

## ВІДЗИВ

офіційного опонента на дисертацію Ковальчика Василя Михайловича за темою «Обґрунтування параметрів гасіння пожеж інертними газами в кабельних тунелях» представлену на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 21.06.02 – пожежна безпека

Дисертаційну роботу Ковальчика В.М. присвячено розкриттю особливостей та закономірностей процесів гасіння пожежі інертними газами і ефективності додаткового впливу на осередок пожежі шляхом багаторазового використання пожежних газів в замкнутому протяжному об'єкті, що призводить до припинення горіння та охолодження осередку пожежі, а також в розробці на цій основі методики розрахунку оптимальних параметрів дистанційного пожежогасіння інертними газами.

### **Актуальність теми досліджень.**

Найчастіше на об'єктах електроенергетики пожежі виникають в кабельних тунелях. Та незважаючи на використання в теперішній час нових типів кабелів з важкогорючою (низької горючості) оболонкою, кількість пожеж не знижується. При пожежах в кабельних тунелях характерним є дуже швидкий їх розвиток. За 10...12 хвилин температура в зоні горіння може досягати 700 ...800 °С. Особливістю профілактики і гасіння пожеж на таких об'єктах є важкодоступність обслуговуючого персоналу для огляду стану кабельної системи та безпосередньо особового складу оперативних розрахунків пожежно-рятувальних підрозділів.

Відомі установки газоводяного пожежогасіння типу, наприклад, АГВГ добре себе зарекомендували при гасінні палаючих фонтанів газу, попри те вони не є придатними для створення інертного середовища в ізольованих підземних об'єктах, віддалених від установки, пінні засоби гасіння пожеж також не завжди являються ефективними при високій кратності піни, рівній більше 1000 в осередку пожежі. Запропонований спосіб рециркуляції пожежних газів в ізольованому об'ємі дає можливість інертизувати повітря до відповідної концентрації кисню, коли залишаються невеликі осередки горіння та тління. Попри те в цьому випадку все залежить від величини ізольованого об'єму. Чим більший буде об'єм, тим менша ефективність гасіння пожежі.

На теперішній час в підрозділах ДСНС України відсутні високоефективні установки комплексного дистанційного гасіння пожеж в ізольованих та напівізольованих приміщеннях.

У зв'язку з цим виникає необхідність в розробці нових високоефективних способів та засобів пожежогасіння. Дослідження процесів інертизації пожежних об'єктів різноманітного об'єму (протяжності) азотом або діоксидом вуглецю, встановлення закономірності горіння твердого палива в умовах низьких концентрацій кисню є актуальним науково-технічним завданням, вирішення якого сприяє безпечному та ефективному гасінню пожеж та проведенню аварійно-рятувальних робіт на об'єктах з підвищеною небезпекою.

Актуальність дисертаційного дослідження підтверджується тим, що вони виконувались у зв'язку з державними науковими програмами: Робота виконувалась відповідно до замовлення Департаменту сил МНС України та науково-дослідних робіт за темами: «Розробка способу гасіння пожежі в ізольованій ділянці тунелю (в закритому об'ємі) рециркуляцією продуктів горіння, пінами та іншими вогнегасними речовинами» (виконавець НДР, ДР № 0107U001312); «Розробка високопродуктивних мобільних засобів гасіння пожеж парогазовими сумішами на об'єктах підвищеної небезпеки» (виконавець НДР, ДР № 0105U004353).

**Повнота викладення наукових положень, висновків та рекомендацій в опублікованих працях.** Основні наукові положення дисертації, висновки та рекомендації в повній мірі опубліковані в 10 наукових роботах, з яких 6 в виданнях, які рекомендовані ВАК України в тому числі у закордонному фаховому виданні, 4 тезах матеріалів наукових конференцій.

Обсяг друкованих робіт та їх кількість відповідають вимогам МОН України щодо публікації основного змісту дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук.

#### **Зміст роботи.**

У вступі обґрунтовано актуальність роботи, сформульовані мета і задачі дослідження, викладені основні наукові положення та результати, що виносяться на захист, їх новизна та практична цінність.

В першому розділі приведено огляд стану пожежної безпеки та дано аналіз існуючих способів гасіння пожеж в каналах різноманітного призначення, особливо, в кабельних тунелях. Для гасіння пожежі у відсіках кабельних тунелів передбачають стаціонарні системи для дистанційного та автоматичного пожежогасіння, окрім цього передбачається використання пересувних засобів (наприклад, пожежних автомобілів), з подачею від них вогнегасних речовин.

Ефективність технології гасіння пожеж залежить від науково обґрунтованого вибору параметрів подачі вогнегасних засобів, в тому числі від конкретного аварійного об'єкту.

Значний вклад в розвиток та гасіння пожеж різноманітними засобами внесли вчені М. П. Копилов, В. І. Горшков, А. М. Баратов, П. С. Пашковський, О. Я. Корольченко, І.Є.Болбат, О. Ф. Шароварников, В. В. Ковалишин, В. П. Колосюк, С. В. Пузач, С. П. Греков, В. В. Мамаєв, Ю. Ф. Булгаков, Ю. В. Кудінов, І. М. Абдурагімов, Ю. А. Кошмаров, І. С. Молчадський, Ю. О. Абрамов, О. О. Кіреєв, С. Ю. Огурцов, С. Ю. Дмитровський, В. О. Кузін, Р. Я. Лозинський, А. В. Антонов, В. О. Дунюшкін, А. М. Рижов, В. І. Луц, В. М. Баланюк та інші вчені.

На основі аналізу сучасного стану технологій пожежогасіння, переваг та недоліків їх застосування на різних об'єктах, показано, що ефективне використання вогнегасних засобів пов'язано з розробкою нових методів та методик розрахунку параметрів їх дистанційної подачі на осередок горіння, які повинні враховувати як вентиляційний режим аварійного об'єкту, так і параметри осередку та часу горіння.

До того ж в ряді робіт розглядаються процеси тепломасообміну при пожежі та не розглядаються процеси його гасіння різноманітними засобами. Так, в ряді робіт пропонується для розрахунку тільки вогнегасна концентрація, наприклад, порошку, розпиленої води або концентрації кисню. При цьому не вказується час їх впливу на осередок горіння для повного гасіння, не досліджується ефективність впливу на осередок пожежі конкретним засобом пожежогасіння.

Не приділяється достатньої уваги самому процесу горіння, коли відбувається піроліз, при якому виділяються газоподібні продукти, які потім вступають в хімічну реакцію з киснем.

Огляд та аналіз відомих математичних моделей розвитку та гасіння пожеж показав, що необхідно дослідити чисельним методом процеси інертизації каналу великої протяжності різними газами з урахуванням їх поглинання стінками каналу; здійснити перерахунок концентрації інертного газу в зв'язку з його втратами по довжині каналу на концентрацію кисню; врахувати стиснення та розширення повітря при великих температурах, виразивши густину через температуру; розробити модель горіння твердого палива при піролізі та переході вуглецю зі зв'язаного у вільний газоподібний стан з подальшим його проникненням в потік повітря та вступом в хімічну реакцію; розробити математичну модель та дослідити чисельним методом

динаміку розвитку пожежі та її гасіння різними інертними газами з наступною рециркуляцією пожежних газів в замкнутому контурі.

Застосування засобів комп'ютерного моделювання розвитку та гасіння пожежі дозволить спростити проведення проектних робіт та розрахунків з одночасним зменшенням собівартості при забезпеченні протипожежного захисту об'єкту.

Закінчується перший розділ постановкою задач досліджень.

**У другому розділі** розглянуті процеси нестационарного переносу інертних газів (азоту та діоксиду вуглецю) в каналах великої протяжності. При цьому враховано, що при заповненні інертним газом азотом або діоксидом вуглецю ізольованого або напівізольованого каналу великої протяжності буде різко змінюватися склад повітря спочатку безпосередньо біля місця подачі інертного газу, а пізніше на підступах до осередку пожежі та в самому осередку. Для описання процесу переносу інертного газу використано рівняння нестационарної конвективної його дифузії.

Існує декілька складних аналітичних рішень рівняння при постійній подачі інертного газу та при перемінній за експонентою його подачі. Однак чисельне рішення рівняння надає великі можливості для вивчення закономірностей заповнення ізольованого чи напівізольованого каналу інертним газом при постійній чи змінній його подачі.

Розроблена математична модель нестационарного переносу інертного газу в каналах великої протяжності дозволяє дослідити усі закономірності заповнення ізольованих та напівізольованих об'ємів інертними газами при постійній або перемінній їх подачі з будь-якою тривалістю за часом.

В результаті встановлено, що коефіцієнт поглинання інертного газу стінками каналу може бути визначений за формулою

$$\gamma = 16 \frac{D_0 + pu\sqrt{S}}{S}.$$

Експериментальні дослідження показали, що в місці подачі азоту або діоксиду вуглецю його концентрація не одразу досягає своєї межі, а відбувається спочатку заповнення деякого об'єму за експоненціальною залежністю. Вказується, що отримана емпірична залежність знайдена для швидкості потоку газів від 0,08 м/с до 0,5 м/с. В цьому випадку динамічний об'єм в якому відбувається перемішування газів буде знаходитися в межах  $V = 64 - 1667 \text{ м}^3$ , що не відповідає дійсності. Так, при площі поперечного перерізу каналу  $S = 4 \text{ м}^2$  отримаємо довжину динамічної зони, рівної  $\Delta x = 16$

– 417 м, яка буде зменшуватися зі збільшенням швидкості, що заперечує теорію струменів газів.

Другий підхід може бути запропонований, якщо припустити, що інтенсивність перемішування пов'язана з поперечними пульсаціями швидкості. Чим більша швидкість, тим більше повинні бути пульсації та краще перемішування газів.

Порівняння розрахункових кривих з експериментальними даними, показало, що вони задовільно збігаються один з одним, що підтверджує правильність запропонованої теорії перемішування газів в місці їх подавання за рахунок поперечних пульсацій швидкості потоку. Для перевірки розробленої математичної моделі натурному об'єкту використані експериментальні дані НДІГС, отримані при заповненні азотом ( $N_2$ ) та діоксидом вуглецю ( $CO_2$ ) ізольованих гірничих виробок.

У **третьому розділі** розроблена математична модель розвитку пожежі та поширення горіння з урахуванням стиснення та розширення газового середовища, що описується системою рівнянь тепломасообміну.

Для визначення джерел тепла в зоні горіння, що входять в систему рівнянь, замість емпіричних залежностей використана та вдосконалена модель, запропонована В. В. Ковалишиним. Модель горіння твердого палива основана на тому, що надходження при піролізі продуктів горіння в потік повітря пов'язане з його дифузією та рухом в порах та тріщинах, в результаті чого формула для описування інтенсивності тепловиділення при горінні представлена у вигляді

$$q = \frac{\chi v_0 H_c b}{2S} \frac{C}{C_0} k_1 [(\tau - x/w) + |\tau - x/w|] \exp[-k_1(\tau - x/w)]$$

Введення модуля числа в формулу показує, що множник перед експонентою перетворюється в нуль, якщо час  $\tau$  менший від часу  $x/w$  переміщення переднього фронту горіння до заданого місця.

Формула з визначення інтенсивності тепловиділення призначена для використання її в рівняннях тепломасообміну, як функції джерел теплоти та інтенсивності витрати кисню при горінні твердого матеріалу, яка буде впливати на температуру в зоні горіння і на концентрацію кисню.

Для другого та третього розділу є характерним різноманітне застосування математичних підходів.

У **четвертому розділі** описана методика проведення експериментальних досліджень гасіння пожежі в модельній вогневій споруді.

Викладені експериментальні результати з досліджень гасіння азотом та  $\text{CO}_2$  в модельній вогневій споруді.

Розроблена математична модель гасіння пожежі інертними газами. Викладені результати моделювання розвитку та гасіння пожежі інертними газами в кабельних тунелях. Для обчислювального моделювання розвитку та гасіння пожежі з наступною рециркуляцією суміші газового середовища в замкненому контурі використана зональна модель, шляхом умовного розділення каналу на дві зони: перед зоною горіння та безпосередньо зона горіння. Це спрощує задачу та дає змогу розглядати процеси тепломасообміну тільки у часі в кожній зоні. Отримані результати можуть бути використані для прогнозування ефективності гасіння пожежі тим або іншим інертним газом. Попри те необхідно ще знати ступінь його впливу на зону горіння та час гасіння

При подаванні інертного газу концентрація кисню і перед зоною горіння і в зоні горіння різко знижується, а потім швидко поновлюється, що також говорить про низьку ефективність гасіння пожежі за короткий період. Чисельне моделювання гасіння пожежі інертними газами з наступною їх рециркуляцією дає можливість науково обґрунтувати параметри ефективного гасіння, в першу чергу проміжок часу подавання вогнегасних речовин та рециркуляція продуктів згорання.

Наведені дані експериментів та проведено їх порівняння з теоретичними дослідженнями. Встановлена адекватність математичної моделі натурним об'єктам, як дрібномасштабних, так і великомасштабних пожеж при їх гасінні інертними газами з подальшою рециркуляцією продуктів горіння, розбіжність між якими не перевищує 15 %.

**В п'ятому розділі** представлена методика розрахунку параметрів гасіння пожежі інертними газами з наступною їх рециркуляцією та програмний розрахунок параметрів гасіння пожеж інертними газами з наступною їх рециркуляцією.

Приведений розрахунок річного економічного ефекту від провадження технічних засобів, способів та методів гасіння пожеж, який становить для азотної системи пожежогасіння 7млн грн.

В цілому дисертація складає враження цілісного наукового дослідження.

**Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій роботи підтверджується:**

- логічним викладенням та відповідністю поставлених для досягнення

визначеної мети досліджень і завдань і методів їх розв'язання;

- коректним використанням методів математичного моделювання процесів тепломасообміну при пожежах в ізольованих каналах на основі системи рівнянь механіки рідин і газів з урахуванням нерозривного зв'язку температури з концентрацією кисню;

- новим підходом до тепломасопереносу в стисненому газі та до моделі горіння як переході від зв'язаного стану вуглецю в газоподібний при термічному розпаді твердого палива;

- використанням чисельних методів рішення задачі тепломасообміну, проведенням експериментів при гасінні пожеж інертними газами та використанням методів комп'ютерного моделювання;

- задовільною схожістю результатів теоретичних та експериментальних досліджень в лабораторних та натурних умовах.

**Наукова новизна одержаних результатів роботи** полягає у розкритті особливостей впливу чинників на процеси припинення горіння в замкнених та напівзамкнених технологічних об'ємах кабельних тунелів у разі подавання діоксиду вуглецю або азоту, а також їх бінарних сумішей з рециркульованими продуктами згоряння.

Вперше теоретично обґрунтовано та експериментально підтверджено, що послідовне подавання в технологічний об'єм кабельного тунелю газових вогнегасних речовин – інертних розріджувачів та продуктів згоряння, підвищує ефективність гасіння пожежі, що проявляється у скороченні тривалості припинення полуменевого горіння (до 16 %), підвищенні швидкості зниження середньооб'ємної температури (до 17%) за однакової витрати зазначених вогнегасних речовин у разі їх роздільного подавання для гасіння та флегматизування газового горючого середовища.

Набуло подальшого розвитку застосування методів моделювання та проведення обчислювальних експериментів для прогнозування динаміки змінення температури та концентрацій компонентів газового середовища під час розвитку пожежі у технологічних об'ємах кабельних тунелів та її гасіння газовими вогнегасними речовинами – інертними розріджувачами з урахуванням їх розширення та поглинання стінками каналу, що дає можливість визначати концентрацію кисню в зоні горіння на будь-якій відстані від місця їх подавання.

Слід зазначити, що наведені положення отримані автором самостійно і вперше.

**Практичне значення одержаних результатів** полягає в розробці методики та обґрунтуванні параметрів технології гасіння пожеж у кабельних тунелях газовими вогнегасними речовинами-розріджувачами (діоксид вуглецю, азот), а також їх бінарними сумішами з продуктами згоряння.

Результати теоретичних та експериментальних досліджень в частині застосування комп'ютерного методу розрахунку параметрів гасіння пожеж впроваджено у навчальний процес Львівського державного університету безпеки життєдіяльності, а також у діяльність Управління ДСНС України в Черкаській області при складанні планів пожежогасіння.

Наукова новизна і практична цінність дисертації не викликають сумнівів.

**Оцінка дисертації, зауваження, оформлення дисертації та автореферату.** Виконану роботу слід вважати завершеним науковим дослідженням, яке відповідає сформульованій меті. Зміст автореферату в повній мірі відображає основні положення дисертаційної роботи.

В результаті розгляду дисертації виявлено ряд недоліків та зауважень:

1. Дисертація має два теоретичних розділи 2 – й та 3-й .
2. Бажано б було викласти результати експериментів у вогневій камері не в додатках, а в основній частині дисертації.
3. В роботі відсутні показники розходів та інтенсивності подачі газів розріджувачів.
4. Бажано було б викласти показники які характеризують процес гасіння в табличній формі. Вказати інтенсивності подачі газів, вогнегасні концентрації, час гасіння та час рециркуляції і витримки після досягнення контрольної температури.
5. Не зовсім зрозуміло що у формулі 5.9 параметр «q» означає інтенсивність тепловиділення чи величину пожежної навантаги кабельної продукції.
6. З роботи не зрозуміло як впливає волога на поглинання газів і на самий процес горіння.

В роботі є нечисленні редакційні і орфографічні помилки; в першому розділі іноді текст носить описовий характер та містить загально відомі положення тощо.

Проте, вказані вище зауваження не зменшують вагомості результатів дослідження та не зменшують загального теоретичного і прикладного значення дисертаційної роботи. Здобувач продемонстрував наукову зрілість та хороші знання з вищої математики.



**Загальна оцінка дисертаційної роботи.** В цілому дисертаційна робота Ковальчика В.М. є завершеною науковою роботою, яка містить нові експериментальні дані та теоретичні положення, що є важливими для вдосконалення існуючих методів гасіння пожеж в кабельних тунелях. У дисертаційній роботі отримані нові науково обґрунтовані результати, які в сукупності забезпечують вирішення актуальної науково-практичної задачі – розкриття особливостей впливу чинників на процеси припинення горіння в замкнених та напівзамкнених технологічних об'ємах кабельних тунелів у разі подавання діоксиду вуглецю або азоту, а також їх бінарних сумішей з рециркульованими продуктами згоряння як наукове підґрунтя підвищення ефективності гасіння пожеж на зазначених об'єктах.

Представлена робота відповідає паспорту спеціальності 21.06.02 – пожежна безпека (п.1, 4, 6).

Дисертаційна робота Ковальчика В.М. задовольняє вимогам п. п. 11, 13 Постанови Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р. № 567 „Про затвердження порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника”, а її автор заслуговує присвоєння наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 21.06.02 – пожежна безпека.

«15» березня 2016 р.

Офіційний опонент:

завідувач кафедри природоохоронної діяльності  
ДВНЗ Донецький національний технічний університет  
МОН України,  
доктор технічних наук, професор

В.К. Костенко

Підпис Костенка В.К. засвідчую

менеджер ВК

