

УДК 622 82: 614. 842

В.В. Ковалишин, д.т.н., проф., В.М. Ковальчик, С.І. Гончаренко,
Львівський державний університет безпеки життєдіяльності

ОБГРУНТУВАННЯ ТА РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ГАСІННЯ ПОЖЕЖ ІНЕРТНИМИ ГАЗАМИ З НАСТУПНОЮ ЇХ РЕЦИРКУЛЯЦІЄЮ В КАБЕЛЬНИХ ТУНЕЛЯХ

Розроблено методику розрахунків параметрів гасіння пожеж на основі результатів теоретичних та експериментальних досліджень в лабораторних та полігонних умовах динаміки інертних газів при їх поглинанні стінками каналу, динаміки температури та ефективності впливу на осередок горіння азотом та вуглекислим газом з наступною рециркуляцією пожежних газів. Розроблено комп'ютерний метод обґрунтування параметрів ефективного гасіння пожеж азотом або вуглекислим газом з наступною рециркуляцією пожежних газів, що дозволяє в наглядному графічному вигляді спостерігати динаміку температури, як без подачі, так і при подачі інертного газу. Визначено область застосування та тактико-технічні можливості впливу на осередок горіння азотом або вуглекислим газом з наступною рециркуляцією пожежних газів. Це ізольовані та напівізольовані протяжні об'єкти: кабельні тунелі, коридори та відсіки будівель різноманітного призначення, підземні горизонтальні або з нахилом до 10 градусів гірничі виробки та інші аналогічні об'єкти при виникненні та гасінні пожеж. Встановлено, що подача інертних газів повинна проводитися на відстань не більше 40 м від зони горіння. Область застосування інертних газів значно розширюється при організації подальшої рециркуляції пожежних газів, що дозволяє економно подавати інертний газ.

Ключові слова: гасіння пожеж, інертні гази, рециркуляція, кабельні тунелі.

Постановка завдання. Найчастіше пожежі виникають на об'єктах електроенергетики в кабельних тунелях. Та, незважаючи на використання в теперішній час нових типів кабелів з важкогорючою 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.

Відомі установки газоводяного пожежогасіння типу, наприклад, АГВГ добре себе зарекомендували при гасінні газових фонтанів, але вони не придатні для створення інертного середовища в ізольованих підземних об'єктах, віддалених від установки більше ніж на 15-25 м.

У зв'язку з цим виникає необхідність в розробці нових високоефективних способів та засобів пожежогасіння. Дослідження процесів інертизації пожежних об'єктів різноманітної 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.

Основна частина. Дійсна методика розроблена на основі результатів теоретичних та експериментальних досліджень в лабораторних та полігонних умовах динаміки інертних газів при їх поглинанні стінками каналу та ефективності впливу на осередок горіння азотом та вуглекислим газом з наступною рециркуляцією пожежних газів. При теоретичних дослідженнях використано систему диференціальних рівнянь переносу вздовж каналу та тепломасообміну з його стінками [1-3] з урахуванням стисненості та розширення пожежних газів при піролізі та горінні твердого палива. Задача розв'язана чисельним методом та описує динаміку концентрації інертного газу та температуру перед зоною та в зоні горіння [4,5].

Область застосування – ізольовані та напівізольовані протяжні об'єкти: кабельні тунелі, коридори та відсіки будівель різноманітного призначення, підземні горизонтальні або похилі під кутом до 10 градусів гірничі виробки та інші аналогічні об'єкти при виникненні та гасінні пожеж.

Аварійний об'єкт для ефективного гасіння пожежі повинен мати площу поперечного перерізу каналу не більше 10-15 м². Протяжність об'єкту може бути різною та ефективність гасіння пожеж визначається відстанню зі сторони свіжого струменю повітря до осередку горіння.

В кабельних тунелях, які розділені на відсіки перемичками, останні автоматично або вручну зачиняються при виникненні пожежі. Кінець всмоктуючого трубопроводу розміщується в верхній частині каналу за перемичкою там, де температура пожежних газів, що направляються назустріч свіжому струменю повітря, знаходиться в межах 50 – 150 °С. Виконання цих заходів сприяє організації надійної рециркуляції пожежних газів у випадку її застосування перед подачею та після подачі інертного газу. Пожежні газу, що рециркулюють подаються за допомогою всмоктуючого вентилятора в отвір перемички.

Вплив на осередок пожежі в цьому випадку заключається в тому, що з однієї сторони пожежні газу, що відбираються з ізолюваної ділянки повертаються по трубопроводах в осередок горіння. Ефективність застосування інертного газу з наступною їх рециркуляцією в основному визначаються двома параметрами: відстанню до осередку пожежі та відстанню, починаючи з якої можливо провести захоплення продуктів горіння та подати їх до осередку пожежі.

Схема організації впливу інертних газів на осередок пожежі в ізолюваному об'ємі показана на рис. 1.

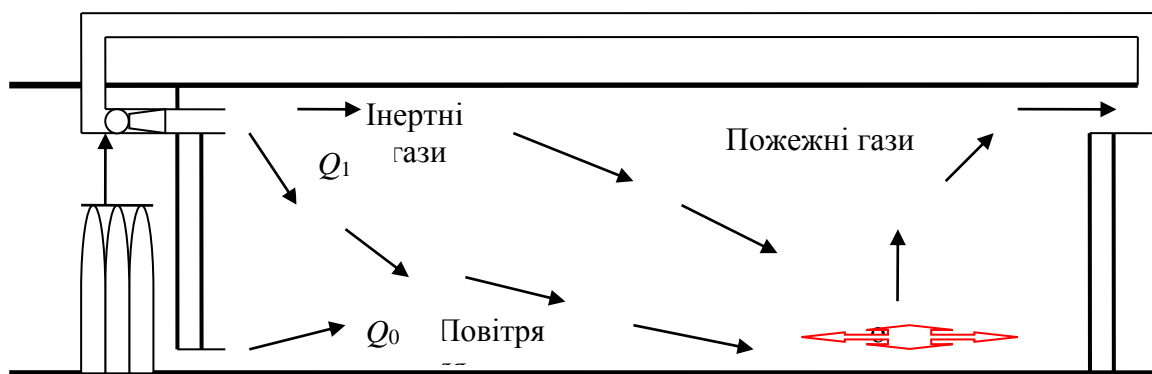


Рисунок 1 – Схема організації впливу інертних газів на осередок пожежі в ізолюваному об'ємі.

На рис. 1 видно, що з балонів або з установки мембранного отримання азоту інертні газу подаються в ізолювані відсіки кабельного тунелю та, змішуючись з повітрям, поступають на осередок горіння, а пожежні газу, подаються по трубопроводах знову в ізолюваний відсік.

Інтенсивність та тривалість подачі інертного газу, а також час рециркуляції пожежних газів в ізолюваному каналі визначаються розрахунковим шляхом та подальшим вивченням результатів гасіння пожежі. Витік повітря через ізолюваний об'єм необхідно зменшувати до 10-20 % від загального розходу суміші газів. Необхідна дальність подачі інертного газу з урахуванням його поглинання стінками каналу, його концентрація та концентрація кисню в осередку пожежі, а також тривалість гасіння пожежі до температури 100-200 °С та інші параметри повинні визначатися розрахунковим шляхом.

До проведення розрахунку потрібно вибрати завчасно інертний газ – азот або діоксид вуглецю, задати його розхід, а розхід іншого інертного газу приймаємо рівним нулю.

Далі, представляємо, що попередньо, хоча б приблизно, відомі витік повітря та приймається їх розхід через ізолюваний об'єм з його геометричними параметрами (довжиною відсіку кабельного тунелю, відстанню від місця подачі інертного газу до зони горіння та його загальною довжиною).

Метою розрахунку є визначення:

- коефіцієнта поглинання вибраного інертного газу залежно від відстані до осередку пожежі;

- очікуваної концентрації кисню в зоні горіння;
- температури в зоні горіння без застосування інертних газів;
- очікуваної температури в осередку пожежі при заданому часі його гасіння;
- очікуваної максимальної температури при довготривалому гасінні пожежі;
- проміжку часу гасіння пожежі до температури 100200 °С з наступною рециркуляцією пожежних газів.

Вихідні дані для розрахунку:

Q_0 – розхід повітря в суміші газів, м³/хв; Q_1 – розхід азоту (при відсутності подачі приймається рівним «0»), м³/хв; Q_2 – розхід діоксиду вуглецю (при відсутності подачі приймається рівним «0»), м³/хв; L – довжина відсіку кабельного тунелю, м; S – площа поперечного перерізу каналу, м²; v_0 – швидкість горіння, приймається рівною 0,78 кг/(с·м²); q – пожежна навантага для кабелю, еквівалентна деревині і приймається рівною 35 кг/м²; τ_i – час з початку і до завершення впливу на осередок пожежі інертних газів та рециркуляції ($i = 1$ – початок подачі інертного газу, $i = 2$ – завершення подачі інертного газу, 3 – завершення рециркуляції), хв.

Порядок розрахунку

1. Знаходимо концентрацію кисню (%) в місці подачі інертного газу

$$C_0 = \frac{21Q_0}{Q_0 + Q_1 + Q_2}. \quad (1)$$

2. Визначаємо коефіцієнт поглинання інертного газу (азоту або діоксиду вуглецю) по шляху його руху до зони горіння

$$\bar{\gamma}_2 = 1,5 \cdot 10^{-5} L \left(\frac{Q_1}{Q_1 + Q_2} + 2 \frac{Q_2}{Q_2 + Q_1} \right). \quad (2)$$

3. Знаходимо очікувану концентрацію кисню (%) в зоні горіння

$$C_1 = \bar{\gamma}_2 C_0. \quad (3)$$

Якщо очікувана концентрація повітря інертного газу $C_1 > 10$ %, то необхідно або зменшити виток повітря Q_0 , або зменшити відстань x_0 від місця подачі до зони горіння.

4. Визначаємо з урахуванням теплової конвекції швидкість руху (м/с) суміші газів, що потрапляють в осередок горіння за формулою

$$u = 0,05 + \frac{Q_0 + Q_1 + Q_2}{60S}. \quad (4)$$

5. Знаходимо довжину (м) зони горіння за формулою

$$l = 0,5uq / v_0. \quad (5)$$

6. Визначаємо коефіцієнт швидкості розвитку пожежі (1/с)

$$k = 0,006 / l. \quad (6)$$

7. Знаходимо крок за часом (хв) при чисельному розрахунку за програмним забезпеченням ПК

$$\Delta\tau = l / 60u . \quad (7)$$

8. Знаходимо номери вузлів, що відповідають часу початку (n_1) та завершення (n_2) гасіння пожежі інертним газом, а також часу завершення (n_3) рециркуляції пожежних газів за формулою

$$n_i = \tau_i / \Delta\tau . \quad (8)$$

9. Визначаємо на кожному новому періоді часу інтенсивність тепловиділення при горінні за формулою

$$\bar{q}^n = \bar{q}_0 kn\Delta\tau \exp(-kn\Delta\tau) . \quad (9)$$

10. Задаємо на вході в першу зону функцію зміни концентрації інертного газу при його подачі

$$\bar{\zeta}_0^{n+1} = 1 + 0,25 \left(1 + \frac{n - n_1}{|n - n_1|} \right) \left(1 + \frac{n_2 - n}{|n_2 - n|} \right) \{ (C_1 / C_0 - 1) [1 - \exp(-un\Delta\tau)] \} . \quad (10)$$

11. Задаємо на вході в першу зону функцію зміни концентрації пожежних газів при їх рециркуляції

$$\bar{\zeta}_0^{n+1} = 1 + 0,25 \left(1 + \frac{n - n_2}{|n - n_2|} \right) \left(1 + \frac{n_3 - n}{|n_3 - n|} \right) (\bar{C}^n - 1) . \quad (11)$$

12. Проводимо на кожному новому періоді часу розрахунок параметрів гасіння пожежі - концентрації кисню до зони горіння

$$\bar{\zeta}^{n+1} = \frac{\bar{\zeta}^n + \bar{\zeta}_0^{n+1} l / (L - l) + \bar{\gamma}_2}{1 + l / (L - l) + \bar{\gamma}_2} ; \quad (12)$$

- концентрації кисню в зоні горіння

$$\bar{C}^{n+1} = \frac{\bar{C}^n + \bar{T}^n (\bar{\zeta}^{n+1} + \bar{\gamma}_2)}{1 + \bar{T}^n (1 + \bar{\gamma}_2 + 0,1\bar{q}^n)} ; \quad (13)$$

- температури в зоні горіння

$$\bar{T}^{n+1} = \bar{T}^n \frac{2 + 3\bar{\theta}^n + \bar{q}^n \bar{C}^n}{1 + 3\bar{T}^n} ; \quad (14)$$

- температури в оточуючому тунель середовищі

$$\bar{\theta}^{n+1} = \frac{\bar{\theta}^n + 0,015\bar{T}^n}{1,015} . \quad (15)$$

Для оперативних розрахунків усіх параметрів, а також часу гасіння пожежі розроблено комп'ютерний метод розрахунку.

Розрахунок параметрів гасіння пожежі (концентрації кисню та температури, як в зоні горіння, так і перед нею інертними газами з наступною їх рециркуляцією) виконується в Excel з використанням усіх вихідних даних та отриманих аналітичних залежностей, представлених в розробленій методиці. Покрокове представлення параметрів гасіння пожеж дає можливість наглядно в графічному вигляді прослідкувати, як змінюється з часом обстановка в зоні гасіння пожежі.

Розрахунок газодинамічних параметрів закінчується при досягненні кількості ітерацій $n = 500$, що відповідає часу з моменту виникнення пожежі, рівного 1-2 години та більше. Це залежить від величини розходу газоповітряної суміші, яка потрапляє в осередок пожежі при швидкості її руху не менше 0,1 м/с.

В результаті розробленого алгоритму та програми розрахунку газодинамічних параметрів горіння та гасіння пожежі у відсіках кабельного тунелю надається можливість спрогнозувати в програмному забезпеченні Excell ефективність застосування того або іншого інертного газу та визначити, як тривалість його застосування, так і кількість розхідного матеріалу та вибрати інший більш ефективний режим.

Результати розрахунку надаються у зручному графічному вигляді з представленням кривих змін за часом температури в зоні горіння як без застосування, так із застосуванням вибраного інертного газу з рециркуляцією пожежних газів та без неї. Це дозволяє наглядно аналізувати ефективність застосування того чи іншого інертного газу.

Нижче приведено різноманітні приклади розрахунку для програмного забезпечення гасіння пожежі азотом або діоксином вуглецю у відсіках кабельного тунелю.

Приклад. Визначити час гасіння пожежі азотом у відсіку кабельного тунелю довжиною $L = 40$ м та площею поперечного перерізу $S = 4$ м² при наступних вихідних даних: $Q_0 = 1$ м³/хв; ; $Q_1 = 10$ м³/хв; $Q_2 = 0$. Подача азоту продовжується протягом 10 хв, починаючи з $\tau_1 = 10$ хв, після чого починається рециркуляція пожежних газів також протягом 10 хв.

Як видно (рис. 2), подача азоту протягом 10 хв з розходом 10 м³/хв без рециркуляції призводить до зниження температури до 150 °С через 40 хв з моменту виникнення пожежі. Додаткова рециркуляція пожежних газів протягом 10 хв дозволяє вже на 30 хв добитися зниження температури до 150 °С. При цьому видно, що без рециркуляції після подачі інертного газу спостерігається різке збільшення температури з 250-300 °С майже до 350 °С, що викликає повторне горіння.

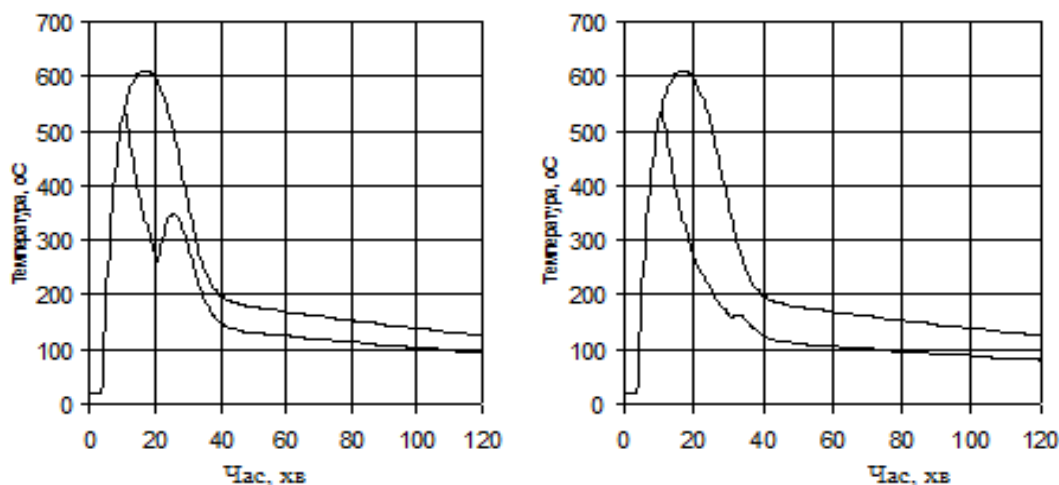


Рисунок 2 – Динаміка температури в ізолюваному відсіку довжиною 40 м при подачі азоту (ліворуч) та при його подачі з наступною рециркуляцією (праворуч, тонка лінія – вільне горіння).

Подальші розрахунки показали, якщо застосовується діоксид вуглецю з таким самим розходом $10 \text{ м}^3/\text{хв}$, то в цьому випадку отримуємо приблизно такі ж результати. Однозначно, що в цьому випадку зниження температури до $150 \text{ }^\circ\text{C}$ досягається пізніше (всього на 2 хв).

Зовсім інша картина (рис. 3) спостерігається, якщо довжина відсіку збільшується та складає $L = 150 \text{ м}$.

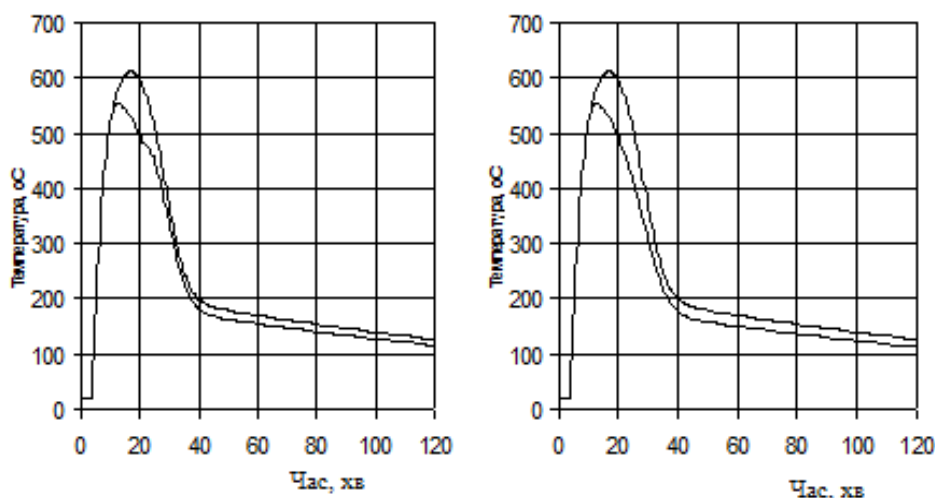


Рисунок 3 – Динаміка температури в ізольованому відсіку довжиною 150 м при подачі азоту (ліворуч) та при його подачі з наступною рециркуляцією (праворуч, тонка лінія – вільне горіння)

З результатів розрахунку видно, якщо подача азоту на великі відстані призводить до деякого пришвидшення зниження температури (рис. 3), то подача діоксиду вуглецю на таку саму відстань майже не відображається на динаміці температури навіть з наступною рециркуляцією пожежних газів.

Висновок. Таким чином, розроблений метод та методика комп'ютерного розрахунку гасіння пожежі інертними газами дозволяє наглядно спостерігати динаміку температури в зоні горіння без подачі та з подачею конкретного інертного газу, дозволяє робити оцінку ефективності гасіння пожежі та вибирати, як відстані для подачі інертного газу, так і його розхід, визначати загальну кількість та час інертизації атмосфери ізольованого відсіку тунелю.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Тушение пожаров в кабельных шахтах / И. С. Молчадский, А. В. Гомозов, С. Н. Артюнов, Т.Н. Степанова // Автоматические установки пожаротушения. – М., 1985. – С. 41-46.
2. Термогазодинамика пожаров в помещениях / В. М. Астапенко, Ю. А. Кошмаров, И. С. Молчадский, А. Н. Шевляков. – М.: Стройиздат, 1988. – 448 с.
3. Пузач С. В. Методы расчета тепломассообмена при пожаре в помещении и их применение при решении практических задач пожаровзрывобезопасности / С. В. Пузач. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2005. – 336 с.
4. Ковалишин В. В. Аналитические исследования тепломассообменных процессов в закрытых объектах большой длины при возникновении пожаров / В. В. Ковалишин, Т. В. Бойко, С. Ю. Дмитровский // Обеспечение безопасности жизнедеятельности: проблемы и перспективы: сб. тез. докл. III Междунар. науч.-практ. конф. – Минск, 2006. – С. 157-159.
5. Ковалишин В. В. Математичне моделювання розвитку і гасіння пожеж різними засобами на об'єктах значної протяжності / В. В. Ковалишин. – Київ: Науковий вісник НДПБ, 2013, №1 (27). – С. 153-160.