

ВІДГУК

офіційного опонента Шналя Тараса Миколайовича на дисертаційну роботу
Стилика Ігоря Геннадійовича за темою: «Підвищення ефективності водних
вогнегасних речовин на основі гелеутворюючих полімерних сполук», подану на
здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 261 «Пожежна безпека»
з галузі знань 26 «Цивільна безпека»

Актуальність вибраної теми дослідження.

Головними напрямками підвищення вогнегасної здатності води доцільно вважати зниження поверхневого натягу вогнегасного розчину, підвищення змочувальної здатності та в'язкості води шляхом уведення відповідних добавок, отримання оптимальної дисперсності краплин, додавання інгібіторів, утворення пінних розчинів за допомогою систем примусового подавання додаткового повітря. Порівняно з водою, вогнегасні розчини на основі модифікованих гелевих систем нового покоління мають ряд переваг, що полягають у простоті їх застосування, суттєвому зменшенні витрат водних вогнегасних речовин унаслідок підвищення в'язкості розчинів та можливості утворення захисних плівок і регулювання їх дисперсності. Робота спрямована на розв'язання науково-технічного завдання щодо підвищення ефективності гасіння пожеж класу А та В завдяки створенню та застосуванню нових концентратів водних вогнегасних розчинів полімерних гелеутворювальних сполук, властивості яких дають змогу реалізовувати комплекс факторів припинення горіння, а саме – охолодження, розведення водяною парою, ізолювання та інгібування. Розроблення складів та концентрацій таких модифікаторів у водному розчині, удосконалення обладнання з генерування та дослідження їх впливу на вогнегасну здатність розчину, вибір технічних параметрів способу отримання таких концентратів вогнегасних речовин є актуальним питанням та потребує наукового дослідження.

Отже, ідея роботи полягає у розкритті закономірностей впливу складів та концентрацій композицій полімерних гелеутворювальних сполук на ефективність створених водних вогнегасних речовин.

Формулювання наукової задачі, нове вирішення якої одержано в дисертації.

Метою роботи є виявлення закономірності впливу фізико-хімічних властивостей композицій полімерних гелеутворювальних сполук на основі водопоглинального гелеутворювального поліакрилату на підвищення ефективності водних вогнегасних речовин.

Сформульовані та розв'язано такі завдання дослідження:

1) проаналізувати сучасні підходи до ліквідації пожеж із використанням водних вогнегасних речовин та визначити напрями підвищення їх ефективності внаслідок застосування гелеутворювальних сполук на полімерній основі;

2) дослідити фізико-хімічні властивості водних вогнегасних речовин, модифікованих полімерними гелеутворювачами, та обґрунтувати вибір компонентів для розроблення гелеутворювальної композиції на основі поліакрилату;

3) розробити рецептуру модифікованої вогнегасної речовини на основі гелеутворювального поліакрилату для гасіння пожеж речовин і матеріалів класів А та В, а також для формування вогнезахисних смуг в екосистемах;

4) здійснити перевірку достовірності результатів досліджень модифікованої вогнегасної речовини шляхом проведення вогневих експериментальних досліджень із визначення їх вогнегасної здатності під час гасіння пожеж речовин і матеріалів класу А та В, можливості стримування низових пожеж в екосистемах та розробити методичні рекомендації щодо її приготування та застосування.

Об'єктом дослідження є вогнегасні та вогнезахисні властивості водних вогнегасних речовин на основі полімерних гелеутворювальних сполук.

У роботі використано комплексний підхід, що поєднував аналітичні, експериментальні та математичні методи, що дало змогу забезпечити всебічний аналіз та достовірність отриманих даних.

Теоретичний та аналітичний етап. Дослідження розпочалося з аналізу і синтезу наукових праць, монографій та нормативно-технічної документації. Цей етап був критично важливим для вивчення та узагальнення сучасних підходів до створення нових рецептур вогнегасних гелеутворювальних речовин. Також проаналізовано довідкові дані та нормативні документи, що регламентують методи дослідження властивостей водних, пінних і гелеутворювальних речовин, що дало змогу визначити оптимальні параметри для проведення експериментів надалі.

Математичне моделювання та статистична обробка. Для точного визначення динамічної в'язкості гелеутворювальних речовин застосовано математичне моделювання процесу руху кульки у в'язкому гелевому середовищі, що дало змогу отримати кількісні показники, які були неможливими для точного вимірювання стандартними методами. Усі отримані експериментальні дані оброблено за допомогою методів математичної статистики, зокрема визначення середньоквадратичного відхилення. Також застосовано метод планування експерименту, що допомогло мінімізувати кількість дослідів і забезпечити високу достовірність результатів.

Експериментальні дослідження. Основну частину роботи становили експериментальні дослідження, метою проведення яких було оцінювання фізико-хімічних властивостей розроблених гелеутворювальних вогнегасних речовин. Значну увагу приділено вивченню залежностей цих властивостей від складу, а також впливу різних типів і концентрацій гелеутворювальних сполук та домішок на кінцеві експлуатаційні властивості гелевих вогнегасних речовин.

Наукова новизна представлених теоретичних та експериментальних результатів проведених досліджень.

Серед найбільш значущих наукових результатів, що мають наукову новизну, в роботі можна визначити такі:

1. Уперше:

- встановлено закономірність впливу концентрації полімерного водопоглинального гелеутворювача на основі поліакрилату у складі водної вогнегасної речовини на показник адгезії гідрогелю до поверхні деревини, що

дає змогу визначити необхідну концентрацію гелеутворювача для забезпечення високої утримувальної здатності вогнегасної речовини на поверхнях твердих горючих матеріалів та підвищити охолодження осередку пожежі;

- встановлено закономірність впливу концентрації полімерного водопоглинального гелеутворювача на основі поліакрилату у складі водної вогнегасної речовини на в'язкість вогнегасного розчину, що забезпечує можливість регулювання реологічних властивостей вогнегасної речовини залежно від умов пожежогасіння;

- визначено оптимальний склад концентрату нової водної вогнегасної речовини: гелеутворювальний поліакрилат – 28 мас. %; олія рапсова рафінована – 24 мас. %; піноутворювач загального призначення – 4 мас. %; вода – 44 мас. % та запропоновано технологію його створення, яка полягає в тому, що на першому етапі проводиться змішування поліакрилату з рапсовою рафінованою олією до стану однорідної речовини, а на другому – змішування суміші поліакрилату та олії з піноутворювачем і водою.

2. Удосконалено:

- методику визначення динамічної в'язкості колоїдних розчинів у діапазоні від 0,05 сП до 20000 сП шляхом використання методу вимірювання динамічної в'язкості на основі закону Пуазейля в піддіапазоні в'язкості від 0,05 сП до 1,5 сП, застосування методу вимірювання уявної динамічної в'язкості Стокса в піддіапазоні в'язкості від 1,5 сП до 40 сП та методу вимірювання уявної динамічної в'язкості Стокса з уточненням Ладенбурга в піддіапазоні в'язкості від 40 сП до 20000 сП, що сприяє підвищенню точності оцінювання реологічних характеристик вогнегасних речовин на основі полімерних гелеутворювачів та обґрунтованому вибору їх параметрів для ефективного застосування в умовах пожежогасіння.

3. Набуло розвитку:

- уявлення про природу комплексної вогнегасної дії модифікованих водних вогнегасних речовин (реалізацію ефектів охолодження, інгібування, флегматизації (розведення), ізоляції) унаслідок введення багатокomпонентних

гелевих систем, які, на відміну від традиційних водних вогнегасних/вогнегасних засобів, додатково забезпечують реалізацію пролонгованого вогнегасного/вогнезахисного ефекту, підвищену адгезію до твердих горючих поверхонь та ефективне стримування повторного займання і поширення пожежі.

Практичне значення одержаних результатів.

Практична цінність проведеного дослідження полягає у створенні методичних рекомендацій щодо приготування та застосування нової водної гелеутворювальної вогнегасної речовини, здатної ефективно поєднувати охолоджувальну, ізолювальну та флегматизувальну дію. Зазначені рекомендації апробовані та впроваджені в діяльність Науково-виробничої фірми «Фактор» щодо розширення номенклатури продукції підприємства шляхом інтеграції запропонованих гелеутворювальних компонентів у склади вогнегасних речовин; Інституту наукових досліджень з цивільного захисту НУЦЗ України щодо використання у науково-дослідному центрі досліджень та випробувань запропонованої методики експериментальних досліджень з визначення динамічної в'язкості колоїдних розчинів вогнегасних речовин в діапазоні від 0,05 сП до 20000 сП; Мобільного центру швидкого реагування безпілотних систем ДСНС шляхом апробації технології застосування водної вогнегасної композиції, модифікованої гелеутворювальними полімерними сполуками, з використанням безпілотних літальних апаратів (дронів) на висоті до 70 метрів. Упровадження довело працездатність технологічних рішень, запропонованих у дисертаційній роботі, а також допомогло створити науково-практичне підґрунтя для можливості їхнього застосування надалі з використанням безпілотних літальних апаратів.

Особистий внесок здобувача. Всі результати дисертаційної роботи, що виносяться на захист, є результатом самостійної праці автора. Робота є завершеним науковим дослідженням, яке чітко відповідає поставленим цілям та завданням. Основний внесок автора полягає у формулюванні мети, завдань, об'єкта та предмета дослідження, проведенні аналізу літературних джерел,

розробленні математичної моделі та проведенні відповідних обчислень щодо її використання, розробці програми та методики експериментальних досліджень, проведенні експериментальних досліджень, аналізуванні та обробці отриманих даних, розробленні нового методу одержання гелевої вогнегасної речовини на основі гідроксиду алюмінію з використанням карбонату калію. Результати роботи впроваджені дисертантом особисто з дотриманням академічної доброчесності.

Апробація результатів дисертації та публікації.

Основні результати дисертаційного дослідження опубліковано в 9 статтях, 5 з яких надруковано в фахових наукових журналах України, 2 статті – у наукових фахових виданнях, що проіндексовані в міжнародній наукометричній базі Scopus. Також результати досліджень висвітлено у двох тезах доповідей на міжнародній та всеукраїнській науково-практичних конференціях.

Структура та обсяг дисертації.

Дисертаційна робота складається з анотації, змісту, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг дисертації складає 216 сторінок, містить 32 рисунки, 29 таблиць та 4 додатки. Список використаних джерел складається з 93 найменувань.

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, визначено мету, завдання, об'єкт і предмет дослідження. Розкрито недоліки використання сучасних вогнегасних речовин під час гасіння пожеж в екосистемах. Обґрунтовано наукову новизну роботи та визначено її практичне значення. Надано узагальнену характеристику змісту дослідження, розкрито основні етапи його виконання. Відображено особистий внесок здобувача в отриманні результатів, наведено відомості про апробацію матеріалів, публікації на тему дослідження, а також структуру та обсяг дисертаційної роботи.

У **першому розділі** проведено аналіз сучасного стану та тенденцій розвитку створення водних вогнегасних речовин та супутніх технологій, їх застосування як у вітчизняній, так і у світовій практиці. На підставі

ретроспективного огляду та критичного осмислення накопичених даних сформульовано ключові напрями удосконалення рецептур та підвищення ефективності застосування вказаних речовин. Значну увагу приділено оптимізації їх властивостей з урахуванням критеріїв ефективності, економічності та екологічності.

Теоретично обґрунтовано, що вогнегасні розчини на основі модифікованих систем мають значні переваги порівняно з традиційними вогнегасними речовинами, зокрема водою. Ці переваги детерміновані суттєвим збільшенням стабільності колоїдно-дисперсних систем і посиленням вогнегасної дії. Реалізація підвищеної ефективності зумовлена комплексною дією на процес горіння, що включає механізми охолодження, ізолювання, флегматизування (розведення) та інгібування полум'я.

Детально розглянуто застосування інноваційних технологій продукування модифікованих вогнегасних розчинів з метою підвищення їхніх експлуатаційних характеристик.

У другому розділі здійснено комплексний аналіз фізико-хімічних характеристик водних вогнегасних речовин, модифікованих полімерними гелеутворювальними добавками. Наголошено на вивченні механізмів взаємодії водного середовища з гідрофільними полімерними домішками, які забезпечують підвищення ефективності гасіння завдяки зміні в'язкісних, тиксотропних і адгезійних параметрів. Обґрунтовано доцільність вибору основних компонентів системи, зокрема полімерів різної природи – поліакрилату, карбоксиметилцелюлози та інших структуроутворювачів.

Розглянуто особливості приготування розчинів і описано технологічні труднощі, пов'язані з рівномірним диспергуванням порошкоподібних компонентів у водній фазі. Запропоновано практичні заходи, що дають змогу запобігти утворенню агломератів і нерозчинених частинок, забезпечуючи однорідність отриманих систем. Докладно вивчено реологічні властивості модифікованих складів. Встановлено, що більшість досліджених зразків проявляють виражену тиксотропну поведінку: у разі зростання швидкості зсуву

спостерігається зменшення в'язкості, що сприяє ефективному транспортуванню через системи подавання. Після припинення подавання до зони горіння в'язкість розчинів швидко відновлюється, забезпечуючи утворення стабільного покриття та зниження втрат активної речовини. Додатково проаналізовано вплив концентрації полімеру та введення допоміжних компонентів (емульгаторів, стабілізаторів, поверхнево-активних речовин) на реологічну поведінку складів.

Результати досліджень змочуваності та адгезійних властивостей на різних типах поверхонь (металевих, дерев'яних і полімерних) засвідчили суттєве підвищення здатності модифікованих водних систем утримуватись на похилих і вертикальних площинах. Це зумовлено не лише збільшенням в'язкості, а й формуванням стабільної гелевої структури на поверхні матеріалу. Досліджено вплив введення полімерних сполук на основі поліакрилату на кратність піноутворення та стійкість пінних композицій.

Отримані результати формують наукове підґрунтя для визначення складів вогнегасних концентратів надалі та дають змогу встановити раціональні співвідношення компонентів залежно від умов експлуатації. Це створює передумови для ефективного застосування таких речовин під час локалізації та гасіння пожеж на об'єктах із різною структурою.

У третьому розділі викладено методологію розроблення рецептур концентратів для створення ефективних водних вогнегасних речовин з гелеутворювальними властивостями. Основна увага приділена підбору полімерних компонентів, визначенню їх концентрацій, взаємодії з іншими домішками, а також оцінці можливостей введення у промислові й лабораторні умови. Здійснено порівняння рецептур на основі традиційного піноутворювача загального призначення у поєднанні з гелеутворювальними речовинами. Обґрунтовано вибір композицій, у яких досягається баланс між високою в'язкістю, змочуваністю та стабільністю структури.

До складів уведено додаткові модифікувальні агенти: аеросил для регулювання здатності налипання гелю; сорбітанмоноолеат як емульгатор;

рапсова олія як випаростабілізувальна добавка. Згідно з аналізом, навіть незначні зміни у вмісті полімеру призводять до суттєвих відмінностей у тиксотропних властивостях. Рецептури з гелеутворювальним поліакрилатом у межах від 1,5 % до 2,0 % показали найкращу здатність до формування однорідної маси без грудок, що спрощує їх використання в польових умовах.

Наведено результати вибору співвідношення компонентів залежно від призначення (локалізація пожежі, гасіння рідин тощо). Показано, що ретельно підібрана рецептура концентрату дає змогу створити універсальний засіб, придатний для гасіння пожеж різного класу з мінімальними витратами речовини. Узагальнено практичні рекомендації щодо приготування розчинів у польових та лабораторних умовах.

У четвертому розділі наведено результати експериментальних досліджень з оцінювання ефективності розроблених концентратів водних вогнегасних речовин. Наукова розвідка проводилася в умовах, максимально наближених до реальних пожежонебезпечних ситуацій. Дослідження охоплювали гасіння модельних вогнищ класу А (тверді матеріали, зокрема деревина) та класу В (горючі рідини). Основними критеріями оцінки були час гасіння, інтенсивність подавання, стійкість нанесеного шару, площа дії та наявність повторного займання.

Під час проведення експериментів доведено перевагу гелевих вогнегасних речовин над водою, як за швидкістю локалізації полум'я, так і за тривалістю термоізоляційного ефекту. Найкращі результати продемонстрували рецептури на основі гелеутворювального поліакрилату з додаванням поверхнево-активних речовин, які утворювали стабільну плівку та повністю покривали зону горіння.

Також акцентовано на гасінні вертикальних поверхонь, де ефективність гелевих вогнегасних речовин виявилася особливо високою завдяки їхній здатності утримуватись на матеріалі та поступово випаровуватись. Встановлено, що завдяки підвищеній в'язкості розчинів зменшується стікання речовини, що дає змогу досягти стабільного захисного покриття навіть у разі

високих температур. За результатами досліджень зроблено висновок про придатність розроблених засобів для використання в автоматичних системах та переносних модулях пожежогасіння.

Розроблені водні вогнегасні речовини легко сумісні з наявним пожежно-технічним обладнанням, що забезпечує їх універсальність та простоту впровадження.

Загальні висновки цілком відповідають сформульованим задачам дослідження та є стислим висвітленням одержаних здобувачем результатів. Текст не містить запозичень, щодо яких не було б зроблено посилань на першоджерела.

Оцінка змісту дисертації, її завершеності в цілому й оформлення.

Дисертаційне дослідження проведене на високому науковому рівні та є завершеною науковою роботою, яка повною мірою відповідає поставленим меті та завданням. У ньому розв'язано важливе науково-технічне завдання в галузі пожежної безпеки – підвищення ефективності водних вогнегасних речовин, модифікованих полімерними гелеутворювальними сполуками, та розроблення їх нових ефективних складів.

Оформлення дисертаційної роботи відповідає всім затвердженим вимогам.

Рівень виконання поставленого наукового завдання, оволодіння здобувачем методологією наукової діяльності.

Дисертаційна робота виконана державною мовою. Розділи роботи містять достатній обсяг матеріалу, що підтверджує розв'язання поставлених завдань, і завершуються відповідними висновками. Вважаю, що здобувач Стилик Ігор Геннадійович продемонстрував високий рівень володіння необхідними для здобуття наукового ступеня доктора філософії компетенціями та методологією проведення наукових досліджень.

Дотримання академічної доброчесності.

Перевірка дисертаційної роботи та публікацій автора не виявила порушень академічної доброчесності.

Зауваження та дискусійні питання щодо положень дисертації.

1. Доцільно було б надати експериментальне підтвердження кінетики колоїдної стабільності концентрату при тривалому зберіганні, оскільки сумісне перебування 28 мас. % водопоглинального поліакрилату та 44 мас. % води в одній рідкій фазі загрожує передчасним набуханням полімеру безпосередньо в тарі.

2. Здобувачу варто було б виконати розрахунок гідравлічного опору та втрат тиску при транспортуванні розроблених робочих розчинів високої в'язкості (до 3000 сП) стандартними пожежними рукавами для підтвердження можливості їхнього практичного застосування на реальних дистанціях подавання.

3. Здобувачу слід було б детальніше розкрити молекулярний механізм взаємодії однойменно заряджених аніонних макромолекул поліакрилату натрію та карбоксиметилцелюлози (КМЦ), що забезпечує зафіксоване в експерименті значне зростання стійкості піни.

4. Для масштабування результатів дослідження додатково слід дослідити кінетику розтікання високов'язких гелевих плівок по дзеркалу палаючої оливи при гасінні пожеж класу В, оскільки низька текучість гелю порівняно з класичними розчинами типу AFFF може створювати непокриті зони горіння.

Проте вказані зауваження та дискусійні питання не знижують загальної позитивної оцінки проведеного дослідження і не впливають на наукове та практичне значення отриманих результатів дисертаційної роботи.

Вважаю, що робота повністю відповідає вимогам до наукових робіт освітньо-кваліфікаційного рівня доктора філософії за спеціальністю 261 «Пожежна безпека».

Загальний висновок.

Отже, з огляду на актуальність, наукову новизну, достовірність та обґрунтованість отриманих результатів, відповідність науковому рівню та вірогідність висновків, дисертаційна робота Стилика Ігоря Геннадійовича «Підвищення ефективності водних вогнегасних речовин на основі

гелеутворюючих полімерних сполук» відповідає встановленим вимогам наказу Міністерства освіти і науки України № 40 від 12.01.2017 р. «Про затвердження вимог до оформлення дисертацій» (зі змінами) та постанови Кабінету Міністрів України № 44 від 12.01.2022 р. «Про затвердження порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», а її автор, Стилик Ігор Геннадійович, заслуговує присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 261 «Пожежна безпека».

Офіційний опонент:

Професор кафедри будівельних
конструкцій та мостів інституту
будівництва, інфраструктури та безпеки
життєдіяльності Національного
університету «Львівська політехніка»,
доктор технічних наук, професор



Тарас ШНАЛЬ

Підпис професора Т.М. Шналя засвідчую
Вчений секретар Національного університету
«Львівська політехніка»



Роман БРИЛИНСЬКИЙ