

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

Трегубова Дмитра Георгійовича

**«Розвиток наукових основ прогнозування параметрів
пожежовибухонебезпечності вуглеводнів та їх похідних»,**

яку подано на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук
за спеціальністю 21.06.02 – пожежна безпека

Ступінь актуальності обраної теми дисертації.

Визначено, що більшість надзвичайних ситуацій, які призводять до виникнення пожеж та вибухів, пов'язані з видобуванням, обігом, використанням та зберіганням речовин органічного походження. Для техногенно небезпечних об'єктів крім організаційних заходів важливим напрямком підвищення пожежної безпеки є розробка більш ґрунтовних та точних методик прогнозування пожежовибухонебезпечності речовин та матеріалів з метою ефективного попередження виникнення пожеж. Забезпечення пожежної безпеки у різних галузях реалізується через прогнозування та контроль певних параметрів речовин та матеріалів, які формуються на підставі сукупності певних фізичних та хімічних властивостей. Це визначає наявність кореляційного взаємозв'язку, який необхідно виявляти та використовувати на стадії розрахунку прогнозу потенційних небезпек. Наразі не існує системного підходу до вирішення означеного питання, що свідчить про брак уявлень щодо формування показників пожежовибухонебезпечності. Такий стан питання передбачає проведення досліджень щодо пошуку нового принципу для розрахунків та до розуміння взаємозв'язку властивостей речовини. Тому розвиток наукових основ прогнозування параметрів пожежовибухонебезпечності вуглеводнів та їх похідних є актуальною проблемою пожежної безпеки.

На даний час не вирішена проблема врахування надмолекулярної будови речовини у розрахунках параметрів пожежовибухонебезпечності та не існує

методик її опису. Це свідчить про актуальність та перспективність проведення додаткових досліджень щодо створення нових методик або базису такого розрахунку. Це потребує проведення подальших досліджень властивостей речовин, відповідних параметрів та шляхів їх формування, бо лише на цій основі можна запроваджувати методики ефективного прогнозування пожежовибухонебезпечності речовин.

Актуальність роботи підтверджується й тим, що вона виконувалася в рамках Програми забезпечення пожежної безпеки на 2003–2010 роки (постанова Кабінету Міністрів України від 1 липня 2002 р. № 870), Державної цільової соціальної програми забезпечення пожежної безпеки на 2011–2015 роки (розпорядження Кабінету Міністрів України від 29.12.2010 №2348-р), під час виконання науково-дослідної роботи «Розробка електронного посібника з «Теорії розвитку та припинення горіння»» (ДР № 0105U007386) за планом Університету цивільного захисту України, у якій здобувач був виконавцем (2007–2008 роки), та в межах «Договору про співробітництво та наукове консультування» від 03.12.2024 №16 між НУЦЗ України та ІЕРТ НАН України.

Аналіз структури дисертації.

Дисертаційна робота складається зі вступу, 6 розділів, загальних висновків, списку використаних літературних джерел з 336 найменувань, містить 510 сторінок друкованого тексту (з них 439 сторінок основного тексту), 82 таблиць, 40 рисунків, 2 додатків.

Новизна, обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації.

Обґрунтованість сформульованих у дисертаційній роботі наукових положень, висновків і рекомендацій.

Тема та зміст дисертації Трегубова Д.Г. «Розвиток наукових основ прогнозування параметрів пожежовибухонебезпечності вуглеводнів та їх похідних» відповідає пунктам паспорту спеціальності 21.06.02 «Пожежна безпека» №3 та 4.

Достовірність та обґрунтованість результатів і висновків підтверджено

коректністю постановки задачі, раціональністю теоретичних припущень, строгістю математичних викладок, надійністю використаних методів розв'язання задач, раціональним вибором експериментальних методів, порівняльним аналізом результатів розрахунків та експериментальних даних.

Новизна запропонованих та сформульованих у дисертаційній роботі рішень.

Наукова новизна дисертаційної роботи полягає в науковому та практичному обґрунтуванні прогнозу виникнення та припинення горіння речовин органічного походження з урахуванням вибухонебезпечності вуглеводів та їх похідних. У роботі вперше вирішено сукупність теоретичних та практичних питань, що створило новий підхід для прогнозування параметрів пожежовибухонебезпечності:

- розроблено методологію моделювання надмолекулярної будови вуглеводнів та їх похідних з визначенням показника «легкості плавлення»;
- розроблено методику розрахунку температурних меж поширення полум'я та температури спалаху неаізотропних багатокомпонентних сумішей горючих рідин органічного походження та з наявністю негорючих компонентів виходячи з пропорційності до тисків насиченої пари суміші;
- розроблено математичні моделі умов самоспалахування та запалювання електричною іскрою повітряних сумішей як взаємозв'язок мінімальної енергії запалювання, концентраційних меж поширення полум'я, ненасиченості джерела запалювання, температури системи та середньої довжини молекули;
- обґрунтовано методологію моделювання надмолекулярних пероксидних структур під час ініціювання горіння вуглеводнів та розроблено схеми пероксидних структур для різних умов виникнення горіння, показано можливість конденсації таких структур у підготовчій зоні полум'я;
- створено залежності для опису процесів кластеризації у полум'ї, температур самоспалахування, антидетонаційного коефіцієнта алканів, показника схильності до детонації вибухових речовин на підставі значень еквівалентних довжин кластерів і кількості асоційованих молекул кисню;

- досліджено баланс ізолюючої та охолоджуючої дії вогнегасних систем на основі піноскла під час гасіння полярних та неполярних рідин органічного походження та розроблено відповідні математичні моделі з врахуванням теоретичного коефіцієнта сповільнення випаровування та осциляційності властивостей у гомологічних рядах з опором на еквівалентну довжину кластеру.

Подальшим розвитком наукових уявлень стали:

- встановлення кореляційних зв'язків між розчинністю у воді, а також температурою плавлення, з температурою самоспалахування;
- обґрунтування осциляційності параметрів пожежовибухонебезпечності вуглеводнів та їх похідних кластероутворенням у полум'ї з різним принципом асоціації у кластер;
- встановлення режимів пожежогасіння полярних рідин плавучими системами на основі піноскла з врахуванням кластерної будови речовини.

Загальнонаціональне та світове значення даної роботи визначається тим, що наведені наукові результати доповнили та розвинули існуючі підходи до прогнозування параметрів пожежовибухонебезпечності вуглеводнів та їх похідних, мають нове теоретичне наповнення, характеризуються обґрунтованістю проведених теоретичних та експериментальних дисертаційних досліджень.

Робота містить нові та раніше не захищені науково-обґрунтовані результати, які отримані й опубліковані автором, що в сукупності вирішує актуальну науково-прикладну проблему пожежної безпеки та має загальнонаціональне значення.

Отримані науково-практичні результати у роботі є науковою основою прогнозування параметрів виникнення, припинення горіння та пожежогасіння, та мають наступні напрямки застосування:

- встановлено розрахункові залежності для теплот випаровування, в'язкості, поверхневого натягу, температур плавлення та кипіння н-алканів та н-спиртів за кількістю атомів карбону;

- встановлено взаємозв'язок між характерними температурами н-алканів та н-спиртів, що дозволяє прогнозувати температури спалаху та самоспалахування; розроблено розрахункову модель для прогнозування температур спалаху вуглеводнів та їх похідних на підставі розрахунку теплоти випаровування, значень температури кипіння;

- розроблено методику прогнозування температур спалаху та температурних меж поширення полум'я сумішей горючих рідин та з наявністю негорючих компонентів з врахуванням ефекту самофлегматизації;

- розроблено розрахункову модель прогнозування запалювання горючих сумішей за різних температур системи, концентрацій горючої речовини, насиченості джерела запалювання;

- розроблено нову методику визначення середньої довжини молекул речовин органічного походження та залежність для розрахунку температур самоспалахування;

- удосконалено диференційний скануючий калориметр та використано отримані показники для прогнозування умов теплового самозаймання, розроблено прилад та методику розрахунку для визначення умов теплового самозаймання;

- розроблено моделі врахування кластерної будови речовин у розрахунках параметрів речовини у твердому, рідкому станах та у водних розчинах;

- розроблено розрахункові залежності для прогнозування параметрів пожежовибухонебезпечності з врахуванням кластерної будови речовин та показника «легкість плавлення» – концентраційних меж, температур самоспалахування, антидетонаційного коефіцієнту, схильності до детонації;

- визначено режими пожежогасіння рідин засобами на основі піноскла від комплексу супутніх факторів та кластерної будови речовини.

Загальна характеристика дисертації.

У вступі автор обґрунтував актуальність теми дисертаційної роботи; показав її зв'язок з науковими програмами, планами, темами; наведено мета роботи та задачі досліджень; наукова новизна одержаних результатів і їх практичне значення.

В першому розділі дисертаційної роботи проаналізовано існуючі принципи визначення фізико-хімічних властивостей вуглеводнів та їх похідних, встановлено, що з 6 рівнів, які формують параметри виникнення та припинення горіння, у сучасній методології не враховують у розрахунках надмолекулярну будову. Наведений аналіз показує, що властивості у гомологічних рядах мають лінійний або експоненційний характер, але з коливальними аномаліями. У роботі продемонстровано подібність між залежностями для температур плавлення, спалаху, кипіння і самоспалахування н-алканів, що свідчить про принципову подібність надмолекулярних структур для різних станів речовини. Для моделювання властивостей речовини на підставі кластерної у роботі прийнято базове припущення, що речовини з однаковою довжиною і молярною масою кластера будуть мати однакове значення певного параметру. На основі проведеного аналізу сформульовано мету та задачі дослідження.

У другому розділі наведено обґрунтований аналіз з виявленням закономірностей у гомологічних рядах н-алканів та н-спиртів з розробкою емпіричних моделей для опису властивостей речовин органічного походження відносно кількості атомів карбону у молекулі з високим коефіцієнтом достовірності апроксимації: описано теплота випаровування, в'язкість, поверхневий натяг, характерні температури. На цій основі у роботі розроблено закономірності для прогнозування температур спалаху та самоспалахування. Але означені емпіричні залежності не відбивають осциляційності фактичних залежностей. Для врахування такого ефекту автором проведено моделювання будови кластерів алканів, циклоалканів, алкенів, алкінів, спиртів для водного розчину, твердого та рідкого станів. Це дозволило розробити теоретичні моделі для прогнозування температур плавлення, густини та розчинності у воді вуглеводнів та їх похідних на підставі впровадженого показника «легкість плавлення», які працюють з високим коефіцієнтом достовірності апроксимації та у зворотному порядку застосування дозволяють оцінювати параметри кластеру.

У третьому розділі дисертаційної роботи наведено дослідження з опосередкованим врахуванням надмолекулярної будови речовини. Наведено розроблену методику розрахунку температури спалаху рідин різних гомологічних класів на підставі значень теплот випаровування, температур кипіння та нижньої концентраційної межі. Розроблено новий принцип розрахунку ТМПП та температури спалаху сумішей горючих рідин, у тому числі з вмістом води, та сформульовано критерій негорючості водних розчинів: існує така температура суміші і такий вміст води у розчині, за яких концентрація її пари дорівнює флегматизуючій і горіння стає неможливим. Запропоновано підходи для розрахунку флегматизації газового простору кисневмісними сумішами негорючих газів. Розроблено формули для розрахунку енергій запалювання та насичення з врахуванням зміни концентраційних меж, температури системи та найменшого вибухонебезпечного зазору. Встановлено, що достатність енергії для запалювання оберненопропорційна достатності температури. Розроблено нову методику визначення середньої довжини молекули основних класів похідних вуглеводнів та нову формулу розрахунку температури самоспалахування, яка працює і для довгих молекул. Встановлено ефект азеотропності для температур самоспалахування деяких сумішей як прояв кластерної будови. Розроблено і запатентовано прилад для диференційно-термічного аналізу, оцінки схильності до самозаймання твердих матеріалів та пожежовибухонебезпечності їх пилу з фіксацією динаміки теплових ефектів і відповідних температур. Запатентовано спосіб запобігання мікробіологічному самозайманню речовин рослинного походження іонізуючим опроміненням.

У четвертому розділі наведено обґрунтування положень методології для ідентифікації надмолекулярної будови, на підставі чого запропоновано алгоритм застосування раніше розроблених кластерних моделей для опису параметрів пожежовибухонебезпечності речовин органічного походження. Існування надмолекулярної будови у полум'ї автор доводить декількома шляхами: перший – виявлення осциляційності таких параметрів

пожежовибухонебезпечності н-алканів як максимальний тиск вибуху, мінімальна енергія запалювання, нормальна швидкість поширення полум'я, ширина області вибухонебезпечних концентрацій, прискорення зміни температури спалаху. Прийнято по аналогії, що під час ініціювання полум'яного горіння, як і під час самозаймання твердих горючих систем, на першому етапі утворюються пероксидні комплекси, конфігурація яких визначає подальші ланцюгові процеси. Пояснено явище азеотропності під час самоспалахування сумішей речовин органічного походження утворенням нестандартних кластерів і розроблено методику корекції розрахунків. Запропоновано проводити прогнозування схильності речовин органічного походження до самоспалахування за довжиною найменшого пероксидного кластеру речовини та поширити дану модель для прогнозування властивостей вибухових речовин. На підставі подібності графічних залежностей для температури самоспалахування та розчинності у воді для алканів та спиртів описано стан ініціювання горіння, як утворення газового розчину речовини органічного походження у кисні у вигляді пероксидних кластерів, які мають більшу молярну масу, а тому й температури фазових переходів та здатність до конденсації у підготовчій зоні фронту полум'я, що формує його товщину.

У п'ятому розділі на підставі розробленої у попередньому розділі методології проведено моделювання пероксидних кластерів алканів і встановлено відповідність дискретності параметрів процесу горіння до ступінчастої зміни довжини кластерів. З врахуванням раніше впровадженого показника «легкість плавлення» розроблено розрахункові залежності для прогнозування параметрів пожежовибухонебезпечності вуглеводнів та їх похідних: температур самоспалахування, антидетонаційного коефіцієнту, концентраційних меж горіння, показника схильності до детонації K_D , який за розрахунком дозволяє відокремити вибухові речовини від невибухових та описати швидкість детонації. Розраховано, що за тисків у фронті полум'я та внаслідок кратної молярної маси алкілпероксидних кластерів значно

зростають температури фазових переходів і створюються умови для конденсації у підготовчій зоні. На цій підставі у роботі отримано дані для товщини фронту полум'я і радіусу мінімальної незгасаючої сфери, які корелюють зі відомими дослідженнями.

У шостому розділі наведено рекомендації щодо використання отриманих результатів щодо прогнозування параметрів пожежовибухонебезпечності для запобігання пожеж, а також досліджено режими пожежогасіння рідин органічного походження засобами на основі піноскла. Визначено теоретичний достатній баланс охолоджуючих та ізолюючих властивостей вогнегасного засобу для пожежогасіння рідин органічного походження як досягнення необхідного коефіцієнту сповільнення випаровування. Показано, що гасіння пожеж полярних та неполярних рідин досягається плавучою системою на основі піноскла. Отримано вогнегасний шар сухого піноскла для спиртів на лабораторному вогнищі 7–9 см, як і для алканів з аналогічними температурами спалаху. Встановлено, що покращення охолодження поверхні рідин досягається змоченням піноскла водою, що зменшує вогнегасний шар на 1–2 см, додаткове подавання гелю з витратою $0,7 \text{ г/см}^2$ – ще на 1–2 см. Отримано ефект охолодження вологим піносклом $20\text{--}70^\circ\text{C}$, що достатньо для гасіння н-додекану і н-октанолу з температурами до 160°C . Показано, що близький ефект гасіння рідин сухим піносклом досягаються для сполук з близьким модифікованим показником еквівалентної довжини кластеру.

Положення, що сформульовані в основних висновках дисертації є науково обґрунтованими та надані в логічному порядку відповідно результатів проведеного аналізу, сформульованих проміжних висновків та здійснених теоретичних та експериментальних досліджень.

Повнота викладу основних результатів дисертації у працях, у яких опубліковано основні наукові результати дисертації.

Основні положення і наукові результати дисертаційної роботи висвітлено у 1 монографії, 25 наукових статтях, з яких 5 опубліковано у закордонних

виданнях, що входять до наукометричної бази Scopus, 20 – у фахових виданнях України, які включено до міжнародних наукометричних баз Ulrich's Periodicals, Index Copernicus, Scholar, 1 патенті на винахід, а також у 4 патентах України на корисну модель та 24 тезах доповідей на науково-технічних конференціях.

Питання розділу 1 дисертації розглянуто у всіх публікаціях. Питання розділу 2 розроблювалися в 1 статті Scopus та 5 фахових статтях. Питання розділу 3 досліджено у 7 фахових статтях з отриманням 1 патенту на винахід. Питання розділів 4 та 5 розроблювалися у 2 статтях Scopus та 4 фахових статтях. Питання розділу 6 досліджено у монографії, 2 статтях Scopus та 1 фаховій статті. При цьому в означених публікаціях розглядалися усі основні питання відповідних розділів дисертації. Тому вважаю, що повнота викладення матеріалів дисертації у публікаціях є достатньою.

Академічна доброчесність дисертаційної роботи та аналіз на плагіат.

Викладені у дисертації дослідження є оригінальними та не перетинаються з роботами інших авторів, усі наукові положення обґрунтовано та підтверджено засобами математичної статистики. Під час перевірки дисертації на плагіат на web-ресурсі <https://my.plag.com.ua> виявлено, що вона має схожість з 42 публікаціями у вигляді книг, статей та матеріалів конференцій, з яких 39 є роботами здобувача, а 3 співпадання з роботами інших авторів не є плагіатом, оскільки припадають на належно оформлені цитування зі стандартною фаховою науковою лексикою. Найбільша кількість текстових співпадань виявлена в першому розділі дисертації, який присвячено огляду сучасного стану питання з досліджуваної проблематики. За виключенням співпадань з роботами здобувача унікальність дисертації становить 98 %.

Зауваження та дискусійні питання стосовно положень докторської дисертації.

1. Згідно ДСТУ 2272:2006 «Терміни та визначення» немає поняття «самоспалахування», яке застосовано у роботі.
2. Для дослідження обрано надто широкий спектр речовин, бо поняття «вуглеводні та їх похідні» охоплює більшу частину органічних сполук.

3. Не чітко дотримується прийнята термінологія для пояснення певних фізико-хімічних явищ та понять, наприклад, у схожому контексті використовуються поняття «осциляційність, пульсаційність, коливальність, ступінчастість залежностей».
4. Не зрозуміло, чи має теоретичне підґрунтя факт збільшення швидкості вигорання лише для окремих рідин під час нарощування шару піноскла до 2 см.
5. Підвищення точності прогнозування параметрів пожежовибухонебезпечності практичної цінності не має, бо надалі все одно застосовуються коефіцієнти безпечних рівнів для відповідних параметрів.
6. У роботі не наведено оптимальні інтенсивності подавання компонентів вогнегасної системи, за яких досягається найменша їх витрата.
7. Незрозуміло, що автор має на увазі під системою рівнів фізико-хімічних властивостей речовин.
8. Не визначено, що автор розуміє під фразою «індикатор типової міжмолекулярної взаємодії».
9. Бажано загальні висновки в дисертаційній роботі більш оптимізувати, що скоротило б їх об'ємність, і більш чітко викласти результати досліджень згідно з поставленими завданнями.
10. Відсутнє впровадження результатів роботи у практичну діяльність підрозділів ДСНС України.

Зроблені зауваження та підняті дискусійні питання стосовно положень докторської дисертації Трегубова Д.Г. не змінюють загальної позитивної оцінки наукового рівня та представлення отриманих результатів у роботі, на яку надано відгук.

Оформлення дисертаційної роботи.

Структура та обсяг представленої роботи відповідають вимогам, що висуваються до тексту дисертацій відповідно до наказу МОН України №40 від 12.01.2017 р. Дисертацію викладено грамотною мовою наукових праць.

Зміст реферату відповідає основним положенням дисертації. В роботі не використовуються результати та висновки кандидатської дисертації.

Загальний висновок по дисертаційній роботі.

За актуальністю теми, науковою новизною результатів, їх практичною цінністю і повнотою публікування дисертаційна робота Трегубова Дмитра Георгійовича «Розвиток наукових основ прогнозування параметрів пожежовибухонебезпечності вуглеводнів та їх похідних», відповідає пунктам 3 та 4 паспорту спеціальності 21.06.02. – пожежна безпека, а також п. 6, 7, 8, 9 «Порядку присудження та позбавлення наукового ступеня доктора наук» затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 17.11.2021 р. №1197, а її автор Трегубов Дмитро Георгійович заслуговує присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 21.06 – пожежна безпека.

Офіційний опонент:

Заслужений діяч науки і техніки України,

доктор технічних наук, професор,

завідувач кафедри охорони праці,

цивільної та техногенної безпеки

Навчально-наукового інституту «Придніпровська

державна академія будівництва та архітектури»

Українського державного університету

науки і технологій

Анатолій БЄЛІКОВ

