

В І Д Г У К

**офіційного опонента на дисертаційну роботу
Шаршанова Андрія Яновича «Розвиток наукових основ
захисту речовин і матеріалів від теплового впливу пожежі»,
яку подано на здобуття наукового ступеня доктора технічних
наук за спеціальністю 21.06.02 – пожежна безпека**

Актуальність.

Захист поверхонь об'єктів від впливу високотемпературних джерел, що утворюються під час пожежі, є однією з головних задач пожежної безпеки. Одним із основних пасивних способів захисту від теплового впливу є створення перешкод на шляху розповсюдження тепла. До таких запобіжників відносяться: покриття і екрани із поглинаючих матеріалів; відбиваючі екрани; екрани із матеріалів, що спучуються; захисні шари неоднорідного матеріалу. Розташовуючись між джерелом тепла і об'єктом захисту, вони зменшують енергетичний вплив пожежі на об'єкт захисту, одночасно запобігаючи небажаному масопереносу.

Рішення проблеми захисту за допомогою екранів і покриттів, незважаючи на її практичну важливість, залишається недостатньо розробленим. Особливо це стосується теоретичних аспектів діяльності. До них відноситься: виявлення особливостей захисної дії екранів і покриттів; математичний опис захисту із максимальним використанням фізичних законів; знаходження аналітичних рішень відповідних задач, що надає можливість використовувати не тільки числові залежності; неповнота набору алгоритмів і програмного забезпечення для рішення прикладних задач стосовно захисту у стандартних умовах та в умовах пожежі у приміщенні. Саме розробці цих питань, як складових загальної проблеми захисту, присвячена дана робота.

До того ж, розвиток нанотехнологій і матеріалознавства призвів до створення нових типів матеріалів. При чому як тих, що можуть бути використані при виробництві нових видів захисних покриттів та екранів, з теплопровідністю деяких менш ніж у повітря, так і тих, що можуть при пожежі суттєво підвищити температуру горіння. Так, сучасні термостійкі покриття

мають теплопровідність меншу ніж у повітря, а деякі полімерні нітрили згорають у повітрі за температурами більш ніж 4200 К. Тобто потреба в сучасному інструментарію щодо створення нових видів запобіжників пожежі та визначення їх основних технічних характеристик є також актуальною проблемою.

На актуальність роботи вказує і те, що її частина виконувалася дисертантом відповідно до плану науково-дослідних робіт Національного університету цивільного захисту України в ході досліджень: “Підвищення ефективності гасіння полімерних матеріалів шляхом використання бінарних систем з роздільним подаванням” (НДР № 0115U002034), “Підвищення ефективності гасіння лісових пожеж шляхом використання бінарних вогнегасних систем з роздільним подаванням” (НДР № 0117U002009), “Підвищення ефективності гасіння резервуарів з нафтою та нафтопродуктами шляхом використання гелеутворюючих систем” (НДР № 0118U001012).

Аналіз змісту дисертації.

Дисертаційна робота складається зі вступу, 6 розділів, загальних висновків, списку використаних літературних джерел з 255 найменувань, містить 516 сторінок друкованого тексту (з них 398 сторінок основного тексту), 3 таблиці, 80 рисунків і 9 додатків.

Ключові положення роботи.

У *вступі* автором в скороченому вигляді наведено обґрунтування роботи, її актуальність, мету та задачі досліджень, також викладено наукову новизну та практичну цінність роботи, представлено особистий внесок здобувача, апробацію результатів, структуру та обсяг дисертації.

В *першому розділі* дисертаційної роботи автор проаналізував існуючу ситуацію із практикою використання захисних екранів і покриттів, а також з теоретичною підтримкою цієї практики. Основну увагу було спрямовано на захист від двох типів явищ: перегрівання об’єктів, що потрапили під вплив пожежі та інтенсифікацію масопереносу небезпечних речовин. Були

сформульовані наступні задачі дослідження, рішення яких у сукупності приводить до рішення проблеми в цілому:

- знайти аналітичне рішення лінійного варіанту задачі нестационарної теплопровідності стосовно захисту термічно товстого та термічно тонкого тіл плоским поглинаючим покриттям;

- визначити вплив випадкової неоднорідності товщини поглинаючого покриття на його теплозахисну дію;

- побудувати модель покриття, що враховує основні особливості процесу спучування і в рамках єдиного підходу описує процеси теплопереносу, термічного розкладу, випаровування, спучування й винесення маси;

- побудувати математичні процеси захисту поверхонь тіл від теплового впливу пожежі за допомогою одного або двох оптично непрозорих відбиваючих екранів з повітряними або теплопровідними оптично тонкими прошарками;

- побудувати математичну модель процесу висихання шару гелю під дією зовнішнього теплового потоку, яка враховує відмінності висихання гелю від випаровування води;

- визначити витрату гелеутворюючого складу, необхідну для покриття захисної смуги з метою локалізації ландшафтної пожежі;

- побудувати математичний опис процесу нестационарної неізотермічної дифузії пари небезпечної речовини крізь шар зернистого середовища;

- розробити практичні рекомендації та алгоритми і комп'ютерні програми щодо вибору покриттів і екранів для захисту об'єктів від теплового впливу пожежі.

В *другому розділі* дисертаційної роботи автором було досліджено питання про захист тіл від теплового впливу пожежі за допомогою плоского однорідного покриття з поглинаючого матеріалу. Досліджено захист термічно товстих та термічно тонких тіл. Останніми на практиці найчастіше є металеві конструкції. Питання представлено у вигляді лінійних задач нестационарної теплопровідності. Для них у дисертації були знайдені аналітичні рішення.

Отримане аналітичне рішення задачі о нагріванні термічно тонкого тіла, ізолюваного від гарячого середовища плоским теплопровідним шаром довільної товщини (що як раз відповідає поширеній на практиці ситуації захисту металевих конструкцій теплопоглинаючим покриттям) стало можливим через те, що дисертанту вдалось знайти корені характеристичного рівняння, питання про значення яких виникає при застосуванні використаних перетворень Лапласа.

Зроблено оцінку захисної дії покриття, випадково-неоднорідного за товщиною. В результаті сформульовано вимоги, за яких обов'язково потрібно враховувати наявність цієї випадкової неоднорідності.

Також у розділі в рамках інтегральної моделі пожежі у приміщенні наведено результати чисельного моделювання теплозахисної дії поглинаючого покриття.

У *третьому розділі* дисертаційної роботи досліджувався захист об'єктів від теплового випромінювання за допомогою відбиваючих екранів. При цьому у якості об'єкта захисту малася на увазі людина. Основу таких екранів складають термічно тонкі оптично непрозорі шари матеріалу, відокремлені між собою та від об'єкту захисту або повітряними прошарками або оптично тонкими прошарками теплопровідного матеріалу.

Досліджено захист за допомогою одиночного відбиваючого екрану, відокремленого від поверхні захисту повітряним прошарком. Зроблено порівняння чисельного рішення з отриманим аналітичним рішенням спрощеної задачі.

У дисертації досліджена захисна дія двошарового відбиваючого екрану із поділяючими повітряними прошарками. Розроблено графічний метод пошуку оптимального співвідношення товщини відбиваючих шарів двошарового тепловідбиваючого екрану з повітряними прошарками при фіксованій сумарній товщині шарів та заданих рівнях критичних температур зовнішнього та внутрішнього відбиваючого шарів. Побудовано алгоритм вибору, при якому досягається максимальний час захисної дії двошарового

екрану. Метод дозволяє знаходити рішення для всіляких пар значень критичних температур, до яких нагріваються зовнішній і внутрішній відбиваючі шари, і тим самим враховувати суттєву різницю цих температур.

Також у розділі розглядалися аналогічні системи з теплопровідними оптично тонкими прошарками. Для обох варіантів прошарків дослідження продемонстрували суттєве (у рази) збільшення часу захисної дії двошаровими екранами, що мають однакову вагу з відповідними одношаровими екранами.

У *четвертому розділі* представлено результати розробки математичної моделі покриття, що спучується при нагріванні. Матеріал покриття розглядається як суміш речовин із змінним складом, збільшення кількості і розширення газової компоненти якої у місцях знаходженні остову у рідкому стані приводить до спучування. Ця модель одночасно описує процеси теплопереносу, термічного розкладання, випаровування, спучування і уносу маси. Для використання моделі розроблено алгоритми і комп'ютерні програми, що моделюють захист в умовах сталого теплового впливу та при пожежі у приміщенні. На прикладі здатного до спучування покриття СК-1 із точністю $\sim 20\%$ продемонстровано збіг експериментальних і модельних результатів.

У *п'ятому розділі* розглядався захист поверхонь, пов'язаний із використанням матеріалів, які або суттєво змінюються у просторі у процесі захисту, або з самого початку мають неоднорідну структуру.

Представлено математичну модель висихання гелю при пожежі. Процес висихання гелю розглядається з врахуванням масопереносу водяної пари крізь прошарок сухого гелю, що утворюється.

На базі визначення променистого теплового потоку, що падає від факелу ландшафтної пожежі на довільно орієнтовані елементи поверхні горючого матеріалу, зроблено оцінку товщини покритої шаром гелю захисної смуги, необхідної для локалізації пожежі.

Наступною у розділі побудовано математичну модель процесу нестационарної неізотермічної дифузії пари горючої рідини крізь

розташований над поверхнею рідини шар зернистого покриття. Використання моделі дозволило отримати залежність мінімальної товщини захисного покриття, яка гарантує відсутність спалаху пари пального при різних значеннях температури.

Також у п'ятому розділі наведено модель нестационарної ізотермічної дифузії крізь двошарову систему «шар гелю, розташований на поверхні шару гранульованого матеріалу».

У шостому розділі наведено практичні рекомендації та алгоритми використання створених комп'ютерних моделей та програм щодо вибору покриттів (із поглинаючих або здатних до спучування матеріалів) та відбиваючих екранів для захисту об'єктів від теплового впливу пожежі.

Положення, що сформульовано в основних *висновках* дисертації є науково обґрунтованими та надані в логічному порядку відповідно результатів аналізу проведених досліджень та висновків попередніх розділів.

Наукова новизна та ступінь обґрунтованості результатів.

У роботі одержано нові науково обґрунтовані результати, які о в сукупності забезпечують вирішення актуальної проблеми розвитку наукових основ захисту об'єктів від теплового впливу пожежі за допомогою захисних екранів і покриттів.

Вперше отримані наступні наукові результати:

- знайдено аналітичні рішення задач нестационарної теплопровідності щодо захисту термічно товстого або термічно тонкого тіла плоским поглинаючим покриттям;

- побудовано модель покриття, що спучується, яка єдиним чином описує процеси теплопереносу, термічного розкладу, випаровування, спучування й винесення маси;

- побудовано опис захисту від теплового впливу за допомогою термічно тонких оптично непрозорих відбиваючих екранів з повітряними або теплопровідними оптично тонкими прошарками;

- побудовано модель процесу висихання шару гелю, яка враховує відмінності висихання гелю від випаровування води;

- побудовано опис процесу нестационарної неізотермічної дифузії пари небезпечної речовини крізь шар зернистого середовища.

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

Практичне значення отриманих результатів.

Результати, які отримані у дисертаційній роботі, є науковою основою використання екранів і покриттів для захисту від теплового впливу пожежі. Розроблені моделі і відповідне програмне забезпечення можуть застосовуватися у якості інструмента для прогнозування зміни параметрів системи під дією зовнішніх джерел тепла. Це дає можливість проектування захисних покриттів і екранів із заданим рівнем захисту.

Результати дисертаційної роботи використані на ПП «НПП «Спецпожтехніка» м. Харків при підборі необхідної товщини захисного покриття, що дозволило зменшити час підбору у 4 рази у порівнянні з існуючими методами оцінок.

Ці ж результати використані у Управлінні ДСНС України у Черкаській області при проведенні попереднього контролю якості робіт з вогнезахисту металевих конструкцій за допомогою поглинаючого вогнезахисного покриття, щодо забезпечення необхідної межі вогнестійкості захищеної конструкції.

Результати дисертаційної роботи впроваджені в навчальний процес Національного університету цивільного захисту України при вивченні дисципліни “Термодинаміка і теплопередача” у розділі “Нестационарна теплопровідність” бакалаврами та дисципліни “Моделювання процесів горіння” у розділі “Моделювання горіння рідин” ад’юнктами. Це дозволило

підвищити якість викладання аспектів взаємозв'язку означених дисциплін з майбутньою професією слухачів.

Повнота викладу основних результатів дисертації в опублікованих працях.

Основні положення і наукові результати дисертаційної роботи викладено у 25 наукових статтях (11 статей одноосібні), з яких 5 у закордонних виданнях, 20 – у фахових виданнях України, які входять до переліку ДАК України (1 входить у наукометричну базу Scopus, 1 – в Ulrich's Periodicals Directory та Index Copernicus, 4 – в Ulrich's Periodicals Directory та Academic Research Index -ResearchBib), у 1 монографії, 3 навчальних посібниках, у 11 тезах доповідей на науково-технічних конференціях і 1 патенті України на корисну модель.

Зауваження.

1. Доцільно було б отримати пояснення про дещо незвичайний сплеск температури газового середовища у приміщенні перед виходом пожежі на стаціонарний режим над її стаціонарним значенням (рис.13 автореферату та 3.24 у дисертації), при моделюванні захисту під час пожежі у приміщенні.
2. Бажано було б указати, як враховувати в умовах безпеки потовиділення, яке суттєво змінює теплообмін, у разі використання для захисту обмежуючих людину відбиваючих екранів.
3. Схема виносу газу крізь утворювані канали у розробленій (у четвертому розділі) моделі здатного до спучування покриття не передбачає утворення заповнених газом замкнених, значно більших за окремі бульбашки макropорожнин, які суттєво змінюють характер спучування.
4. В роботі відсутні пояснення, як в моделі механізму спучування враховувати променисту складову передачі тепла всередині середовища?
5. У співвідношенні (5.68) (стор. 279) потік маси водяної пари від поверхні краплі пропорційний радіусу краплі в першому ступені, тоді як логічно прийняти, що він пропорційний площині поверхні краплі, тобто радіусу краплі в другому ступені. Чим це можна пояснити?

6. У п'ятому розділі відсутня інформація щодо особливостей стефанівського потоку, врахування якого є дуже важливим при опису дифузійного масопереносу у газових середовищах.
7. Недостатньо уваги приділено опису експериментальних досліджень, по збігу з результатами яких зроблено висновки про точність математичної моделі.
8. Запропонований автором підхід є коректним для багатьох випадків, дозволяє дуже швидко, з малими обчислювальними витратами (в порівнянні з використанням чисельних методів, зокрема, методу скінченних елементів), досягати поставленої мети досліджень - проводити моделювання, розраховувати температурні поля, визначати критичні характеристики та поведження засобів захисту під час пожежі. Але такий підхід не завжди дозволяє адекватно розраховувати температурні поля на поверхнях з великою кривизною, на яких знаходиться захисний шар, а для матеріалів, у яких теплопровідність сильно залежить від температури, припущення сталості коефіцієнту теплопровідності, може призводити до похибок обчислення.
9. Вважаю за недоцільне розміщення повних текстів створених програмних продуктів у додатках. Достатньо алгоритмів розрахунків та опису кожної з цих програм у основному тексті дисертації.

Оформлення дисертаційної роботи.

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

Зміст автореферату 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 Шаршанова Андрія

Яновича «Розвиток наукових основ захисту речовин і матеріалів від теплового впливу пожежі», відповідає паспорту спеціальності 21.06.02. – пожежна безпека, а також пунктам 9, 10, 12 - 14 положення про «Порядок присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 року № 567, а її автор Шаршанов Андрій Янович заслуговує присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 21.06.02 - пожежна безпека.

«22» вересня 2020 р.

Завідувач відділу нетрадиційних
енерготехнологій Інституту проблем
машинобудування ім. А.М. Підгорного
НАН України, доктор техн. наук,
старший наук співробітник

О. В. Кравченко

Підпис О. В. Кравченка засвідчує
вчений секретар ІПМаш НАН України
доктор техн. наук



К. В. Максименко-Шейко