

ВІДГУК

офіційного опонента Веселівського Романа Богдановича
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.

Дисертаційна робота Стилика Ігоря Геннадійовича, представлена на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 261 «Пожежна безпека», є комплексним науковим дослідженням, що спрямоване на розв'язання актуальної науково-технічної задачі щодо підвищення ефективності водних вогнегасних речовин, модифікованих полімерними гелеутворювальними сполуками, та розроблення їх нових ефективних складів, що має важливе практичне значення для підвищення рівня пожежної безпеки об'єктів.

Актуальність дисертації обумовлена тим, що одним із головних напрямів підвищення ефективності водних вогнегасних засобів є удосконалення їх фізико-хімічних властивостей щодо виконання завдань пасивного та активного протипожежного захисту об'єктів. Суттєвим недоліком води як основної вогнегасної речовини є низький коефіцієнт її корисного використання. Високий поверхневий натяг і недостатня змочувальна здатність призводять до швидкого стікання великої кількості води з поверхонь горючих матеріалів, внаслідок чого знижується її ефективність в процесі гасіння пожежі. Покращення властивостей води можливо досягти через додавання модифікаторів, що змінюють її поверхневий натяг, змочувальну здатність, в'язкість, дисперсність крапель, та/або введення інгібіторів і формування пінних розчинів (зокрема за допомогою систем примусового подавання додаткового повітря). Важливим напрямом посилення вогнегасних властивостей води є їх модифікування полімерними гелеутворювальними сполуками. Вони відзначаються простотою застосування,

забезпечують економію витрат водних вогнегасних речовин завдяки підвищеній в'язкості, дають змогу утворювати захисні плівки та регулювати дисперсність робочого середовища. Такі системи можуть поєднувати повний комплекс механізмів припинення горіння – охолодження, ізолювання, флегматизування (розведення) та інгібування, що забезпечує їх ефективність під час гасіння пожеж речовин і матеріалів класу А та В.

Більшість відомих гелеутворювальних систем є двокомпонентними, застосування яких зазвичай передбачає роздільне подавання компонентів гелеутворювальних систем на поверхню горючого матеріалу, що суттєво обмежує можливість використання таких вогнегасних речовин. Створення ж ефективних складів концентратів для водних вогнегасних розчинів на базі полімерних гелеутворювальних сполук, що могли б поєднувати чотири основні механізми припинення горіння, досі розкрито недостатньо. Особливо актуальним залишається визначення оптимальних складів та концентрацій гелевих модифікаторів для генерації таких систем і наукове обґрунтування їх впливу на вогнегасну здатність.

Формулювання наукової задачі, нове вирішення якої одержано в дисертації.

Мета роботи полягає у виявленні закономірностей впливу фізико-хімічних властивостей композицій полімерних гелеутворювальних сполук на основі водопоглинального гелеутворювального поліакрилату на підвищення ефективності водних вогнегасних речовин.

Для досягнення мети автор розв'язав такі *завдання*:

- проаналізував сучасні підходи до ліквідації пожеж із використанням водних вогнегасних речовин та визначити напрями підвищення їх ефективності внаслідок застосування гелеутворювальних сполук на полімерній основі;
- дослідив фізико-хімічні властивості водних вогнегасних речовин, модифікованих полімерними гелеутворювачами, та обґрунтувати вибір компонентів для розроблення гелеутворювальної композиції на основі поліакрилату;

- розробив 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;

- здійснив 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. Предмет дослідження – вплив фізико-хімічних властивостей композицій полімерних гелеутворювальних сполук на основі водопоглинального гелеутворювального поліакрилату у складі водних вогнегасних речовин на процеси займання, розвитку та припинення горіння речовин і матеріалів пожеж класів А та В.

Методологія роботи базується на комплексному поєднанні теоретичних та експериментальних методів. Автор використовує комплексний підхід, який поєднує аналітичні, експериментальні та математичні методи, що дало змогу забезпечити всебічний аналіз та достовірність отриманих даних.

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 важко дослідити стандартними методами. Усі отримані експериментальні дані оброблено за допомогою методів математичної статистики, зокрема визначення середньоквадратичного відхилення.

Наукова новизна представлених теоретичних та експериментальних результатів проведених досліджень.

Наукова новизна дисертації полягає у положеннях, які висунуті та доведені автором:

- 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 та водою;

- 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;

- набуло розвитку уявлення про природу комплексної вогнегасної дії модифікованих водних вогнегасних речовин (реалізацію ефектів охолодження, інгібування, флегматизації (розведення), ізоляції) унаслідок введення багатокомпонентних 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 значущість дисертаційної роботи має чітко виражений прикладний характер і 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:

- ТОВ «Науково-виробнича фірма «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, наведені в дисертації, що виносяться на захист, отримані дисертантом особисто. Здобувач розробив новий метод одержання гелевої

вогнегасної речовини на основі гідроксиду алюмінію з використанням карбонату калію. Шляхом порівняльного аналізу довів суттєві технічні переваги запропонованого методу порівняно з відомим способом створення гелевої речовини на основі карбонату натрію.

Обґрунтував теоретично та експериментально можливість використання вогнегасної речовини на основі водорозчинного полімеру «ECOFLOC A-07» для ліквідації пожеж на сміттєзвалищах твердих побутових відходів. Встановив закономірності впливу концентрації гелеутворювальних добавок на в'язкість речовини, що безпосередньо регулює швидкість її випаровування та глибину проникнення в осередок горіння.

Апробація результатів дисертації та публікації.

Результати дисертації пройшли належну апробацію. Основні положення доповідалися на міжнародних та всеукраїнських науково-практичних конференціях у Харкові та Києві протягом 2023–2026 років.

За темою дослідження опубліковано 9 наукових праць, з них: 2 статті у виданнях, що індексуються міжнародною наукометричною базою Scopus, 5 статей у наукових фахових виданнях України категорії «Б», 2 тези доповідей у збірниках матеріалів конференцій.

Публікації повною мірою відображають зміст дисертаційної роботи та відповідають чинним нормативним вимогам МОН України.

Структура та обсяг дисертації.

Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, загальних висновків, списку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг роботи становить 216 сторінок, що містять 32 рисунки та 29 таблиць. Список літератури містить 95 найменувань.

Текст дисертації викладений у науковому стилі з відповідною технічною термінологією. Виклад матеріалу логічний, послідовний, з чітким переходом від аналізу проблеми до її теоретичного розв'язання та практичного впровадження.

Вступ відображає теоретичне та практичне значення роботи, основний внесок здобувача, відомості про публікації та апробацію дисертаційного

дослідження.

Перший розділ присвячено аналізу сучасного стану та тенденцій розвитку створення водних вогнегасних речовин та технологій їх застосування. Сформульовано ключові напрями удосконалення рецептур та підвищення ефективності застосування вказаних речовин. Акцентовано увагу на оптимізації їх властивостей з урахуванням критеріїв ефективності, економічності та екологічності.

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

У *другому розділі* на високому науковому рівні проведено 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.

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 різного призначення.

У *третьому розділі* викладено методологію розроблення рецептур концентратів для створення ефективних водних вогнегасних речовин з гелеутворювальними властивостями. Обґрунтовано вибір композицій, у яких досягається баланс між високою в'язкістю, змочуваністю та стабільністю структури.

До рецептур уведено додаткові модифікувальні агенти: аеросил для регулювання здатності налипання гелю; сорбітанмоноолеат як емульгатор; рапсова олія як випаростабілізувальна добавка.

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.

Четвертий розділ присвячено результатам експериментальних досліджень з оцінювання ефективності розроблених концентратів водних вогнегасних речовин. Дослідження проводились в умовах, максимально наближених до реальних пожежонебезпечних ситуацій та охоплювали гасіння модельних вогнищ класу А (тверді матеріали, зокрема деревина) та класу В (горючі рідини).

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 поверхневс-активних речовин, які утворювали стабільну плівку та повністю покривали зону горіння.

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

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

Оцінка змісту дисертації, її завершеності в цілому й оформлення.

Зміст дисертаційної роботи вирізняється логічною побудовою, внутрішньою узгодженістю та чіткою спрямованістю на досягнення поставленої мети. Усі розділи роботи взаємопов'язані та послідовно розкривають основні етапи

дослідження – від обґрунтування актуальності теми та аналізу сучасного стану проблеми до розроблення методологічних підходів, їх експериментальної перевірки та узагальнення отриманих результатів.

Теоретична частина дисертації базується на ґрунтовному аналізі наукових джерел, чинних нормативних документів і результатів попередніх досліджень у сфері пожежної безпеки. Методична частина роботи відзначається достатньою повнотою та науковою обґрунтованістю. Обрані методи відповідають меті й завданням роботи, а їх застосування є коректним і доцільним. Проведене порівняння розрахункових та експериментальних результатів підтверджує адекватність обраного наукового інструментарію та достовірність отриманих висновків. Експериментальна частина дисертації виконана на належному науково-технічному рівні. Програма та методика експериментальних досліджень розроблені з урахуванням специфіки об'єкта дослідження та спрямовані на перевірку основних теоретичних положень роботи. Отримані експериментальні дані логічно узгоджуються з результатами математичного моделювання та підтверджують обґрунтованість запропонованих підходів.

Дисертаційна робота має завершений характер, оскільки в ній повністю реалізовано поставлену мету, розв'язано всі сформульовані завдання та отримано наукові результати, що мають теоретичну й практичну цінність. Висновки до розділів і загальні висновки є логічним узагальненням проведених досліджень, коректно відображають отримані результати та не виходять за межі представленого матеріалу. Наявність прикладів практичного впровадження результатів дослідження додатково підтверджує прикладну спрямованість і завершеність роботи.

Оформлення дисертації загалом відповідає вимогам, що висуваються до робіт такого рівня. Текст викладено в науковому стилі, з використанням коректної термінології у сфері пожежної безпеки. Таблиці, рисунки та графічні матеріали є інформативними, належно оформленими та органічно доповнюють основний текст. Посилання на використані джерела наведено коректно, і вони дозволяють ідентифікувати першоджерела. Загалом зміст і оформлення дисертації свідчать про

достатній рівень наукової культури автора та відповідність роботи встановленим вимогам до дисертацій за спеціальністю 261 «Пожежна безпека».

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 стосовно положень дисертації.

Разом із позитивною оцінкою дисертації, слід відзначити певні аспекти, що потребують уточнення:

- бажано уточнити фізико-хімічний зміст та розмірність показника адгезії у математичній моделі квадратичної залежності, оскільки автор вимірює його в мікрометрах (товщина шару), тоді як адгезійна міцність у колоїдній хімії традиційно виражається в одиницях енергії (Дж/м^2) або механічного напруження (Па);

- потребує уточнення наукове твердження про перехід системи із золю в гель внаслідок випаровування води під дією температур пожежі, адже акрилатні гідрогелі при зневодненні дегідратуються й руйнуються, а не структурують просторову сітку;

- для оцінки перспектив впровадження результатів дослідження слід оцінити стабільність реологічних та вогнегасних властивостей гелю за умов використання жорсткої або мінералізованої води з реальних джерел пожежного водопостачання, яка містить катіони Ca^{2+} та Mg^{2+} , здатні викликати синерезис гелю.

Ці зауваження не знижують загальної високої оцінки наукового рівня роботи та достовірність її основних положень.

Вважаю, що робота повністю відповідає вимогам до наукових робіт такого рівня.

Загальний висновок.

Отже, з огляду на актуальність, наукову новизну, достовірність та обґрунтованість отриманих результатів, відповідність науковому рівню та представлених 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 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації» (зі змінами) та постанови Кабінету Міністрів України № 44 від 12.01.2022 «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, Стилик Ігор Геннадійович, заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 261 «Пожежна безпека».

Офіційний опонент:

Доцент кафедри цивільного захисту
навчально-наукового інституту цивільного
захисту Львівського державного
університету безпеки життєдіяльності,
кандидат технічних наук, доцент

Роман ВЕСЕЛІВСЬКИЙ

