

До разової спеціалізованої вченої ради PhD14518
у Київському національному університеті
технологій та дизайну,
01011, м. Київ, вул. Мала Шияновська, 2

РЕЦЕНЗІЯ ОФІЦІЙНОГО РЕЦЕНЗЕНТА

доктора технічних наук, професора кафедри хімічних технологій та
ресурсозбереження Київського національного університету технологій та
дизайну **ХОМЕНКА ВОЛОДИМИРА ГРИГОРОВИЧА**
на дисертаційну роботу **ВАХІТОВА РАМІЛЯ АЗАТОВИЧА**
«Розроблення технології полімерного вогнезахисного покриття
реактивного типу з удосконаленими реологічними властивостями», яка
представлена на здобуття наукового ступеня доктора філософії в галузі знань
16 Хімічна та біоінженерія за спеціальністю 161 Хімічні технології та
інженерія

**Актуальність теми дисертаційної роботи та її зв'язок з планами
науково-дослідних робіт.**

Дисертаційна робота Вахітова Раміля Азатовича присвячена розробленню високоефективних полімерних інтумесцентних покриттів для забезпечення вогнезахисту об'єктів у сценаріях стандартної та вуглеводневої пожежі. Проблематика підвищення ефективності пасивного вогнезахисту є надзвичайно актуальною для України, оскільки в умовах воєнного стану суттєво зростає небезпека виникнення пожеж унаслідок надзвичайних ситуацій цілеспрямованого характеру. Необхідність проведення досліджень у зазначеному напрямі зумовлена вимогами будівельної галузі щодо забезпечення підвищеного рівня вогнезахисту будівель і споруд, потребами оперативної відбудови об'єктів критичної інфраструктури, зруйнованих

вибуховою зброєю, а також запитами протипожежної галузі у надійних засобах вогнезахисту для повоєнного відновлення України.

Дисертаційна робота виконана відповідно до планів науково-дослідних робіт: № 39/24 «Створення волокнистих композиційних матеріалів на основі природних полімерів та дослідження їх властивостей» Київського національного університету технологій та дизайну; НДР III-04-24 «Розробка хімічних рішень з удосконалення реологічних властивостей засобів вогнезахисту» ІнФОВ НАН України (№ держреєстрації 0124U000208); НДР II-01-23 «Розроблення засобів хімічної та пожежної безпеки об'єктів оборонного призначення» ІнФОВ НАН України (№ держреєстрації 0123U100783); НДР III-04-26 «Розроблення нових засобів вогнезахисту на основі органо-неорганічних композитів» ІнФОВ НАН України (№ держреєстрації 0125U004338).

Ступінь обґрунтованості і достовірності наукових досліджень,

висновків та рекомендацій.

Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків та рекомендацій забезпечуються коректною постановкою мети і завдань дослідження, комплексним підходом до їх розв'язання, а також використанням сучасних методів дослідження. Для встановлення закономірностей формування вогнезахисних і реологічних властивостей інтумесцентних композицій застосовано комплекс фізико-хімічних, реологічних, термічних та вогневих методів дослідження, зокрема ІЧ-спектроскопію, сканувальну електронну мікроскопію, термогравіметричний аналіз і реометричні дослідження. Експериментальні дослідження виконано з використанням сучасного обладнання та відповідно до вимог чинних національних і європейських стандартів. Сформульовані у дисертації наукові положення та висновки є достатньо обґрунтованими, базуються на значному обсязі експериментальних даних і узгоджуються з сучасними науковими уявленнями щодо механізмів формування властивостей інтумесцентних покриттів. Обґрунтованість висновків і

рекомендацій підтверджується їх відповідністю отриманим результатам та змісту окремих розділів дисертаційної роботи.

Основні теоретичні положення, результати експериментальних досліджень та висновки, викладені в дисертації, знайшли відображення у великій кількості публікацій у наукових фахових виданнях та апробовані на всеукраїнських та міжнародних наукових конференціях.

Результати дослідження опубліковано у 28 наукових роботах, з них 2 – статті у закордонних журналах, що індексуються у міжнародних науково-метричних базах даних Scopus та/або Web of Science Core Collection, 9 статей у наукових фахових виданнях України, у т. ч. 1 стаття у фаховому виданні України категорії А, що індексується у науково-метричній базі даних Scopus, 5 статей в інших виданнях, з яких – 2 статті у зарубіжних виданнях та 12 тез доповідей на наукових конференціях.

Основні результати дослідження, ступінь їх наукової новизни та практичної значущості. В дисертаційній роботі вирішено дві важливі науково-технічні задачі:

- створено рецептуру та розроблено технологію вогнезахисного полімерного покриття інтумесцентного типу для сталевих конструкцій, що забезпечує межу вогнестійкості сталевих конструкцій R 150 для зведеної товщини металу $\sigma \geq 5,1$ мм, що має прогнозований термін експлуатації до 25 років;

- розроблено рецептуру комбінованої модифікації реології полімерної інтумесцентної фарби, яку рекомендовано наносити товщиною не менше 2 мм й тим самим удвічі скоротити витрати на вогнезахисне оброблення сталевих конструкцій.

Наукова новизна одержаних результатів. У дисертаційній роботі концептуально обґрунтовано та реалізовано технологію інтумесцентного покриття реактивного типу з поліпшеними реологічними властивостями, що

забезпечує межу вогнестійкості сталевих конструкцій не менше 150 хв та має прогнозований термін експлуатації понад 10 років. Отримані результати суттєво розширюють уявлення про механізми керування реологічними властивостями інтумесцентних композицій та створюють наукові передумови для розроблення високотехнологічних вогнезахисних матеріалів нового покоління. При цьому вперше:

- експериментально обґрунтовано доцільність застосування моделі Кассона для визначення граничних реологічних критеріїв технологічності інтумесцентних водно-дисперсійних фарб, що забезпечує виробничий контроль їх властивостей без використання складних реометричних приладів;
- визначено кореляційну залежність між основними реологічними параметрами інтумесцентної фарби (η_0 , τ_0 , η_∞) та технологічно допустимою товщиною мокрого шару, що забезпечує бездефектне формування покриття;
- запропоновано комбіновану систему модифікації реології вогнезахисної фарби, що обумовлює формування стабільної тиксотропної структури та нанесення шару товщиною не менше 2 мм за один прохід;
- встановлено, що модифікація інтумесцентного покриття сумішшю мінеральних волокон з різними температурами розкладання підвищує вогнезахисну ефективність покриття на 10-20 %. Доведено, що додавання суміші Lapinus CF50 та Lapinus MS605 у водно-дисперсійну фарбу реактивного типу дозволяє застосовувати інтумесцентне покриття для сталевих конструкцій в умовах вуглеводневої пожежі.

Наведені результати мають вагоме наукове значення, оскільки розвивають наукові уявлення про закономірності формування реологічних та вогнезахисних властивостей інтумесцентних покриттів і встановлюють взаємозв'язок між їх складом, технологічними характеристиками та вогнезахисною ефективністю.

Практичне значення отриманих результатів. Основна практична значущість результатів дисертаційної роботи полягає у:

- розробленні та впровадженні у виробництво технології

інтумесцентного вогнезахисного покриття для сталевих конструкцій, яке забезпечує межу вогнестійкості не менше 150 хв та прогнозований термін експлуатації до 25 років;

- створенні алгоритму прогнозування вогнезахисної ефективності та методики контролю реологічних властивостей інтумесцентних фарб, впроваджених у науково-дослідну практику;
- наданні практичних рекомендацій щодо керування реологією фарб, що забезпечують нанесення покриття мокрим шаром 1,0–2,5 мм без дефектів і сприяють зниженню витрат на вогнезахисну обробку;
- впровадженні результатів досліджень у освітній процес КНУТД під час підготовки здобувачів спеціальності 161 «Хімічні технології та інженерія».

Практична цінність роботи підтверджується впровадженням результатів у виробництво, науково-дослідну діяльність та освітній процес. Отримані результати мають високу прикладну значущість і можуть бути використані для створення конкурентоспроможних засобів пасивного вогнезахисту об'єктів цивільного, промислового та стратегічного призначення.

Оцінка змісту дисертації, її завершеність та дотримання принципів академічної доброчесності. Дисертаційна робота Вахітова Раміля Азатовича за змістом відповідає спеціальності 161 «Хімічні технології та інженерія» та присвячена вирішенню актуальної науково-технічної задачі розроблення технології полімерного інтумесцентного вогнезахисного покриття реактивного типу з удосконаленими реологічними властивостями. Структура роботи є логічною та послідовною: від аналізу сучасного стану проблеми і обґрунтування напрямів досліджень до експериментального підтвердження отриманих результатів, їх промислової апробації та впровадження. Усі поставлені завдання вирішено, а мету дисертаційної роботи досягнуто.

Основні наукові положення, висновки та практичні рекомендації належним чином обґрунтовані результатами теоретичних та

експериментальних досліджень. Матеріали дисертації викладено послідовно, отримані результати достатньо апробовані та опубліковані у фахових наукових виданнях і матеріалах наукових конференцій.

Аналіз дисертаційної роботи свідчить про самостійний характер проведених досліджень та належне використання наукових джерел. Запозичення супроводжуються відповідними посиланнями, а представлені результати відповідають вимогам академічної етики та доброчесності.

Особистий внесок здобувача є визначальним та полягає у постановці завдань дослідження, проведенні експериментів, аналізі результатів, розробленні технології та впровадженні отриманих результатів.

Аналіз змісту дисертаційної роботи. Дисертаційна робота складається із вступу, 5 розділів, висновків, списку використаних джерел (222 найменування на 28 сторінках), 7 додатків (на 26 сторінках), містить 50 таблиць та 65 рисунків. Основний текст роботи викладено на 215 сторінках. Загальний обсяг роботи становить 241 сторінку.

У вступі обґрунтовано актуальність досліджуваної проблеми, сформульовано мету та завдання дослідження, визначено основні положення, що виносяться на захист, а також наукову новизну і практичне значення роботи. Окреслено особистий внесок автора, наведено відомості про публікації за результатами досліджень, апробацію роботи, а також її структуру й обсяг.

У першому розділі розглянуто сучасні підходи до вдосконалення полімерних вогнезахисних покриттів реактивного типу, що застосовуються у будівництві. Основна увага зосереджена на інтумесцентних покриттях, які забезпечують вогнестійкість сталевих конструкцій. Визначено, що ефективність вогнезахисних покриттів залежить від їхнього складу, механізмів дії та термічної стабільності компонентів. Досліджено вплив різних типів полімерних матриць на вогнезахисні властивості покриттів із акцентом на доцільність застосування водно-дисперсійних систем з метою

підвищення екологічної безпеки. Проаналізовано хімічні та фізичні механізми формування коксового шару, який забезпечує теплоізоляційні властивості під час пожежі. Висвітлено значущість оптимізації співвідношення компонентів і реологічних характеристик для підвищення технологічності нанесення вогнезахисних покриттів.

У другому розділі обґрунтовано вибір об'єктів і методів дослідження реологічних, фізико-хімічних, термічних і вогнезахисних властивостей полімерних інтумесцентних композицій. Для досліджень використано сучасні фізико-хімічні методи, зокрема ІЧ-спектроскопію (Bruker Tensor 37 FT-IR), сканувальну електронну мікроскопію (SEM JSM-7100F), реометрію (Brookfield DV-III), термогравіметричний аналіз (Thermoscan-2), а також методи визначення товщини покриттів і вогневих випробувань із застосуванням сертифікованого обладнання. Розділ свідчить про комплексний і методично обґрунтований підхід до проведення досліджень.

Третій розділ присвячений розробленню та апробації алгоритму випробувань вогнезахисної ефективності інтумесцентних покриттів, призначених для забезпечення вогнестійкості будівельних конструкцій. У розділі також наведено результати, що свідчать про критичний вплив структури полімерної матриці на межу вогнестійкості. Покриття на основі співполімеру вінілацетат-етилен-вінілверсатат продемонстрували кращі показники порівняно зі стиролакрилатними покриттями. Встановлено залежність між температурою та коефіцієнтом спучення, що дає змогу класифікувати полімери за характером їхньої поведінки в умовах термічного впливу. Підкреслено доцільність виключення галогеновмісних полімерів з огляду на їхню шкідливість у разі пожежі. Досліджено вплив співвідношення поліфосфату амонію, меламіну та пентаеритриту на вогнезахисну ефективність покриттів. Результати вогневих випробувань засвідчують важливість оптимізації зазначених співвідношень для досягнення високих показників вогнестійкості ($R \geq 150$ хв).

У четвертому розділі застосовано методи математичного моделювання для визначення ключових реологічних параметрів вогнезахисної фарби реактивного типу. Використання рівняння Кассона дало змогу рекомендувати виробникам простий та ефективний алгоритм контролю реологічних властивостей, який забезпечує отримання технологічного продукту, придатного для нанесення мокрим шаром на металеві поверхні товщиною до 2,0 мм. Встановлено, що загущувачі на основі етерів целюлози (НЕМС) забезпечують стабільність фарби під час зберігання, але дозволяють наносити мокрий шар товщиною не більше 0,5 мм. Двокомпонентні та трикомпонентні системи НЕМС + наноглина + НЕUR (НАСЕ) підвищують стабільність композицій, однак не забезпечують нанесення шару товщиною понад 1 мм. Найбільш ефективними виявилися системи НЕМС + наноглина + R255 та НЕМС + наноглина + R255 + R278 (2 мас. %), які за результатами натурних випробувань забезпечують нанесення мокрого шару товщиною 1,5 та 2,0 мм відповідно за один прохід.

У п'ятому розділі розроблено технологічну схему одержання полімерного інтумесцентного покриття для сталевих конструкцій, яку впроваджено у виробництво на ТОВ «Ковлар Груп» (м. Київ), де виготовлено дослідно-промислову партію продукту масою 500 кг. Акт впровадження додається. За результатами вогневих випробувань розробленого інтумесцентного покриття відповідно до ДСТУ Б В.1.1-14:2007 доведено, що покриття забезпечує клас вогнестійкості сталевих конструкцій R 150 для зведеної товщини металу $\sigma \geq 5,1$ мм. Натурними експериментами встановлено, що реологічні властивості розробленої вогнезахисної фарби забезпечують можливість її нанесення мокрим шаром товщиною не менше 2,0 мм без утворення дефектів, провисання та стікання. Збільшення товщини мокрого шару під час нанесення дозволяє майже вдвічі скоротити витрати на вогнезахисне оброблення. За показниками вогнезахисної ефективності та реологічними властивостями розроблене інтумесцентне покриття перевершує аналоги вітчизняного виробництва і може бути застосоване на об'єктах

критичної інфраструктури, а також в оборонному та стратегічному секторах, де існує ймовірність виникнення пожеж за вуглеводневими сценаріями.

Дискусійні положення та зауваження до дисертаційної роботи.

Незважаючи на високий науковий рівень дисертаційної роботи, слід висловити деякі зауваження та побажання:

1. Дисертаційна робота присвячена розробленню інтумесцентного покриття, яке розглядається автором як пріоритетний засіб вогнезахисту об'єктів стратегічного призначення. Водночас доцільно обґрунтувати коректність такого вибору. Зокрема, у роботі не розглянуто альтернативні рішення, такі як штукатурні або інші теплоізоляційні покриття. Бажаним є проведення порівняльного аналізу вартості вогнезахисного оброблення сталевих конструкцій розробленою композицією та альтернативними засобами вогнезахисту (плитні матеріали, штукатурні системи тощо).
2. У дисертаційній роботі коефіцієнт спучення інтумесцентної системи прийнято як один з основних критеріїв оцінювання ефективності вогнезахисного покриття. Разом з тим доцільно чіткіше окреслити оптимальні значення цього параметра та обґрунтувати їх вибір з урахуванням вимог до вогнестійкості конструкцій.
3. Використання глини у складі інтумесцентних покриттів з метою підвищення вогнестійкості покриттів реактивного типу є відомим підходом до підвищення їхньої термостійкості. У зв'язку з цим доцільно більш чітко акцентувати увагу на науковій новизні отриманих результатів у цій частині та конкретизувати, у чому саме полягає новизна запропонованих рішень порівняно з відомими підходами.
4. У дисертаційній роботі детально досліджено вогнезахисні, реологічні та експлуатаційні властивості розроблених інтумесцентних покриттів. Разом з тим поза межами дослідження залишилися питання екологічної безпеки матеріалу, зокрема оцінювання можливого впливу покриття на довкілля під час експлуатації, а також дослідження складу і токсичності газоподібних

продуктів, що утворюються в процесі термічного розкладання та горіння інтумесцентної композиції. Проведення таких досліджень дозволило б комплексніше оцінити перспективи практичного застосування розробленого покриття та напрями його подальшого вдосконалення.

Зроблені зауваження мають рекомендаційний характер і не знижують наукової та практичної цінності дисертаційної роботи. Вони стосуються окремих аспектів подання матеріалу та не впливають на загальну обґрунтованість отриманих результатів і сформульованих висновків.

Загалом дисертаційна робота характеризується системним підходом до розв'язання поставлених науково-технічних завдань. На основі аналізу значного обсягу експериментальних даних і теоретичних досліджень автором розроблено рецептуру та технологію полімерного інтумесцентного вогнезахисного покриття для сталевих конструкцій, що поєднує високі показники вогнестійкості, технологічності та експлуатаційної надійності. Отримані результати мають наукову новизну і практичну значущість та свідчать про високий рівень виконання дисертаційної роботи.

Загальний висновок

Дисертаційна робота Вахітова Раміля Азатовича «Розроблення технології полімерного вогнезахисного покриття реактивного типу з удосконаленими реологічними властивостями» є завершеним, самостійно виконаним науковим дослідженням, у якому на високому науковому та методичному рівні вирішено актуальну науково-технічну задачу зі створення інтумесцентного покриття для сталевих конструкцій з підвищеними вогнезахисними, технологічними та експлуатаційними характеристиками.

Отримані результати характеризуються науковою новизною, достатнім рівнем обґрунтованості та достовірності, мають вагоме теоретичне значення для розвитку наукових засад створення інтумесцентних систем вогнезахисту та значну практичну цінність, що підтверджується впровадженням

результатів у виробництво, науково-дослідну діяльність і освітній процес. Сукупність отриманих результатів, їх апробація, публікаційна активність здобувача та практична реалізація розробленої технології свідчать про високий рівень виконання дисертаційної роботи.

За актуальністю, науковою новизною, теоретичним і практичним значенням, обсягом та рівнем проведених досліджень дисертаційна робота повністю відповідає вимогам Постанови Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44 «Порядок присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», а її автор, Вахитов Раміль Азатович, на основі публічного захисту заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 161 «Хімічні технології та інженерія».

Рецензент:

професор кафедри хімічних технологій

та ресурсозбереження

Київського національного університету

технологій та дизайну,

доктор технічних наук



Володимир ХОМЕНКО

