

До разової спеціалізованої вченої ради

PhD14518

у Київський національний

університет технологій та дизайну,

01011, м. Київ, вул. Мала Шияновська, 2

ВІДГУК ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА,

доктора філософії, доцента кафедри будівельних матеріалів Київського національного університету будівництва і архітектури **Цапка Олексія Юрійовича** 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 обраної теми досліджень та зв'язок її з науковими програмами, планами і темами

Забезпечення нормативного рівня вогнестійкості сталевих конструкцій є одним із важливих завдань сучасного будівництва, оскільки в умовах пожежі сталь швидко втрачає несучу здатність. Тому розроблення ефективних засобів пасивного вогнезахисту, зокрема інтумесцентних покриттів реактивного типу, є актуальним науковим і практичним завданням.

Особливого значення ця проблема набуває в умовах післявоєнного відновлення України, розвитку інфраструктури та гармонізації національних вимог пожежної безпеки з європейськими стандартами. Водночас існує потреба у створенні вітчизняних вогнезахисних матеріалів з підвищеною ефективністю, тривалим терміном експлуатації, покращеними технологічними характеристиками та економічною доцільністю застосування.

Дисертаційна робота Вахітова Раміля Азатовича присвячена вирішенню важливої науково-прикладної проблеми – розробленню технології полімерного інтумесцентного покриття реактивного типу з удосконаленими вогнезахисними

та реологічними властивостями. Обраний напрям досліджень повністю відповідає сучасним тенденціям розвитку хімічних технологій полімерних композиційних матеріалів та світовим трендам у галузі пасивного вогнезахисту сталевих конструкцій.

Таким чином, тема дисертаційної роботи є актуальною як з наукової, так і з практичної точки зору, а отримані результати мають важливе значення для розвитку технологій вогнезахисних полімерних покриттів і підвищення рівня пожежної безпеки будівель і споруд.

Важливість обраного в дисертаційній роботі напрямку досліджень підкреслює і те, що основні етапи роботи виконувались у відповідності з державними науковими програмами: №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); III-04-26 «Розроблення нових засобів вогнезахисту на основі орґано-неорґанічних композитів» ІнФОВ НАН України (№ держреєстрації: 0125U004338).

Ступінь обґрунтованості та достовірності наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації

Наукові положення, висновки та рекомендації, наведені в дисертаційній роботі, є достатньо обґрунтованими, достовірними та логічно пов'язаними з отриманими результатами досліджень. Їх аргументованість забезпечується комплексним підходом до вирішення поставлених завдань, ґрунтовним аналізом сучасних наукових джерел, результатів досліджень вітчизняних і зарубіжних учених, а також сучасного стану розвитку технологій інтумесцентного вогнезахисту.

Достовірність отриманих результатів забезпечується використанням сучасних методів експериментальних досліджень, достатнім обсягом проведених випробувань, коректним застосуванням методів математичної обробки експериментальних даних та узгодженістю отриманих результатів із відомими науковими положеннями у галузі хімічних технологій полімерних композиційних матеріалів і засобів пасивного вогнезахисту.

Слід відзначити послідовність і системність проведених досліджень. Автором обґрунтовано обрано об'єктом дослідження закономірності формування вогнезахисних та реологічних властивостей інтумесцентних полімерних композицій, а предметом дослідження – технологію полімерного інтумесцентного покриття для сталевих конструкцій з удосконаленими вогнезахисними та реологічними характеристиками. Відповідно до поставленої мети у роботі послідовно вирішено комплекс взаємопов'язаних наукових і прикладних завдань, результати яких знайшли відображення у висновках дисертації.

Практична значущість отриманих результатів підтверджується впровадженням розробленої технології у виробництво та проведенням натурних випробувань, що додатково підтверджує достовірність висновків і рекомендацій автора. Загалом ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертаційній роботі, є достатнім і не викликає сумнівів.

Наукова новизна отриманих результатів

Наукова новизна дисертаційної роботи визначається комплексним підходом до вирішення актуальної науково-прикладної проблеми створення інтумесцентних полімерних покриттів для сталевих конструкцій, який поєднує дослідження механізмів формування вогнезахисних властивостей із цілеспрямованим керуванням реологічними характеристиками композицій. Отримані результати розширюють наукові уявлення про закономірності формування ефективних інтумесцентних систем і створюють підґрунтя для розроблення конкурентоспроможних вогнезахисних матеріалів нового

покоління. До найбільш вагомих результатів, отриманих автором уперше, належать:

1. 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;
2. 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;
3. запропоновано комбіновану систему модифікації реології вогнезахисної фарби, що обумовлює формування стабільної тиксотропної структури та нанесення шару товщиною не менше 2 мм за один прохід;
4. 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.

Важливим аспектом наукової новизни роботи є те, що автору вдалося комплексно пов'язати вогнезахисні характеристики інтумесцентних покриттів із їх реологічною поведінкою на стадії нанесення та експлуатації. Це дозволило сформувати науково обґрунтовані підходи до створення вогнезахисних покриттів, які поєднують високий рівень вогнестійкості, технологічність нанесення та придатність до промислового впровадження.

Практичне значення отриманих результатів

Практичне значення дисертаційної роботи полягає у розробленні та впровадженні у виробництво технології полімерного інтумесцентного вогнезахисного покриття реактивного типу з удосконаленими реологічними властивостями, яке забезпечує межу вогнестійкості сталевих конструкцій не менше 150 хвилин та прогнозований термін експлуатації до 25 років.

Технологію впроваджено на підприємстві ТОВ «Ковлар Груп», де виготовлено дослідну партію продукції.

Важливим практичним результатом роботи є розроблення та апробація алгоритму прогнозування експлуатаційних і вогнезахисних характеристик інтумесцентних покриттів на етапі їх створення. Запропонований підхід дозволяє за результатами комплексу лабораторних досліджень оцінювати очікувану межу вогнестійкості сталевих конструкцій, прогнозований строк експлуатації покриття та відповідність його основних характеристик вимогам чинних нормативних документів. Це дає змогу суттєво скоротити обсяг дороговартісних натурних випробувань і прискорити розроблення нових вогнезахисних матеріалів.

Практичну цінність мають також розроблені рекомендації щодо контролю та регулювання реологічних властивостей інтумесцентних фарб, які забезпечують можливість нанесення покриття товстими шарами без утворення дефектів і сприяють зниженню витрат на виконання вогнезахисних робіт.

Результати досліджень впроваджено в освітній процес Київського національного університету технологій та дизайну під час підготовки здобувачів за спеціальністю 161 «Хімічні технології та інженерія», а також апробовано та впроваджено в практику роботи лабораторії хімічних досліджень засобів вогнезахисту Інституту фізико-органічної хімії і вуглехімії ім. Л.М. Литвиненка НАН України.

Аналіз змісту дисертації за розділами

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

У першому розділі дисертації наведено ґрунтовний аналіз сучасного стану наукових досліджень у галузі інтумесцентного вогнезахисту сталевих конструкцій. Розглянуто основні механізми дії інтумесцентних покриттів, роль компонентів класичної системи поліфосфат амонію – меламін – пентаеритрит

(APP/MA/PE), закономірності формування теплоізоляційного коксового шару, а також вплив полімерного сполучного на процеси термічного розкладу та ефективність вогнезахисту. Слід відзначити високий рівень опрацювання літературних джерел. Автором проаналізовано значний масив сучасних наукових публікацій, зокрема роботи провідних наукових шкіл Європи, США та Китаю. Особливо важливо, що переважна більшість використаних джерел належить до останніх років, що свідчить про належне володіння здобувачем сучасним станом проблеми. Літературний огляд має не описовий, а аналітичний характер. Автор не лише систематизує наявні наукові дані, а й критично оцінює наявні підходи, виявляє їхні переваги та обмеження, обґрунтовує необхідність проведення власних досліджень. На підставі проведеного аналізу коректно сформульовано мету, завдання, об'єкт і предмет дослідження.

У другому розділі наведено характеристику об'єктів дослідження, вихідних матеріалів, обладнання та комплексу експериментальних методик. Детально описано методи визначення реологічних характеристик, фізико-механічних властивостей, коефіцієнта спучення, вогнезахисної ефективності та довговічності інтумесцентних покриттів. Позитивною особливістю роботи є побудова комплексної методології досліджень, яка охоплює весь цикл оцінювання вогнезахисного матеріалу – від лабораторних експрес-методів до повномасштабних випробувань сталевих конструкцій відповідно до вимог національних стандартів. Такий підхід дозволив забезпечити високу достовірність отриманих результатів і їхню практичну спрямованість. Важливо також, що всі використані методики достатньо детально описані та можуть бути відтворені іншими дослідниками, що відповідає сучасним вимогам до дисертаційних досліджень.

У третьому розділі наведено результати досліджень, спрямованих на створення інтумесцентного покриття з підвищеною вогнезахисною ефективністю. Одним із важливих результатів є розроблення алгоритму випробувань інтумесцентних систем, який дозволяє прогнозувати вогнезахисну ефективність на ранніх етапах створення матеріалу та суттєво скорочує обсяг дороговартісних натурних випробувань.

Автором проведено масштабні дослідження впливу природи полімерного сполучного на процеси формування вогнезахисних властивостей. Порівняно досліджено системи на основі стирол-акрилових, акрилових і вінілацетатних дисперсій. Показано, що полімерна матриця істотно впливає на характер термічного розкладу композиції, структуру коксового шару та кінцеві показники вогнестійкості.

Окремий цикл досліджень присвячено оптимізації співвідношення компонентів інтумесцентної системи APP/MA/PE. Встановлено оптимальні співвідношення між кислотним донором, газоутворювачем та джерелом вуглецю, що забезпечують формування однорідного спученого коксового шару з високою механічною міцністю та низькою теплопровідністю.

Значний інтерес викликають результати досліджень щодо армування коксового шару мінеральними волокнами. Показано, що використання суміші волокон різної термостійкості забезпечує додаткове зміцнення коксової структури та підвищує її стійкість до термомеханічного руйнування. Переконливо доведено можливість підвищення вогнезахисної ефективності покриттів шляхом керованого армування інтумесцентного коксу. Окремо досліджено вплив наноглин та інших мінеральних модифікаторів на властивості інтумесцентних систем. Встановлено, що введення наноглин сприяє формуванню більш щільної структури коксового шару, підвищує його термостійкість і покращує теплоізоляційні властивості покриття.

Четвертий розділ присвячений дослідженню закономірностей формування реологічних властивостей інтумесцентних водно-дисперсійних композицій та встановленню критеріїв їх технологічності. У роботі показано, що для опису реологічної поведінки досліджуваних систем доцільним є використання моделі Кассона. На основі аналізу експериментальних даних встановлено взаємозв'язок між параметрами моделі (η_0 , η_∞ , t_0) та максимально допустимою товщиною мокрого шару покриття, який може бути нанесений без виникнення технологічних дефектів.

Важливим результатом розділу є визначення діапазонів реологічних характеристик, які забезпечують стабільність композицій під час нанесення та

формування покриттів із заданими експлуатаційними властивостями. Отримані залежності можуть бути використані під час розроблення нових рецептур інтумесцентних матеріалів та оптимізації їхніх технологічних параметрів.

У роботі досліджено вплив різних типів реологічних модифікаторів, зокрема похідних целюлози, асоціативних поліуретанових загущувачів, акрилових загущувальних систем і наноглин, на структурно-механічні характеристики композицій. Проведені дослідження дозволили встановити особливості структуроутворення у високонаповнених інтумесцентних системах та оцінити ефективність окремих підходів до регулювання їхньої реологічної поведінки.

За результатами виконаних досліджень запропоновано комбінований підхід до модифікації реологічних властивостей інтумесцентних фарб, який забезпечує формування стабільної тиксотропної структури та можливість нанесення покриття мокрим шаром завтовшки понад 2 мм за один технологічний прохід. Отримані результати мають важливе практичне значення для створення товстошарових вогнезахисних покриттів з високими технологічними характеристиками.

У п'ятому розділі наведено результати промислової апробації та впровадження розробленої технології. Автором створено технологічну схему виробництва інтумесцентного покриття, визначено оптимальний склад сировини, параметри диспергування та змішування компонентів, а також критерії контролю якості готової продукції.

За результатами комплексу випробувань підтверджено можливість забезпечення межі вогнестійкості сталевих конструкцій на рівні не менше R150. Виконані прискорені кліматичні випробування дозволили обґрунтувати прогнозований строк експлуатації покриття до 25 років.

Важливо відзначити, що автором успішно здійснено масштабування технології від лабораторного рівня до дослідно-промислового виробництва із збереженням досягнутих показників якості та вогнезахисної ефективності. Це свідчить про високий рівень готовності розробки до практичного впровадження та підтверджує її значну прикладну цінність.

Загалом наведені в дисертації результати свідчать про успішне поєднання фундаментальних досліджень процесів формування вогнезахисних і реологічних властивостей інтумесцентних композицій із вирішенням конкретних прикладних завдань, пов'язаних зі створенням конкурентоспроможної технології та готового до впровадження вогнезахисного матеріалу.

Оцінка змісту дисертації, її завершеність та дотримання принципів академічної доброчесності

Дисертаційна робота Вахітова Раміля Азатовича «Розроблення технології полімерного вогнезахисного покриття реактивного типу з удосконаленими реологічними властивостями» присвячена вирішенню актуального науково-прикладного завдання зі створення інтумесцентного покриття для сталевих конструкцій, яке поєднує високі показники вогнезахисної ефективності, довговічності та технологічності нанесення. Важливою особливістю роботи є комплексне дослідження закономірностей формування вогнезахисних властивостей інтумесцентних систем і механізмів регулювання їхньої реологічної поведінки.

Отримані результати мають не лише наукове, а й практичне значення. Розроблена технологія впроваджена у виробництво та підтверджена відповідними актами впровадження.

Метою дослідження є розроблення технології полімерного вогнезахисного покриття реактивного типу, що забезпечує межу вогнестійкості сталевих конструкцій не менше R150, прогнозований термін експлуатації до 25 років та можливість нанесення товстих шарів за один технологічний прохід.

До вагомих результатів роботи належать встановлення закономірностей впливу полімерної матриці, співвідношення компонентів інтумесцентної системи APP/MA/PE, мінеральних волокон і наноструктурованих модифікаторів на формування теплоізоляційного коксового шару та вогнезахисну ефективність покриттів. Важливим результатом є обґрунтування принципів армування коксового шару сумішшю волокон різної термостійкості,

що забезпечує підвищення його механічної міцності та ефективності в умовах інтенсивного теплового впливу, зокрема за вуглеводневого сценарію пожежі.

Особливий науковий інтерес становлять результати досліджень реологічних властивостей інтумесцентних композицій. Автором обґрунтовано використання моделі Кассона для опису реологічної поведінки водно-дисперсійних інтумесцентних фарб та встановлено кореляційні залежності між параметрами моделі (η_0 , η_∞ , τ_0) і максимально допустимою товщиною мокрого шару покриття. Це дозволило запропонувати науково обґрунтований підхід до прогнозування технологічності інтумесцентних фарб і розробити систему контролю їхніх реологічних властивостей.

Практичне значення роботи полягає у створенні технології виробництва інтумесцентного покриття, яке забезпечує межу вогнестійкості не менше R150, прогнозований строк експлуатації до 25 років та можливість нанесення мокрим шаром понад 2 мм без утворення патьоків і дефектів. Ефективність матеріалу підтверджена комплексом лабораторних, кліматичних та повномасштабних вогневих випробувань.

Оформлення дисертації відповідає встановленим вимогам, а її структура є логічною та узгоджується з поставленою метою і завданнями дослідження.

Результати роботи опубліковано у 16 наукових працях, з яких 11 статей у фахових виданнях України, у тому числі 3 – у виданнях, що індексуються міжнародними наукометричними базами, а також у тезах 12 наукових конференцій.

Під час аналізу дисертації та наукових публікацій здобувача ознак академічного плагіату, фабрикації, фальсифікації результатів досліджень або інших порушень принципів академічної доброчесності не виявлено. Дисертаційна робота є самостійно виконаним науковим дослідженням, а використання результатів інших авторів супроводжується належними посиланнями на відповідні джерела.

Дискусійні положення та зауваження до дисертаційної роботи

Загалом, позитивно оцінюючи дисертаційну роботу, вважаю за доцільне висловити окремі зауваження та побажання.

1. Одним із ключових напрямів дисертаційного дослідження є вивчення реологічних властивостей інтумесцентних композицій. Разом з тим у літературному огляді питанням реології приділено менше уваги, ніж це зроблено в експериментальній частині роботи. Більш детальний аналіз сучасних підходів до опису реологічної поведінки високонаповнених дисперсних систем міг би додатково посилити теоретичне підґрунтя дослідження.

2. У роботі розроблено алгоритм прогнозування та оцінювання вогнезахисної ефективності інтумесцентних покриттів, який є одним із важливих науково-практичних результатів дослідження. Водночас його опис у дисертації має переважно схематичний характер. Більш детальне текстове пояснення послідовності виконання окремих етапів, критеріїв переходу між ними та принципів інтерпретації отриманих результатів дозволило б повніше розкрити переваги запропонованого підходу та полегшити його впровадження у практику дослідження і розроблення вогнезахисних матеріалів.

3. У дисертації розглянуто значну кількість полімерних матриць і функціональних добавок, що забезпечило комплексний характер роботи. Разом з тим певний науковий інтерес становило б більш поглиблене дослідження однієї модельної системи, що дозволило б детальніше розкрити механізми формування вогнезахисних і реологічних властивостей інтумесцентних композицій.

4. Автором досліджено широкий спектр полімерних дисперсій, реологічних модифікаторів, наноглин та армувальних волокон, що дозволило встановити низку важливих закономірностей формування вогнезахисних і реологічних властивостей інтумесцентних композицій. Разом з тим у роботі недостатньо розкрито питання меж застосовності встановлених кореляційних залежностей між параметрами моделі Кассона (η_0 , η_∞ , τ_0) та технологічними характеристиками покриттів для систем іншого складу, зокрема для

композицій з іншими типами полімерних матриць або більш високим ступенем наповнення. Чи можна запропонований підхід до комбінованої модифікації реології застосувати для інших типів високонаповнених полімерних композицій, не пов'язаних із вогнезахистом?

5. Під час прогнозування довговічності покриття використано результати прискорених кліматичних випробувань, що є загальноприйнятим підходом для оцінювання експлуатаційних властивостей вогнезахисних матеріалів. Водночас становить науковий інтерес питання ступеня відповідності результатів прискореного та реального атмосферного старіння, особливо для інтумесцентних покриттів складного складу. Більш детальне обговорення цього аспекту дозволило б додатково обґрунтувати прогнозований термін експлуатації розробленого матеріалу.

6. У тексті дисертації трапляються окремі редакційні, стилістичні та термінологічні неточності. Зокрема, в окремих розділах використовуються спеціалізовані терміни без їх попереднього визначення (наприклад, «тріада», «карбонізуючий агент», «реологічні модифікатори»), а також різні термінологічні позначення для близьких або тотожних за змістом понять, зокрема «інтумесцентне покриття», «покриття реактивного типу», «реактивне покриття», «вогнезахисна фарба реактивного типу», «полімерна матриця», «полімерне сполучне», «плівкоутворювач». Крім того, при описі реологічних характеристик поряд використовуються терміни «межа текучості» та «межа плинності» для позначення параметра τ_0 . Також окремі положення висновків до розділів частково дублюють загальні висновки дисертації. Більш уніфіковане використання термінології та певне скорочення повторів сприяли б покращенню структури та сприйняття роботи.

Зазначені зауваження мають переважно редакційний і дискусійний характер, не впливають на достовірність отриманих результатів і не знижують загальної високої наукової та практичної цінності дисертаційної роботи.

Загальний висновок

Проведені дослідження та отримані результати свідчать про те, що дисертаційна робота Вахітова Раміля Азатовича є цілісною та завершеною науковою працею, у якій на належному науково-методичному рівні розв'язано важливе науково-прикладне завдання зі створення інтумесцентного вогнезахисного покриття з удосконаленими реологічними характеристиками. Результати роботи мають істотне значення для розвитку технологій полімерних композиційних матеріалів, розширюють наукові уявлення про закономірності формування вогнезахисних і реологічних властивостей інтумесцентних систем та характеризуються високим рівнем практичної апробації.

Аналіз змісту дисертації, наукових публікацій здобувача та представлених матеріалів дає підстави вважати, що дисертаційна робота за своїм змістом повністю відповідає спеціальності 161 «Хімічні технології та інженерія», вимогам Постанови Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 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), а також вимогам академічної доброчесності.

Вважаю, що Вахітов Раміль Азатович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії за спеціальністю 161 «Хімічні технології та інженерія».

Офіційний опонент:

доктор філософії, доцент

кафедри будівельних матеріалів

Київського національного

університету будівництва і архітектури _____ Олексій ЦАПКО

