

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу Ковальчика Василя Михайловича "Обґрунтування параметрів гасіння пожеж інертними газами в кабельних тунелях" представлену до захисту на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук зі спеціальності 21.06.02 – “пожежна безпека”

Актуальність теми. Пожежі на об'єктах енергетики найчастіше виникають в замкнених та напівзамкнених технологічних об'ємах кабельних тунелів. Особливостями пожеж на таких об'єктах є швидкий їх розвиток, обмежений простір та важкодоступність для здійснення дій з локалізувannya та гасіння особовим складом пожежно-рятувальних підрозділів, обмежена видимість, висока температура (до 800 °С), ймовірність виникнення повторного загоряння після припинення процесу горіння, а також токсичність продуктів згоряння. Застосування нових типів кабелів низької горючості з різних причин поки не набуло в Україні належного поширення, тому кількість таких пожеж практично не знижується.

Слід зазначити, що в роботах дослідників, які зробили значний внесок у розвиток пожежної науки з питань технологій і способів гасіння пожеж, зокрема, А. М. Баратова, П. С. Пашковського, М. П. Копилова, С. П. Грекова, В. І. Горшкова, Ю. Ф. Булгакова, В. В. Мамаєва, Ю. А. Кошмарова, І. С. Молчадського, А. В. Антонова, недостатню увагу було приділено науковому обґрунтуванню та впровадженню технологій гасіння пожеж у кабельних тунелях об'ємним способом із застосуванням газових вогнегасних речовин.

Розкриття особливостей впливу чинників на процеси припинення горіння в замкнених та напівзамкнених технологічних об'ємах кабельних тунелів у разі подавання з обґрунтованими параметрами азоту або діоксиду вуглецю, а також їх бінарних сумішей з рециркульованими продуктами згоряння є актуальною науковою задачею, розв'язання якої створює передумови для підвищення ефективності гасіння пожеж на зазначених об'єктах.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами НДР, темами. Робота виконувалась у рамках виконання 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» (ДР № 0107U001312); «Розробка високопродуктивних мобільних засобів гасіння пожеж парогазовими сумішами на об'єктах підвищеної небезпеки» (ДР № 0105U004353), в яких здобувач був виконавцем.

Структура роботи. Дисертаційна робота складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, переліку використаних літературних джерел та додатків. Загальний обсяг дисертації – 185 сторінок, в тому числі основна частина – 143 сторінки. Дисертація містить 13 таблиць, 60 рисунків, 7 додатків. Список використаних літературних джерел із 136 найменувань.

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.

У *першому розділі* проведено огляд стану пожежної безпеки кабельних тунелів та проаналізовано існуючі способи гасіння пожеж у них. Для гасіння пожеж у відсіках кабельних тунелів передбачають стаціонарні системи пожежогасіння, окрім цього передбачається використання пересувних засобів з подачею від них вогнегасних речовин.

Для гасіння пожеж в кабельних тунелях застосовують повітряно-механічну та газо-механічну піну розпилену та тонкорозпилену воду, водяну пару, вогнегасні порошки та газові вогнегасні речовини - інертні розріджувачі (азот, діоксид вуглецю) та інгібітори горіння, зокрема, хладон 114В2.

Ефективність гасіння пожеж залежить від науково обґрунтованого вибору параметрів подачі вогнегасних засобів.

Забезпечення пожежної безпеки об'єктів ґрунтується на основі визначення їх геометричних параметрів, величини пожежного навантаження, технічного оснащення системами протипожежного захисту, які повинні забезпечувати швидке виявлення пожежі та ліквідацію пожежі в найкоротші терміни з мінімальними матеріальними втратами.

На основі аналізу сучасного стану технологій пожежогасіння, переваг та недоліків їх застосування на об'єктах, показано, що ефективно використання вогнегасних засобів пов'язане з розробкою нових методів та методик розрахунку параметрів їх дистанційної подачі до зони горіння.

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

Автором сформульовано, та в подальшому реалізовано алгоритм проведення досліджень процесів гасіння пожеж у кабельних тунелях газовими вогнегасними речовинами (ГВР) – інертними розріджувачами (азотом та діоксидом вуглецю) та їх бінарними сумішами з рециркульованими продуктами згорання. Результати цих досліджень лягли в основу розробленої методики розрахунку параметрів гасіння пожежі цими речовинами.

У *другому розділі* розглянуті процеси нестационарного переносу ГВР - інертних розріджувачів (азоту та діоксиду вуглецю) в кабельному тунелі. При цьому враховано, що при заповненні азотом або діоксидом вуглецю в замкнених та напівзамкнених технологічних об'ємах кабельних тунелів буде різко змінюватися склад газового середовища спочатку безпосередньо

біля місця подачі інертного газу, а пізніше перед зоною горіння та в самій зоні горіння.

Розроблена математична модель нестационарного переносу інертного газу дає змогу дослідити основні закономірності заповнення замкнених та напівзамкнених технологічних об'ємів кабельних тунелів інертними газами при постійному або перемінному їх подаванні з будь-якою тривалістю за часом. Із застосуванням розробленої математичної моделі проведено обчислювальні експерименти з метою визначення динаміки заповнення азотом та діоксидом вуглецю ізольованого каналу довжиною 40 м, в якому знаходиться осередок пожежі (на відстані 36 м від місця подавання ГВР). При цьому, на основі аналізу отриманих розрахункових даних, а також результатів експериментальних досліджень у шахтах, проведених іншими дослідниками, запропоновано формулу, яка враховує взаємозв'язок перемішування газів у поперечному перерізі каналу з динамічним об'ємом.

Порівняння розрахункових та експериментальних даних, показали, їх задовільну збіжність, що підтверджує правильність запропонованої теорії перемішування газів в місці їх подавання завдяки поперечним пульсаціям швидкості потоку.

У *третьому розділі* розроблена математична модель розвитку пожежі та поширення горіння з урахуванням стиснення та розширення газового середовища. Отримана система рівнянь шляхом переходу від тривимірних рівнянь до одновимірних відрізняється від звичайних рівнянь переносу якої-небудь субстанції врахуванням стиснення та розширення газового середовища шляхом введення масової швидкості та множника T_0/T перед похідною температури або концентрації кисню за часом.

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 дифузиею та рухом в порах та тріщинах.

Доки фронт полум'я не досягнув визначеної відстані від місця виникнення пожежі, горіння там відсутнє. Потім в місці з'явлення фронту полум'я відбувається швидке зростання інтенсивності піролізу та виділення його газоподібних продуктів з подальшим горінням та затуханням протягом визначеного проміжку часу.

Запропонована формула, на відміну від відомих емпіричних і аналітичних залежностей, вперше одночасно враховує як процес розвитку горіння твердого матеріалу, так і його вигоряння з урахуванням переміщення фронту полум'я. Вона призначена для використання її в рівняннях тепломасообміну, як функція джерел теплоти та інтенсивності витрати кисню при горінні твердого матеріалу, яка буде впливати на температуру в зоні горіння і на концентрацію кисню.

У *четвертому розділі* викладені результати моделювання розвитку та гасіння пожежі інертними газами в кабельних тунелях.

Розроблено алгоритм та програмне забезпечення для розрахунку динаміки зміни температури в зоні горіння і на стінках каналу, а також концентрації кисню в зоні горіння та перед нею. При розрахунках формуються чотири масиви розрахункових даних температури і концентрації кисню з винесенням кривих їх розподілу.

Паралельно з теоретичними дослідженнями проведено експериментальні дослідження гасіння макетного вогнища пожежі (горючої ізоляції електричних кабелів масою 16 кг) в модельній вогневій споруді, що являє собою камеру довжиною 2 м, висотою 0,6 м і шириною 0,4 м.

Встановлено, що додаткова рециркуляція продуктів горіння в умовах експерименту забезпечує додаткове зниження температури у випробувальній камері в процесі гасіння загалом на 17 %, та скорочення тривалості гасіння на 16 %.

Порівняння розрахункових та експериментальних даних підтвердили адекватність розробленої математичної моделі та дали змогу обґрунтувати параметри гасіння пожеж інертними газами з наступною їх рециркуляцією.

У *п'ятому розділі* встановлена область застосування і тактико-технічні можливості впливу на зону горіння інертними газами, розроблена методика розрахунку параметрів гасіння пожежі інертними газами при їх поглинанні стінками каналу та ефективності впливу на зону горіння азотом та діоксидом вуглецю з наступною рециркуляцією газового середовища – суміші ГВР - інертних розріджувачів з газоподібними продуктами згоряння.

Розрахунок параметрів гасіння пожеж (концентрації кисню і температури в зоні горіння та перед нею) інертними газами з наступною рециркуляцією їх сумішей з продуктами згоряння виконується в додатку Microsoft Excel з використанням вихідних даних та отриманих аналітичних залежностей, представлених в розробленій методиці. Покрокове представлення параметрів гасіння пожежі дає можливість прослідкувати, як змінюється з часом ситуація в зоні горіння до тих пір, поки пройде не менше двох годин з часу виникнення горіння.

Результати розрахунку параметрів у зоні горіння надаються у наочному графічному вигляді як для варіанту без застосування засобів пожежогасіння, так і в разі подавання інертного газу з наступною рециркуляцією. Це дає змогу аналізувати ефективність застосування того чи іншого інертного газу і вибирати відстань до осередку пожежі, з якої забезпечується ефективно (для пожежогасіння) подавання інертного газу, його витрату, визначати необхідну загальну кількість ГВР та тривалість інертизації атмосфери ізолюваного відсіку тунелю.

Слід відзначити достатньо велику глибину проведеного автором аналізу існуючих теоретичних і експериментальних досліджень процесів розвитку та гасіння пожеж, на основі якого створено математичний інструмент для прогнозування динаміки зміни основних параметрів

газового середовища (температури та концентрації кисню) під час пожежі та її гасіння ГВР – інертними розріджувачами у кабельних каналах і аналогічних за геометрією об'єктах. Беззаперечною є практична спрямованість даної роботи. В той же час очевидна необхідність продовження досліджень у вибраному напрямку, особливо в частині експериментальних досліджень з метою визначення параметрів, необхідних для більш точних розрахунків, зважаючи на різноманітність об'ємно-планувальних та фізичних характеристик захищуваних об'єктів.

Оформлення дисертаційної роботи та автореферату відповідає нормативним вимогам ДАК України. Автореферат відповідає основним положенням дисертаційної роботи. Основні результати висвітлені в 10 наукових роботах, 6 з яких – у фахових наукових виданнях, в тому числі в одному закордонному фаховому виданні.

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 згорання. При цьому:

- уперше теоретично обґрунтовано та експериментально підтверджено, що послідовне подавання в технологічний об'єм кабельного тунелю газових вогнегасних речовин – інертних розріджувачів та рециркульованих продуктів згорання, 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;

- удосконалено методичну базу визначення основних параметрів гасіння пожеж у кабельних тунелях у разі застосування діоксиду вуглецю або азоту, а також їх бінарних сумішей з рециркульованими продуктами згорання, шляхом використання розробленої методики розрахунку цих параметрів.

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

- 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 газового середовища з концентрацією кисню;
- використанням обчислювальних методів рішення задач тепломасообміну, проведенням експериментів при гасінні пожеж інертними газами та використанням методів комп'ютерного моделювання;
- задовільною сходиністю результатів теоретичних та експериментальних досліджень в лабораторних та натурних умовах.

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

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.

Недоліки та зауваження:

1. Автором не вказано границі допуску різниці температур повітря у кабельному каналі і інертного розріджувача для застосування моделі нестационарного переносу як для ізотермічного процесу (стор. 41). Якщо для азоту це допустимо, то для CO_2 є сумнівним.

2. Для чіткого визначення границь застосування запропонованих автором математичних моделей необхідно дати визначення "каналу великої протяжності", наприклад, вказавши граничне мінімальне значення відношення довжини каналу до його ширини. У модельній вогневій споруді (див. Рис. 4.1) це співвідношення становить $2:0,4 = 5$.

3. Автором проведено велику кількість розрахунків, де, в якості вихідних даних наведено конкретні значення окремих параметрів, але не вказано чому вибрано саме такі їхні значення. Наприклад, значення критеріїв $\text{Cu}=0,5$; $\text{Fo}=0,15$ під час розрахунків за формулою 2.15 (стор. 46).

4. На рис. 3.1 (стор. 72) наведена "експериментальна (штрихова лінія) інтенсивності газовиділення при горінні твердого матеріалу". Не ясно, ким вона отримана, для яких матеріалів і які границі застосування її аналітичного виразу (формула 3.25).

5. У розрахунках процесів подавання газових вогнегасних речовин – інертних розріджувачів під час гасіння пожежі у кабельному каналі,

наведених у розділах 4 та 5, застосовуються значення коефіцієнтів поглинання інертних газів стінками каналів, отриманих іншими дослідниками на основі експериментів у шахтах ([12, 43]). Коректність їх застосування потребує пояснень.

6. У прикладах розрахунків на стор. 119-122 не зрозуміло у яких перерізах ізольованих відсіків довжиною 40 м і 150 м визначалась температура.

7. До протоколу полігонних випробувань (Додаток Е) бажано додати результати розрахунків за запропонованою методикою для порівняння експериментальних та розрахункових даних.

8. У тексті розділу 1 зустрічаються окремі неточності та невдалі вирази, зокрема: «...розвиток пожежі... характеризується залежністю середньооб'ємної температури від часу» (стор.20); «Піна... наділена значними перевагами: об'ємністю заповнення аварійної ділянки...» (стор.23); «Методика газового пожежогасіння є простою:...» (стор.26).

9. Враховуючи велику кількість наведених формул та застосовуваних позначень, слід було б навести у дисертації "Перелік умовних позначень, символів, одиниць і термінів".

Оцінка дисертаційної роботи.

Дисертація Ковальчика В.М. є закінченою науково-дослідною роботою. Робота пройшла достатню апробацію результатів дисертаційних досліджень.

Зазначені вище недоліки не впливають на загальну позитивну оцінку представленої на опонування дисертаційної роботи В. М. Ковальчика. В цілому дисертаційна робота Ковальчика В. М. «Обґрунтування параметрів гасіння пожеж інертними газами в кабельних тунелях», відповідає вимогам ДАК України щодо кандидатських дисертацій, за спеціальністю 21.06.02 – пожежна безпека, а її автор заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук.

Офіційний опонент,

кандидат технічних наук, старший науковий співробітник,
начальник відділу автоматизованих систем пожежогасіння
науково-виробничої фірми «Фактор»

[Handwritten signature] В. О. Дунюшкін

«21» березня 2016 р.

Підпис Дунюшкіна В.О. засвідчено *Ковальчик В.М. ТОВ «НВП*
«ФАКТОР» *Фобрекова М.М.*

