu na vohnezakhysnu efektyvnist' reaktivnoho pokryttya intumescenentnoho typu. [The effect of styrene acrylate nanocomposites on the fire-retardant efficiency of reactive intumescent-type coatings] *Visti Donets'koho hirnychoho instytutu*, 1(44), 87-99. doi: <https://doi.org/10.31474/1999-981x-2019-1-87-99> [in Ukrainian].
12. Gurina, G., Druzhynin, Y., Saienko, N. V., Skripinets, A. (2023). Methods for Optimizing the Content of VOCs to Create Environmentally Friendly Materials for Protective Coatings. *Solid State Phenomena*, 350, 21–30. DOI:10.4028/p-QrkwR6 [in Ukrainian].
13. Karavayev, T. A. (2015) *Vodno-dispersiyni farby: tovaroznavcha otsinka: monografiya* [Water-dispersive paints: commodity evaluation: monograph]. K.: Kyiv. nats. torh.-ekon. un-t. – 288 s. <https://knute.edu.ua/file/MjExMzA=/ff52647f4f415bc14204d693158cd5e6.pdf> [in Ukrainian].
14. Asauliyuk, T. S., Semeshko, O. Ya, Saribeykova, Yu. H, Kulish, I. M. (2020). Polimerni pokryttya dlya spetsial'nykh vydiv obrobky bavovnyanykh tekstyl'nykh materialiv [Polymer coatings for special types of processing of cotton textile materials]. Kherson: Vydavnytstvo «Typohrafiya STAR». – 110 s. <https://eir.kntu.net.ua/jspui/handle/123456789/245> [in Ukrainian].
15. Saienko, N. V., Demidov, D. V., M'yakykh, M. A. (2016). Pervynna otsinka vohnezakhysnykh vlastyvostey vodno-dispersiynykh akrylovykh pokryttiv teploizolyatsiynoho pryznachennya [Initial evaluation of the fire-retardant properties of water-dispersion acrylic coatings for thermal insulation purposes]. *Naukovyy visnyk budivnytstva*, 86(4), 154–157. <https://svc.kname.edu.ua/index.php/svc/issue/view/28>. [in Ukrainian].
16. Hryhorenko, O. M., Zolkina, Ye. S. (2020). Doslidzhennya zalezhnosti kratnosti spuchennya epoksyopolimeru vid vmistu polifosfatu amoniyu, pentaerytrytu ta interkalovanoho hrafitu [Research on the dependence of the swelling ratio of epoxy polymer on the content of ammonium polyphosphate, pentaerythritol and intercalated graphite] *Zbirnyk naukovykh prats'*. Vypusk 48, 2020. S. 30–36 <https://nuczu.edu.ua/images/topmenu/science/zbirky-naukovykh-prats-ppb/ppb48/5.pdf> [in Ukrainian].
17. Vakhitova, L. N., Taran, N. A., Lapushkin, M. P., Rybak, V. V., Dryzhd, V. L., Burdyna, Ya. F. (2014). Vplyv struktury aminu na vohnezakhysnu efektyvnist' systemy polifosfat amoniyu/pentaerytryt/amin [The effect of amine structure on the flame retardant performance of the ammonium polyphosphate/pentaerythritol/amine system]. *Naukovi pratsi Donets'koho natsional'noho tekhnichnoho universytetu. Seriya: Khimiya i khimichna tekhnolohiya*, (1), 142–149. http://nbuv.gov.ua/UJRN/Npdntu_chem_2014_1_17 [in Ukrainian].
18. Wuqing, D. U., Jingyi, B. I., Min, L. I., Yingyan, L. I. U., Zhiyong, H. U. A. N. G., Chuhong, L. I. N. (2017). Study on formula of styrene acrylic emulsion intumescent flame retardant coating. *China Safety Science Journal*, 27(8), 38. doi: 10.16265/j.cnki.issn1003-3033.2017.08.007
19. Hryhorenko, O. M., Lypovyy, V. O., Pyshnyak, A. M. (2016). Doslidzhennya vplyvu amofosu ta tryhidratu oksydu alyuminiyu na horyuchist' ta kratnist' spuchuvannya epoksyopolimeriv [Study of the effect of ammophos and aluminum oxide trihydrate on the

- flammability and swelling rate of epoxy polymers]. *Problemy pozhzhnoyi bezpeky. Zbirnyk naukovykh prats'*. Vypusk 39, S. 73–77. http://repositc.nuczu.edu.ua/bitstream/123456789/722/1/Hryhorenko_Lipovoy_Pyshnjak.pdf [in Ukrainian].
20. Sholohon, V. I., Vakhitov, R. A., Kalafat, K. V., Taran, N. A., Bessarabov, V. I., Vakhitova, L. M. (2023). Modyfikatsiya ta armuvannya epoksydnykh pokryttiv intumescentsentnoho typu. [Modification and reinforcement of intumescent type epoxy coatings]. *Tekhnolohyy y ynzheneryya*, (3), 77–88. <https://doi.org/10.30857/2786-5371.2023.3.8> [in Ukrainian].
21. Berezovskyy A., Kopyl, B., Ishchenko, I., Saienko, N. (2023). Vplyv spivvidnoshennya vohnezakhysnykh komponentiv na vohnezakhysnu efektyvnist' pokryttiv metalevykh konstruksiy na vodniy osnovi [The influence of the ratio of flame retardant components on the fire retardant efficiency of water-based coatings of metal structures]. *Nadzvychni situatsiyi: poperedzhennya ta likvidatsiya*, 7(2), 19–28. DOI:<https://doi.org/10.31731/2524.2636.2023.7.2.19.28> [in Ukrainian].
22. Demidov, D. V., Saienko, N. V., Popov, Yu. V., Bykov, R. O., Umans'ka T. I. (2018). Reolohichni ta enerhetychni kharakterystyky vysokonapovnenykh akryl-styrol'nykh vodnykh dyspersiy [Rheological and energetic characteristics of highly filled acrylic-styrene aqueous dispersions]. *Naukovyy visnyk budivnytstva*, 94 (4), 171–177. DOI:10.20998/2078-5364.2021.2.02 [in Ukrainian].
23. Makarov, A. S., Andreeva, I. A., Tretinnik, V. Y. (2001) Rheological properties of polymer-containing aqueous aerosil dispersions, *Colloid Journal*, Vol. 63, № 6, pp. 731–737. <https://www.pist.tn/record/4521?ln=en>.
24. Saienko, N. V., Bikov, R., Skripinets, A., Demidov, D. V. (2021). Research of the influence of silicate fillers on water absorption and microstructure of styrene-acrylic dispersion coatings. In *Materials Science Forum*. Trans Tech Publications Ltd. (Vol. 1038, pp. 61–67). <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.1038.61>.

STUDY OF THE INFLUENCE OF INTUMESCENT FILLERS ON WATER ABSORPTION OF FIREPROOF COATINGS OF METAL STRUCTURES BASED ON ACRYLIC DISPERSION

A. Berezovskyy¹, N. Saienko², B. Kopyl¹

¹*Cherkasy Institute of Fire Safety of National University of Civil Defence of Ukraine, Ukraine*

²*National University of Civil Defence of Ukraine, Ukraine*

KEYWORDS:

fire protection, metal structure, fire-resistant coatings, swelling, water absorption, fire-resistant effectiveness of coatings, intumescent fillers

ANNOTATION

Fire protection of metal structures is an important factor in ensuring fire protection of both a specific building structure and the entire building as a whole. Intumescent (reactive) polymer fire retardant coatings are ideal for solving this problem. A styrene-acrylic dispersion Acronal 290D based on a copolymer of acrylic ester (butyl acrylate) and styrene was chosen as an aqueous dispersion for the film former. Pentaerythrite (PE) was used as a raw material for the formation of the carbon framework of the swollen layer. As a source of inorganic acid, currently one of the frequently used classes for thermoplastic and thermosetting polymers is phosphorus-based flame retardants (in this case, PFA). Aluminum hydroxide was used as a gas-forming agent. To assess water absorption, the prepared plates with experimental coatings were immersed in distilled water (water temperature 23 ± 2 °C), after predetermined time intervals (1, 5, 15, 20, 25 and 30 days), the plates were successively removed from the water, dried with filter paper and weighed. The article presents the main features of the effect of intumescent fillers on the water absorption of fire-resistant coatings for the protection of metal structures based on acrylic dispersion. It is emphasized the importance of developing new fire-resistant coatings for metal structures, which will take into account not only protection against the effects of high temperatures and fire in fire conditions, but also prevent moisture sorption to the protected structures. The article compares the effect of intumescent fillers of the ammonium polyphosphate / pentaerythritol / aluminum hydroxide / styrene-acrylic dispersion system on the water absorption of fire-resistant coatings of metal structures. The obtained results can be used in the development of waterproof fire-resistant coatings for metal structures based on the ammonium polyphosphate / pentaerythritol / aluminum hydroxide / styrene-acrylic dispersion system.