

РЕЦЕНЗІЯ

на дисертацію КОПИЛА Богдана Яковича «Підвищення ефективності реактивних вогнезахисних покривів для металевих конструкцій шляхом забезпечення міцності коксового шару», представлену на здобуття наукового ступеня доктора філософії в галузі знань 26 – цивільна безпека, за спеціальністю 261 – пожежна безпека

Актуальність теми дисертації.

Одним із найбільш ефективних засобів захисту металу є вогнезахисні покриви реактивного типу, які під впливом температури здатні утворювати спінений теплоізоляційний шар (пінококс). Реактивні покриви на основі водних полімерних дисперсій набули широкого поширення завдяки своїй екологічності, технологічності застосування та можливості нанесення на значні площі металевих конструкцій. Важливо відзначити, що такі покриви є особливо ефективними для металевих елементів складної конфігурації, зокрема зварних швів, вузлів жорсткості, перфорацій, кріплень, профільованих балок, колон і ферм. Здатність цих покривів рівномірно формувати захисний пінококс на поверхнях різної геометрії забезпечує їх високу універсальність та дає змогу застосовувати у конструкціях, де традиційні вогнезахисні рішення (мінеральні плити, обмотки, штукатурки) є малоефективними або непридатними.

Основними показниками ефективності реактивних систем традиційно вважаються лінійний та об'ємний коефіцієнти спучення, які характеризують здатність покриву до кратного збільшення об'єму коксового шару та утворення теплоізоляційного бар'єра.

Разом з тим сучасні дослідження свідчать про те, що:

– високе спучення саме по собі не забезпечує належного вогнезахисного ефекту, якщо сформований шар не має достатньої механічної міцності;

– руйнування коксового шару в реальних умовах пожежі часто відбувається внаслідок дії потоків гарячих газів, механічних ударів та часткового обвалення елементів конструкцій;

– наявні методи випробувань не дають можливості коректно оцінити міцність пінококсу, оскільки переважно базуються на локальному ідентуванні, яке не відтворює реальних умов навантаження.

Водночас на сьогодні відсутня уніфікована та стандартизована методика кількісного визначення цієї характеристики, причому дана проблема є спільною для всіх типів реактивних покривів незалежно від природи полімерної матриці. Зокрема, це стосується і покривів на основі водних полімерних дисперсій, для яких методи оцінювання механічної міцності сформованого пінококсового шару залишаються недостатньо розробленими та потребують подальшого наукового обґрунтування і стандартизації.

Повнота викладення наукових положень, висновків та рекомендацій в опублікованих працях. Робота містить анотацію, зміст, вступ, чотири розділи, висновки, список використаних джерел та додатки. Загальний обсяг дисертації становить 233 сторінки, з них основного тексту 167 сторінок, 26 таблиць, 44 рисунки, список використаних джерел містить 150 найменувань та займає 16 сторінок, а також 2 додатки на 8 сторінках.

Обсяг друкованих робіт та їх кількість відповідають вимогам постанови Кабінету Міністрів України від 12.01.2022 № 44 «Про затвердження Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії» (зі змінами).

Обґрунтованість, достовірність наукових положень, висновків та рекомендацій підтверджені результатами аналізу актуальних наукових публікацій та вимог нормативних документів з визначення механічної міцності коксового шару вогнезахисних покривів; відповідністю розроблених методів дослідження поставленій меті і завданням; адекватністю та достовірністю отриманих результатів експериментальних досліджень; удосконалення науково обґрунтованого методу визначення механічної міцності коксового шару, що формується реактивними вогнезахисними покриттями, на основі водної дисперсії полімеру в умовах термічного впливу; апробацією та застосуванням на практиці впроваджених результатів досліджень.

Встановлено закономірний вплив реактивностатних компонентів (ПФА, ПЕ, $Al(OH)_3$) на вогнезахисну ефективність і експлуатаційні властивості стирол-акрилових покривів для металевих конструкцій. Вперше розроблено комбінована композиція складу вогнезахисного покриття ПФА:ПЕ: $Al(OH)_3 = 25:15:40$ мас.%, яка реалізує синергізм «спучення-міцність», тобто зростання частки ПЕ підвищує спучення, але знижує міцність, а введення $Al(OH)_3$ до 40 мас.% підвищує механічну стійкість завдяки формуванню оксидного каркасу, що дозволило визначити оптимальне співвідношення як таке, що забезпечує збалансоване поєднання достатнього спучення та структурної стабільності шару в умовах пожежі.

Встановлено оптимальне співвідношення ПФА : ПЕ : $Al(OH)_3 = 25 : 15 : 40$ мас.% для стирол-акрилових покривів для металевих конструкцій, що забезпечує збалансоване поєднання достатнього спучення та структурної стабільності шару в умовах впливу пожежі. Удосконалено склад реактивної системи шляхом комбінованого використання ПФА, ПЕ та $Al(OH)_3$, що підвищує механічну міцність пінококсу завдяки формуванню оксидного каркасу та забезпечує зниження температури продуктів горіння у 1,6 рази, перехід матеріалу до груп горючості Г1 та поширення полум'я І1, зменшення димоутворення на 60–65 % (до групи Д2). Розроблений покрив за показниками вогнезахисної ефективності не поступається промисловим

аналогам і забезпечує межу вогнестійкості R30–R40 при товщині шару 1–2 мм.

У результаті чисельного моделювання в ANSYS Explicit Dynamics відтворено напружено-деформований стан спученого вогнезахисного покриття для металевих конструкцій під локальним навантаженням та визначено його граничні міцнісні характеристики. Вперше розроблено модель захисної системи, яка враховує реальні розміри експериментального зразка, включаючи металеву пластину, вогнезахисний покрив та стандартні щільні вантажі, та дозволила максимально точно відтворити напружено-деформований стан спученого вогнезахисного покриття для металевих конструкцій при локальному навантаженні та визначити його граничні міцнісні характеристики. Встановлено, що при досягненні напружень близько 5000 Па (гранична сила 1,57 Н) відбувається локальне руйнування пінококсу, а деформації досягають 19,964 мм, що відповідає повній втраті несучої здатності шару.

Удосконалено метод кількісного визначення механічної міцності пінококсів шару вогнезахисних покриттів для металевих конструкцій шляхом теоретичного обґрунтування та експериментального підтвердження застосування розподіленого навантаження стандартизованими щільними вантажами, який, на відміну від існуючого пенетраційного методу, враховує механізм руйнування коксового шару при зовнішньому механічному впливі, що підтверджується суттєвими відмінностями результатів порівняно з методом розподіленого навантаження (1,14–10,68; у середньому 3,19 рази). Найбільша розбіжність між методами спостерігається для складу з ПЕ 10 мас.% та $Al(OH)_3$ 20 мас.%, де різниця між отриманими значеннями перевищує порядок величини ($K = 10,68$). Це підтверджує, що пенетраційний метод характеризує переважно локальний опір пробиттю поверхневих шарів пінококсу, тоді як метод розподіленого навантаження відображає інтегральну несучу здатність усієї пористої структури.

Відповідність мети, об'єкту, предмету та завдань дослідження галузі знань та паспорту спеціальності.

Мета дисертаційного дослідження – підвищення достовірності оцінювання ефективності вогнезахисних покриттів для металевих конструкцій на основі водної дисперсії полімеру шляхом удосконалення науково обґрунтованого методу визначення механічної міцності коксового шару, що формується в умовах термічного впливу, для підвищення ефективності реактивних вогнезахисних покриттів металевих конструкцій.

Для досягнення мети були поставлені та вирішені наступні завдання:

1. Провести аналіз стану проблематики вогнезахисту металевих будівельних конструкцій.

2. Обґрунтувати вибір матеріалів і методів дослідження для оцінювання вогнезахисної ефективності та механічної міцності пінококсу.

3. Дослідити вплив компонентів на вогнезахисну ефективність та експлуатаційні властивості розроблених покривів для металевих конструкцій на основі стирол-акрилової дисперсії.

4. Визначити критичне навантаження та механізм втрати міцності сформованого пінококсового шару вогнезахисного реактивного покриву для металевих конструкцій шляхом моделювання механічного навантаження та підвищити механічну міцність сформованого теплоізоляційного шару покривів реактивного типу шляхом оптимізації компонентного складу.

5. Удосконалити метод визначення механічної міцності коксового шару вогнезахисних покривів для металевих конструкцій з метою кількісної оцінки здатності реактивних систем формувати структурно стабільний теплоізоляційний шар.

Об'єкт дослідження – процеси формування та механічної стабільності пінококсового шару вогнезахисних покривів для металевих конструкцій в умовах термічного впливу.

Предмет дослідження – залежності впливу вмісту компонентів на ефективність реактивних вогнезахисних покривів для металевих конструкцій на основі водної дисперсії полімеру з урахуванням механічних показників сформованого коксового шару.

Дисертаційна робота відповідає галузі знань 26 – цивільна безпека, за спеціальністю 261 – пожежна безпека.

Практичне значення отриманих результатів.

Практичне значення полягає у розробленні та впровадженні методу кількісного визначення питомої міцності коксового шару із застосуванням розподіленого статичного навантаження, що може бути використано в лабораторній практиці та як основа для подальшої стандартизації оцінювання механічної стійкості реактивних покривів.

Результати дослідження впроваджено в:

- діяльність ТОВ «ВОГНЕБІЮЗАХИСТ» – Розроблений Копилом Б. Я. метод визначення механічної міцності коксового шару вогнезахисних покривів дозволяє обґрунтувати доцільність застосування розподіленого навантаження як більш адекватного інструменту оцінювання механічної стійкості спученого шару в умовах, наближених до реального пожежного впливу (акт упровадження від 07.04.2026);

- у роботу Державного центру сертифікації ДСНС України – розроблений метод може бути взятий за основу при розробці відповідної нормативної бази, а також рекомендацій та методик в Україні у вигляді засобів контролю та технологічних рекомендацій, які доповнюють нормативні документи на дослідження вогнезахисних покривів для металевих конструкцій на стирол-акриловій основі (акт упровадження від 10.04.2026);

- в освітній процес Національного університету цивільного захисту України, що підвищує якість лекційних і практичних занять для здобувачів вищої освіти (акт упровадження від 13.06.2026).

Загальні зауваження до дисертації. Незважаючи на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи, слід зазначити на деякі зауваження:

1. У дисертації детально не розкрито порівняння за показниками вогнезахисної ефективності з промисловими аналогами.

2. Відкритим залишилось питання чи запропонований метод дозволяє повністю відмовитися від існуючого на сьогодні пенетраційного методу.

3. У дисертації відсутнє обґрунтування економічної доцільності застосування удосконаленого методу.

Проте, зазначені зауваження не знижують значущості отриманих результатів дослідження та не впливають на загальну теоретичну і прикладну цінність дисертаційної роботи.

Загальна оцінка дисертації. У цілому розглянута дисертаційна робота «Підвищення ефективності реактивних вогнезахисних покривів для металевих конструкцій шляхом забезпечення міцності коксового шару» є закінченою науковою роботою, у якій вирішено важливе наукове завдання у галузі цивільної безпеки. Дисертація відповідає вимогам наказу Міністерства освіти і науки України «Про затвердження Вимог до оформлення дисертації» від 12.01.2017 № 40 (зі змінами) та постанови Кабінету Міністрів України «Про затвердження Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії» від 12.01.2022 № 44 (зі змінами), а її автор КОПИЛ Богдан Якович заслуговує присудження наукового ступеня доктора філософії в галузі знань 26 «Цивільна безпека» за спеціальністю 261 «Пожежна безпека».

Офіційний рецензент:

Начальник науково-дослідної лабораторії пожежної та техногенної безпеки навчально-наукового інституту пожежної та техногенної безпеки Національного університету цивільного захисту України
доктор технічних наук, професор

Олександр НУЯНЗІН

