

До разової спеціалізованої вченої ради
PhD14518
у Київський національний
університет технологій та дизайну,
01011, м. Київ, вул. Мала Шияновська, 2

ВІДГУК ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА,

доктора технічних наук, професора кафедри радіаційного і хімічного захисту Національного університету цивільного захисту України Скородумової Ольги Борисівни

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

Дисертаційна робота Вахітова Раміля Азатовича на тему «Розроблення технології полімерного вогнезахисного покриття реактивного типу з удосконаленими реологічними властивостями» подана на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 161 «Хімічні технології та інженерія» галузі знань 16 «Хімічна та біоінженерія».

Актуальність теми дисертаційного дослідження не викликає сумнівів. В умовах підвищених вимог до пожежної безпеки будівель і споруд особливого значення набуває створення ефективних засобів пасивного вогнезахисту сталевих конструкцій. Серед таких засобів провідне місце займають інтумесцентні покриття, які забезпечують необхідний рівень вогнестійкості за відносно невеликої товщини захисного шару. Водночас сучасні вогнезахисні покриття повинні не лише забезпечувати високі показники вогнестійкості, але й характеризуватися належними технологічними та реологічними властивостями, які дозволяють їх ефективне нанесення в промислових умовах

та на будівельних майданчиках. У зв'язку з цим дослідження закономірностей формування вогнезахисних і реологічних властивостей інтумесцентних полімерних композицій, а також розроблення технології покриття, здатного забезпечувати межу вогнестійкості сталевих конструкцій не менше 150 хвилин, є актуальним науковим і практичним завданням.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами

Тематика дисертаційної роботи відповідає пріоритетному напрямку розвитку науки і техніки України «Нові речовини і матеріали», а також стратегічному пріоритетному напрямку інноваційної діяльності щодо освоєння нових технологій виробництва матеріалів, їх оброблення та створення сучасних функціональних матеріалів. Отримані результати спрямовані на підвищення рівня пожежної та техногенної безпеки об'єктів будівництва, збереження життя і здоров'я людей та зменшення матеріальних збитків від пожеж.

Дисертаційна робота виконувалася відповідно до наукових досліджень, що проводилися у Київському національному університеті технологій та дизайну та Інституті фізико-органічної хімії і вуглехімії ім. Л.М. Литвиненка НАН України в межах науково-дослідних робіт, зареєстрованих за номерами 0124U000208, 0123U100783 та 0125U004338. Наукові результати дисертації безпосередньо пов'язані з виконанням зазначених НДР та спрямовані на створення нових полімерних композиційних матеріалів і технологій вогнезахисту сталевих конструкцій.

Таким чином, дисертаційна робота органічно пов'язана з актуальними науковими напрямами розвитку хімічних технологій, матеріалознавства та пожежної безпеки, а її результати мають вагоме значення для розвитку сучасних технологій пасивного вогнезахисту.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій

Ознайомлення зі змістом та структурою дисертаційної роботи Вахітова Раміля Азатовича дає підстави стверджувати, що в ній чітко сформульовано

актуальність теми, мету і завдання та об'єкт і предмет дослідження, обґрунтовано наукову новизну та практичне значення результатів дослідження.

Наукові положення, висновки та рекомендації, сформульовані в дисертаційній роботі, є достатньо обґрунтованими та підтверджуються значним обсягом теоретичних і експериментальних досліджень. Постановка мети та завдань дослідження є логічною, послідовною та повністю відповідає обраній темі роботи. Для досягнення поставленої мети автором сформовано комплекс взаємопов'язаних наукових і прикладних завдань, спрямованих на встановлення закономірностей формування вогнезахисних і реологічних властивостей інтумесцентних полімерних композицій та розроблення на цій основі ефективного покриття реактивного типу для сталевих конструкцій.

Для розв'язання поставлених завдань здобувачем використано сучасний комплекс фізико-хімічних, технологічних та вогневих методів дослідження. Обрані методики є адекватними та коректними і забезпечують отримання достовірних результатів.

Достовірність отриманих результатів підтверджується достатнім обсягом експериментальних досліджень, використанням стандартизованих методик випробувань, узгодженістю результатів лабораторних досліджень із результатами повномасштабних вогневих випробувань, а також промисловою апробацією розробленої технології. Суттєвою перевагою роботи є поєднання фундаментальних досліджень механізмів формування інтумесцентного коксового шару з практичною перевіркою отриманих результатів в умовах виробництва та реального нанесення покриття на сталеві конструкції. Наукові положення та висновки дисертаційної роботи логічно впливають із отриманих експериментальних результатів. Висновки повною мірою відповідають поставленим завданням дослідження та відображають основні наукові й практичні результати роботи.

Наукова новизна отриманих результатів

Наукова новизна дисертаційної роботи полягає у вирішенні важливого науково-прикладного завдання з розроблення технології полімерного вогнезахисного покриття реактивного типу з удосконаленими реологічними властивостями та підвищеною вогнезахисною ефективністю. Отримані

результати мають істотне значення для розвитку наукових основ створення інтумесцентних покриттів для сталевих конструкцій. До найбільш вагомих результатів, отриманих автором уперше, слід віднести:

- експериментальне обґрунтування доцільності застосування моделі Кассона для визначення граничних реологічних критеріїв технологічності інтумесцентних водно-дисперсійних фарб та розроблення підходу до виробничого контролю їх реологічних властивостей;

- встановлення кореляційної залежності між основними реологічними параметрами інтумесцентних композицій (η_0 , τ_0 , η_∞) та максимально допустимою товщиною мокрого шару покриття, що формується без дефектів;

- розроблення комбінованої системи модифікації реологічних властивостей інтумесцентних фарб на основі етерів целюлози, наноглин і гідрофобно модифікованих поліуретанів, яка забезпечує формування стабільної тиксотропної структури та нанесення шару товщиною не менше 2 мм за один прохід;

- встановлення закономірностей підвищення вогнезахисної ефективності покриттів шляхом модифікації інтумесцентної системи сумішшю мінеральних волокон різної термостійкості та доведення можливості використання таких покриттів в умовах вуглеводневої пожежі.

Подальшого розвитку набули наукові уявлення щодо механізмів формування термостійкого коксового шару інтумесцентних систем, впливу природи полімерної матриці на вогнезахисну ефективність покриттів, а також принципів модифікації реологічних властивостей полімерних композицій для забезпечення їх технологічності та довговічності.

На відміну від відомих досліджень у галузі інтумесцентного вогнезахисту, у роботі вперше комплексно поєднано питання забезпечення високої вогнезахисної ефективності покриття з керованим формуванням його реологічного профілю, що дозволило розробити технологію виробництва покриття, придатного для нанесення товстими шарами без утворення дефектів та забезпечення межі вогнестійкості сталевих конструкцій не менше R150.

Практичне значення отриманих результатів

Практична цінність дисертаційної роботи полягає у доведенні отриманих наукових результатів до рівня готової технології виробництва полімерного інтумесцентного покриття реактивного типу для вогнезахисту сталевих конструкцій. Розроблене покриття забезпечує межу вогнестійкості не менше 150 хвилин, характеризується високими експлуатаційними показниками та прогнозованим терміном служби до 25 років.

Сильною стороною дисертаційної роботи є її високий рівень практичної готовності. За результатами досліджень розроблено технологічну схему виробництва вогнезахисного покриття, здійснено промислове масштабування технології та виготовлено дослідну партію продукції. Отримані результати впроваджено у виробництво на ТОВ «Ковлар Груп», що підтверджено відповідними актами впровадження.

Практичний результат впровадження полягає у підвищенні вогнестійкості сталевих конструкцій до класу R150, покращенні технологічності нанесення покриття та забезпеченні можливості формування шару товщиною понад 2 мм за один прохід без утворення дефектів. Економічний ефект досягається за рахунок скорочення трудомісткості та вартості виконання вогнезахисних робіт. Соціальний ефект полягає у підвищенні рівня пожежної та техногенної безпеки будівель і споруд, збереженні життя і здоров'я людей та зменшенні матеріальних збитків у разі пожеж.

Аналіз змісту дисертації за розділами

Дисертація є завершеною кваліфікаційною науковою працею, що викладена на 241 сторінці, складається зі вступу, п'яти розділів, загальних висновків, списку використаних джерел та додатків. У дисертації наведено значний обсяг експериментальних даних, результати лабораторних і повномасштабних випробувань, а також матеріали щодо впровадження отриманих результатів у виробництво та освітньо-наукову діяльність. Структура дисертаційної роботи є логічною, послідовною та повною мірою відповідає поставленій меті й завданням дослідження.

У першому розділі наведено ґрунтовний аналіз науково-технічної літератури щодо складу, механізмів дії та напрямів удосконалення інтумесцентних вогнезахисних покриттів. Розглянуто роль окремих компонентів інтумесцентної системи, механізми утворення теплоізоляційного коксового шару, вплив полімерного сполучного на вогнезахисну ефективність покриттів, а також сучасні підходи до модифікації їх реологічних та експлуатаційних властивостей. На підставі проведеного аналізу автором коректно сформульовано мету та завдання дослідження.

У другому розділі наведено характеристику об'єктів дослідження, використаних матеріалів, обладнання та методик експериментальних досліджень. Детально описано методи приготування інтумесцентних композицій, визначення реологічних параметрів, вогнезахисної ефективності, фізико-механічних характеристик та математичної обробки результатів. Незважаючи на значний обсяг експериментальних досліджень, матеріал викладено чітко, послідовно та методично коректно. Описані методики є зрозумілими, достатньо деталізованими та забезпечують можливість відтворення експериментів іншими дослідниками. Це свідчить про високий рівень організації експериментальної роботи та забезпечує належну достовірність і наукову цінність отриманих результатів.

Третій розділ присвячено розробленню полімерного покриття реактивного типу з підвищеною вогнезахисною ефективністю. Автором запропоновано алгоритм випробувань при створенні нових рецептур інтумесцентних систем, досліджено вплив природи полімерної матриці на показники вогнестійкості та встановлено, що найбільшу ефективність забезпечують вінілацетатні воднодисперсійні полімери. Визначено оптимальне співвідношення основних компонентів інтумесцентної системи (поліфосфат амонію — меламін — пентаеритрит — полімер), за якого забезпечується формування міцного теплоізоляційного коксового шару та досягається межа вогнестійкості сталевих конструкцій до 150 хв.

Особливу увагу приділено армуванню коксового шару та використанню мінеральних волокон і наноструктурованих добавок. Встановлено, що застосування суміші мінеральних волокон з різними температурами термічного

розкладання підвищує вогнезахисну ефективність покриття на 10–20 %. Показано, що введення волокон Lapinus CF50 та Lapinus MS605 сприяє зміцненню структури коксового шару, зменшенню його руйнування під тепловим впливом та забезпечує можливість використання інтумесцентного покриття в умовах вуглеводневої пожежі. Отримані результати мають вагоме наукове і практичне значення та стали основою для створення конкурентоспроможного вогнезахисного покриття.

У четвертому розділі наведено результати досліджень закономірностей формування реологічних властивостей інтумесцентних вогнезахисних фарб, які належать до найбільш вагомих і оригінальних результатів дисертації. З аналізу матеріалу розділу видно, що автором виконано значний обсяг експериментальних досліджень із залученням різних класів реологічних модифікаторів, зокрема целюлозних загущувачів НЕС і НЕМС, асоціативних поліуретанових загущувачів HEUR, акрилового загущувача HASE, а також широкого спектру наноглин.

Особливий інтерес становлять результати щодо застосування моделі Кассона для опису реологічної поведінки комерційних інтумесцентних композицій та встановлення кореляційних залежностей між параметрами η_0 , τ_0 , η_∞ і максимально допустимою товщиною мокрого шару покриття. Фактично автором запропоновано науково обґрунтований підхід до прогнозування технологічності інтумесцентних фарб на етапі розроблення рецептур. Позитивно слід відзначити, що отримані закономірності перевірено не лише на експериментальних композиціях, а й на комерційних вогнезахисних фарбах. На підставі проведених досліджень встановлено, що найбільш ефективними є комбіновані системи загущення НЕМС+наноглина+ HEUR, які забезпечують формування стабільної тиксотропної структури та можливість нанесення покриття мокрим шаром товщиною 1,5-2,0 мм за один прохід без утворення дефектів. Це свідчить про високий рівень опрацювання матеріалу та значну наукову і практичну цінність отриманих результатів.

У п'ятому розділі наведено результати практичної реалізації отриманих наукових положень. Автором розроблено технологічну схему виробництва інтумесцентного покриття, проведено масштабування технології до

промислового рівня та виконано комплекс випробувань готового продукту. Показано, що розроблене покриття забезпечує межу вогнестійкості сталевих конструкцій не менше R150, характеризується покращеними реологічними властивостями та прогнозованим терміном експлуатації до 25 років. Розділ переконливо демонструє практичну спрямованість дисертаційної роботи та завершеність проведених досліджень.

Загалом зміст дисертації повною мірою відповідає поставленим меті та завданням дослідження. Усі сформульовані у вступі завдання успішно вирішені, а отримані результати логічно узагальнені у висновках до розділів та загальних висновках роботи. Структура дисертації є збалансованою, внутрішньо узгодженою та відповідає вимогам до кваліфікаційних наукових праць на здобуття ступеня доктора філософії.

Оцінка змісту дисертації, її завершеність та дотримання принципів академічної доброчесності

За своїм змістом дисертаційна робота Вахітова Раміля Азатовича повністю відповідає спеціальності 161 «Хімічні технології та інженерія» та є цілісним, логічно побудованим і завершеним науковим дослідженням. Основні положення, висновки та рекомендації ґрунтуються на значному обсязі експериментальних даних, отриманих із застосуванням сучасних методів дослідження, а їх виклад відзначається послідовністю, науковою коректністю та чіткістю.

Аналіз дисертації та результатів перевірки на текстові збіги свідчить про дотримання автором принципів академічної доброчесності. Усі використані джерела належним чином процитовані, ознак академічного плагіату, фабрикації, фальсифікації чи інших порушень академічної доброчесності не виявлено. Робота є результатом самостійних досліджень здобувача та свідчить про його вагомий особистий внесок у розвиток технологій інтумесцентних вогнезахисних покриттів.

Основні результати дисертації достатньо апробовані та оприлюднені у 16 наукових працях, з яких 11 статей опубліковано у наукових фахових виданнях України, у тому числі 3 статті – у виданнях, що індексуються міжнародною

наукометричною базою даних Scopus. Зокрема, результати досліджень опубліковані в міжнародних наукових журналах Chemical Engineering Journal Advances та Heliyon, які належать до першого квартиля за відповідними галузями знань. Результати роботи також апробовано у 12 доповідях на наукових конференціях.

Аналіз опублікованих праць свідчить, що вони повною мірою відображають зміст дисертаційного дослідження, зокрема результати щодо вибору полімерної матриці інтумесцентних покриттів, оптимізації складу інтумесцентної системи, дослідження механізмів формування коксового шару, моделювання реологічних властивостей, застосування наноглин та інших модифікувальних добавок, а також розроблення технології промислового виробництва вогнезахисного покриття реактивного типу.

Обсяг та рівень наукових публікацій відповідають вимогам Міністерства освіти і науки України щодо оприлюднення результатів дисертаційних досліджень на здобуття ступеня доктора філософії.

Дискусійні положення, зауваження та побажання

Позитивно оцінюючи науковий рівень дисертаційної роботи, її актуальність, наукову новизну та практичну значущість, вважаю за доцільне висловити окремі зауваження та побажання дискусійного характеру.

1. У роботі детально досліджено вплив полімерної матриці на вогнезахисну ефективність інтумесцентних покриттів. Водночас доцільним було б більш детально обґрунтувати критерії вибору окремих комерційних полімерних дисперсій та їх зв'язок із молекулярно-масовими характеристиками полімерів, що дозволило б розширити можливості прогнозування властивостей нових композицій. Наприклад, не зрозумілим є висновок щодо виключення галогенованих полімерів, як джерела шкідливих виділень в атмосферу під час пожежі, що є вже відомим.

2. Автором запропоновано використання моделі Кассона для оцінювання граничних реологічних параметрів інтумесцентних фарб. В тексті дисертації стверджується використання «математичного моделювання для розрахунку реологічних параметрів» (стор.115), згадуються коефіцієнти

регресії та кореляції але підтвердження цих розрахунків в дисертації та в додатках відсутнє.

3. На жаль, представлені результати ІЧ-досліджень недостатньо пояснені, що затрудняє розуміння зроблених висновків з рисунків (рис.2.1, 3,5 і т.і.). Наприклад, на стор. 99 наведено пояснювальний текст до рис.3.5 : «...як полоса поглинання співполімеру стирол акрилату АС80 (1730 см^{-1})...», який є не коректним.

4. На стор.129 таблиця 4.13 має назву «Фізико-хімічні характеристики полімерів та нанокомпозитів», але містить хвильове число для коливання зв'язку $\text{C}=\text{O}$ та міжплощинні відстані для невстановлених фаз. Бажано було б пояснити, яким саме фазам відповідають вказані величини міжплощинних відстаней, та чому важливо приділити увагу саме характеристичній смузі поглинання зв'язку $\text{C}=\text{O}$.

5. Під час дослідження довговічності покриття наведено прогнозований термін його експлуатації до 25 років. Водночас у роботі доцільно було б ширше висвітлити питання кореляції між результатами прискорених кліматичних випробувань і реальною поведінкою покриття в умовах тривалої експлуатації.

6. Значну увагу приділено дослідженню реологічних властивостей інтумесцентних композицій. Проте було б корисно навести додатковий аналіз впливу температурних коливань чи інших факторів під час нанесення та зберігання на реологічний профіль розробленої фарби.

7. У роботі показано ефективність використання суміші мінеральних волокон для підвищення вогнестійкості покриття в умовах вуглеводневої пожежі. Разом з тим аналіз отриманих результатів доцільно було б поглибити шляхом встановлення загальних закономірностей впливу характеристик волокон (геометричних параметрів, хімічного складу та термічних властивостей) на формування, структуру та стабільність інтумесцентного коксового шару. Таке узагальнення дозволило б не лише пояснити ефективність досліджених волокон, а й сформулювати науково обґрунтовані критерії вибору армувальних добавок для вогнезахисних покриттів різного призначення.

8. У тексті дисертації трапляються окремі редакційні неточності, незначні стилістичні повтори та поодинокі описки.

Висловлені зауваження та побажання мають переважно рекомендаційний характер, не знижують наукової цінності дисертаційної роботи і не впливають на загальну позитивну оцінку проведеного дослідження.

Загальний висновок

Оцінюючи дисертаційну роботу в цілому, слід відзначити, що однією з її вагомих переваг є прагнення автора не обмежуватися якісним описом накопиченого експериментального матеріалу, а здійснити його кількісне узагальнення із залученням сучасних уявлень фундаментальної хімічної науки. Глибокий аналіз результатів логічно побудованих експериментальних досліджень, їх теоретичне обґрунтування та комплексний підхід до вирішення поставлених завдань дозволили автору розробити рецептуру і технологію полімерного вогнезахисного покриття для сталевих конструкцій, яке за своїми характеристиками є конкурентоспроможним на сучасному ринку засобів пасивного вогнезахисту України. Особливої уваги заслуговують результати щодо встановлення кількісних залежностей між параметрами моделі Кассона та технологічними характеристиками інтумесцентних композицій, які мають не лише науковий інтерес, а й безпосереднє практичне значення для виробників вогнезахисних матеріалів.

Дисертаційна робота Вахітова Раміля Азатовича на тему «Розроблення технології полімерного вогнезахисного покриття реактивного типу з удосконаленими реологічними властивостями» є завершеним самостійним науковим дослідженням, у якому отримано нові науково обґрунтовані результати, що мають істотне значення для розвитку хімічних технологій полімерних композиційних матеріалів та засобів пасивного вогнезахисту.

За актуальністю теми, науковою новизною, теоретичним рівнем, практичною значущістю, достовірністю та обґрунтованістю отриманих результатів дисертація повністю відповідає вимогам Постанови Кабінету Міністрів України № 44 від 12 січня 2022 року «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 її автор, Вахітов Раміль Азатович, на основі публічного захисту заслуговує на присудження ступеня доктора філософії за спеціальністю 161 «Хімічні технології та інженерія».

Офіційний опонент:

доктор технічних наук,

професор кафедри радіаційного

і хімічного захисту

Національного університету

цивільного захисту України



Ольга СКОРОДУМОВА

