

Перше практичне використання даних додаток знайшов при розробці плану пожежогасіння для пожежно-тактичних навчань в м. Бориславі у 2002 році (рис. 4), які проводились Львівським інститутом пожежної безпеки. В даний час він широко використовується у інституті як при проведенні занять з різних предметів, так і з практичною метою, зокрема, в навчальній пожежній частині. Додаток також проходив тестування в Управлінні пожежної безпеки у Львівській області, де здобув схвальні відгуки.

Одним з напрямків вдосконалення розробленого додатку є його доповнення для використання при розробках планів (схем тощо) систем пожежної автоматики та сигналізації.

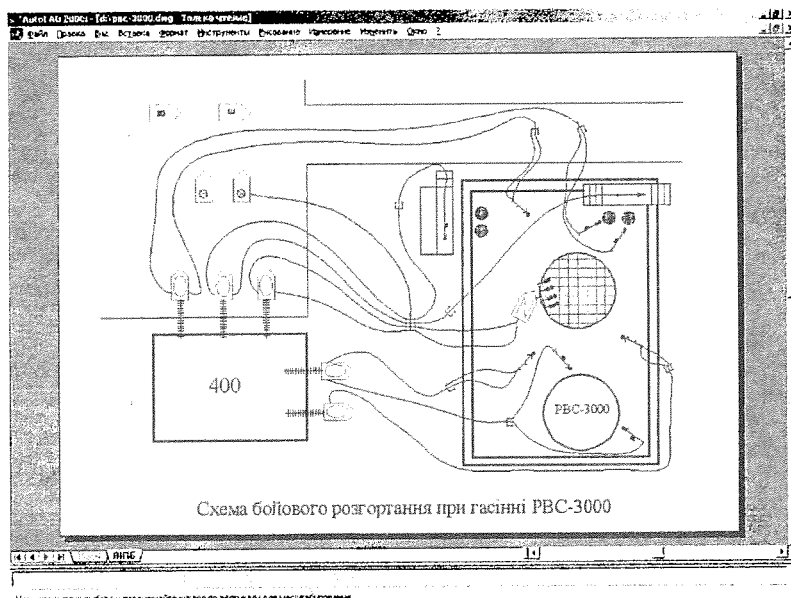


Рис. 4. Схема бойового розгортання виконана за допомогою розробленого додатку.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Бойовий Статут Державної пожежної охорони. Київ, 1995.
2. Pläne für Einsafz Zwecke der Feuerwehr/ Lange C., Kariger M. // Brandschutz.- 1995.- 49, № 10.- С. 699-701.
3. Advances in mapping// Fire. – 1994.-86, № 1064.- С. 47.
4. Алексеев А. AutoCAD 2000. Специальный справочник. - Санкт-Петербург: Питер, 2001.- 641 с.
5. Барчард Б., Питцер Д. Внутренний мир AutoCAD 2000. – Киев: ДИАСофт, 1999. – 576 с.

УДК 614.842.6

*О.Р.Копистинський (Головне управління МНС у Львівській області)*

*В.В.Ковалишин, к.т.н., с.н.с. (Львівський інститут пожежної безпеки МНС України)*

### ГАСІННЯ ПОЖЕЖІ В КАБЕЛЬНОМУ ТУНЕЛІ

Запропоновано спосіб гасіння пожеж у кабельних тунелях інертною піною з використанням явища рециркуляції газового потоку. Приведено методику розрахунку параметрів вентилятора, за допомогою якого здійснюється рециркуляція газового потоку.

Пожежі в кабельних тунелях характеризуються швидким розвитком. Уже через 2-3 хв. температура повітря підвищується до 100...200 °С. При горінні кабелів утворюється велика

кількість диму, що містить різні продукти термодеструкції кабельних оболонок, у тому числі хлористий водень. Останній утворює з водяною парою соляну кислоту, що руйнує устаткування і залізобетонні конструкції. Одночасно з ростом температури відбувається плавлення матеріалів (бітум, смола), якими просочені кабелі. Розплавлена маса стікає на розташовані нижче кабелі, ізоляція яких також спалахує. Струмopрoвідні жили кабелів оголюються, що приводить до додаткових коротких замикань і появи нових осередків пожежі [1,2].

Пожежі в кабельних тунелях приводять звичайно до великих збитків. Тому пошук ефективних способів гасіння таких пожеж є актуальною задачею.

Гасіння пожеж у кабельних тунелях здійснюють звичайно розпиленою водою, повітряно-механічною піною, а у деяких випадках – інертними газами. Практика показала, що за допомогою інертних газів не завжди вдається знизити температуру до прийнятного рівня, у результаті чого при відновленні провітрювання горіння відновляється. Вода також широко не застосовується через те, що стікаючи в суміжні з зоною горіння частини тунелю та в інші приміщення, виводить з ладу дороге устаткування.

Пожежогасячий ефект повітряно-механічної піни заснований на охолодженні палаючих матеріалів, а також на частковій ізоляції зони горіння від доступу повітря. Однак під впливом високої температури піна розкладається. Вивільнюване при цьому повітря підтримує горіння. Це істотно знижує ефективність гасіння пожеж повітряно-механічною піною.

З огляду на сказане, був вивчений досвід гасіння пожеж у гірських виробленнях вугільних шахт, у тунелях метрополітену і на інших об'єктах аналогічного типу [3,4,5].

На особливу увагу заслуговують методи вентиляційного впливу на вогнище пожежі шляхом рециркуляції пожежних газів у замкнутому контурі. Суть їх полягає в багаторазовій подачі до вогнища пожежі газової суміші з низьким змістом кисню, що сприяє припиненню горіння, приводить до перерозподілу теплоти по довжині контуру і частковому виносу його за межі аварійної ділянки, а в підсумку – до прискорення ліквідації пожежі. Підвищенню ефективності даного способу може сприяти подача в зону горіння інертної піни, що може бути отримана з використанням пожежних газів.

З огляду на параметри кабельних тунелів була розроблена технологічна схема гасіння пожежі на основі рециркуляції продуктів горіння (рис.1).

При цьому тунель перемичками ділиться на відсіки довжиною 25...30...30 м. Кожна перемичка має неспалімі протипожежні двері 5. Від перемички до перемички прокладений по поверхні над тунелем трубопровід 4, що використовується для рециркуляції і димовидалення. Для цього в контур трубопроводу вмонтований вентилятор 2 і пристрій із заслінкою 11 для випуску в атмосферу димових газів. Біля перемички 5 до трубопроводу 4 приєднується піногенератор 1, до якого з ємності 3 по трубопроводу 10 подається піноутворюючий розчин.

Після виникнення пожежі в кабельному тунелі закривають протипожежні двері 5, перекидають заслінкою 11 вихід димових газів в атмосферу, включають піногенератор 1 і вентилятор 2. Після цього продукти горіння від вогнища пожежі 8 надходять у трубопровід 4, частково вистигають там, а потім направляються до піногенератора 1. Оскільки в замкнутому контурі рухається та сама газоповітряна суміш, то вміст кисню в ній буде поступово зменшуватися, досягаючи значення, при якому горіння стає неможливим через низький вміст кисню. Охолодження зони горіння здійснюється за допомогою інертної піни, що в міру рециркуляції димових газів заповнює простір між двома перемичками 5. Рециркуляцію продуктів горіння здійснюють доти, поки пожежа буде погашена. Після завершення процесу гасіння пожежі перемикають заслінку, і дим з відсіку випускають через трубу 11 в атмосферу.

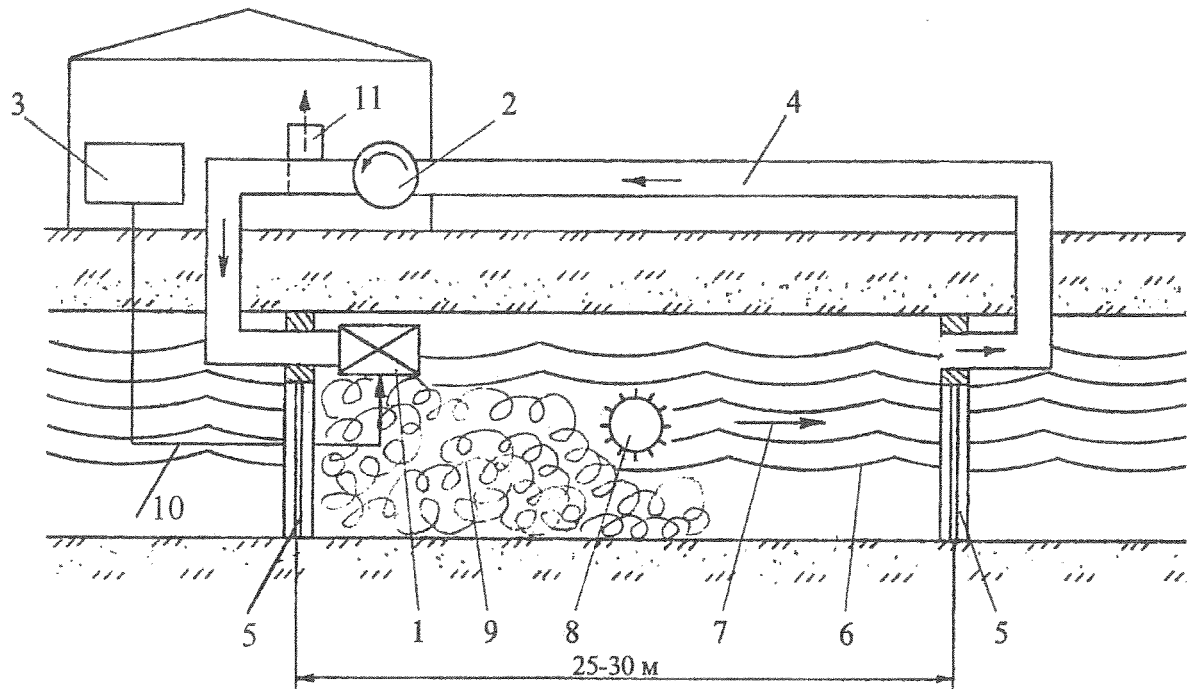


Рис.1 Технологічна схема гасіння пожежі в кабельному тунелі:

1 – піногенераторна установка; 2 – вентилятор димовидалення; 3 – ємність з розчином піноутворювача; 4 – трубопровід для видалення диму; 5 – протипожежні двері; 6 – кабелі; 7 – напрям руху диму; 8 – вогнище пожежі; 9 – піна; 10 – трубопровід для подачі піноутворювача; 11 – вузол для випуску диму в атмосферу.

Процеси у вогнищі горіння в тунелі можна описати рівнянням переносу теплоти газовим потоком [3]:

$$\frac{dT}{d\tau} + v \frac{dT}{dx} = a_1 \frac{d^2T}{dx^2} + \frac{\alpha \Pi}{c_p \rho S} (T_{ст} - T) \quad (1)$$

і рівнянням теплопровідності в навколишньому масиві

$$\frac{dT_n}{d\tau} = a \left( \frac{d^2T}{dx^2} + \frac{d^2T}{dy^2} \right), \quad (2)$$

де  $T$  – температура вентиляційного потоку, що охоплює вогнище пожежі, °С;  $\tau$  – час з початку відліку, з;  $v$  – швидкість руху димових газів, м/с;  $x$  – координата, спрямована уздовж вентиляційного потоку, м;  $a_1$  і  $a$  – коефіцієнти температуропровідності відповідно повітря і бічних стінок тунелю, м<sup>2</sup>/з;  $\alpha$  – коефіцієнт теплообміну вентиляційного потоку з бічними стінками тунелю, Вт/(м<sup>2</sup> · °С);  $\Pi$  – периметр поперечного перерізу тунелю, м;  $c_p$  – коефіцієнт питомої теплоємності, Дж/(кг · °С);  $\rho$  – щільність димових газів, кг/м<sup>3</sup>;  $S$  – площа поперечного перерізу тунелю, м<sup>2</sup>;  $T_{ст}$  – температура поверхні (стінки) тунелю, °С;  $T_n$  – температура порід навколо тунелю, °С;  $y$  – координата, спрямована перпендикулярно до вентиляційного потоку, м.

На границі вентиляційного потоку зі стінками тунелю повинна дотримуватися рівність температур

$$T|_{y=0} = T_n|_{y=0} \quad (3)$$

і теплових потоків

$$\lambda_1 \frac{dT_n}{dy} \Big|_{y=0} = \alpha(T_{ст} - T), \quad (4)$$

де  $\lambda_1$  – коефіцієнт теплопровідності порід навколо тунелю, Вт/(м · °С).

У глибині порід температура повинна залишатися постійною

$$T_n \Big|_{y \rightarrow \infty} = T_0, \quad (5)$$

де  $T_n$  – температура порід, характерна для даної глибини залягання тунелю, °С.

До виникнення пожежі повинні дотримуватися умови:

$$T \Big|_{\tau=0} = T_n \Big|_{\tau=0} = T_0, \quad (6)$$

де  $T_0$  – температура вентиляційного потоку, °С.

Під час горіння ( $0 \leq \tau \leq \tau_r$ ) на контакті стінок тунелю з потоком повітря на довжині  $\ell_r$  при  $0 \leq x \leq \ell_r$  діє умова

$$T_n \Big|_{y=0} = T_r, \quad (7)$$

де  $\tau_r$  – час горіння, з;  $\ell_r$  – довжина зони горіння, м;  $T_r$  – температура в осередку горіння, °С.

Рішенням рівнянь (1 і 2) з обліком прийнятих граничних і початкових умов одержимо

$$T_{y=0,\tau} = T_0 + \frac{T_0 - T_n}{\pi \sqrt{\tau/\tau_r}} \left[ 1 + B \cdot e^{-\tau_r/(\pi\tau)} \right], \quad (8)$$

де  $B$  – коефіцієнт, що визначає умови теплообміну повітря зі стінками тунелю (якщо  $\alpha \rightarrow \infty$ , то  $B = -1$ , якщо  $\alpha = 0$ , то  $B = 1$ ).

Відомо, що коефіцієнт теплообміну  $\alpha$  залежить від числа Рейнольдса або параметра  $i$ , що визначаються з виразу [3]

$$i = 4Q/P, \quad (9)$$

де  $Q$  – витрата повітря, м<sup>3</sup>/с.

Тому коефіцієнт  $B$  в загальному виді є також функцією числа Рейнольдса або  $i$ :

$$B = (1 - 1,5i)/(1 + 5i). \quad (10)$$

Використовуючи приведений математичний апарат, можна прогнозувати температуру у вогнищі в процесі рециркуляції газів і цілеспрямовано керувати гасінням пожежі.

Подача вентилятора 2 залежить від продуктивності піногенератора 1 і повинна задовольняти умову

$$Q_{вент.} \geq k_1 Q, \quad (11)$$

де  $k_1$  – коефіцієнт запасу по подачі;  $Q$  – витрата повітря в трубопроводі, м<sup>3</sup>/с.

Депресія, що розвивається вентилятором 2, витрачається на подолання аеродинамічного опору трубопроводу, піногенератора та ізольованої ділянки кабельного тунелю, тобто

$$h_{вент.} = h_{тр.} + h_{п.г.} + h_{к.т.}, \quad (12)$$

де  $h_{вент.}$  – депресія вентилятора, Па;  $h_{тр.}$  – депресія трубопроводу, Па;  $h_{п.г.}$  – депресія піногенератора, Па;  $h_{к.т.}$  – депресія ізольованої частини кабельного ходка, Па.

Депресія трубопроводу визначається за формулою [3]:

$$h_{тр.} = \beta \cdot \frac{\ell p}{s} \cdot \frac{\rho v^2}{2}, \quad (13)$$

де  $\beta$  – безрозмірний коефіцієнт тертя, що характеризує шорсткість стінок трубопроводу;  $\ell$  – довжина трубопроводу, м;  $p$  – периметр трубопроводу, м;  $s$  – перетин трубопроводу,

$\text{м}^2$ ;  $\rho$  – щільність рециркульованого газу при стандартній температурі,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $v$  – швидкість руху газу,  $\text{м}/\text{с}$ .

Враховуючи, що

$$v = \frac{Q}{S},$$

формулу (13) можна представити у виді

$$h_{\text{тр.}} = \beta \cdot \frac{\ell p}{s^3} \cdot \rho Q^2. \quad (14)$$

У вентиляції стандартним вважається повітря, що знаходиться під тиском 760 мм рт.ст. і температурі 15 °С. При пожежі температура газу в трубопроводі змінюється. У результаті цього змінюється щільність повітря і його об'єм:

$$\rho_{\text{п}} = \rho \frac{t}{t_{\text{п}}}, \quad (15)$$

$$Q_{\text{п}} = Q \frac{t_{\text{п}}}{t}, \quad (16)$$

де  $\rho_{\text{п}}$  – щільність газу в трубопроводі при пожежі,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $t, t_{\text{п}}$  – термодинамічна температура газу в трубопроводі відповідно при нормальних умовах і при пожежі, К;  $Q_{\text{п}}$  – витрата газу в трубопроводі при пожежі,  $\text{м}^3/\text{с}$ .

Формулу (14) з урахуванням залежностей (15) і (16) можна представити у виді:

$$h_{\text{тр.}} = \beta \cdot \frac{\ell p}{s^3} \cdot \rho Q \cdot \frac{t_{\text{п}}}{t}. \quad (17)$$

З останньої залежності випливає, що при пожежі для переміщення тієї ж кількості газу, приведеного до стандартних умов, потрібно затратити більшу депресію, ніж у нормальних умовах.

Депресія піногенератора визначається його конструкцією і подається в технічній характеристиці. Депресією ізольованої частини кабельного тунелю при розрахунках можна знехтувати, оскільки його аеродинамічний опір незначний у порівнянні з аеродинамічним опором трубопроводу. Тоді необхідну депресію вентилятора можна визначити за формулою

$$h_{\text{вент.}} \geq k_2 \left( \frac{\ell p}{s^3} \cdot \rho Q \frac{t_{\text{п}}}{t} + h_{\text{п.г.}} \right), \quad (18)$$

де  $k_2$  – коефіцієнт запасу по напорі (депресії) вентилятора.

Якщо умова (18) не виконується, то варто збільшити перетин трубопроводу або застосувати піногенератор з іншими параметрами.

Застосування пропонованого способу дозволить скоротити терміни гасіння пожеж у кабельних тунелях і збитки від них.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Brummer Dieter. Verhalten von Kabeln bei Branden in Kabelschachten und –kanalen. Einsatzbeispiel: Brand im Deutschen-Elektronen-Synchrotron (DESY). "Brandschutz", 1976, 30, №12, 317-319 (ньому.)
2. Panzer J. Brandursache, Verlauf und Folgerungen des Kabelbrandes im Kraftwerk Schwandorf des Bayernwerks AG. "VGB Kraftwerkstechn.", 1987, №11, 1062-1064 (ньому.; рез.англ., фр., нід., швед.)
3. Тушение изолированных подземных пожаров/П.С. Пашковский//Уголь Украины. – 2001. - №6.
4. Kukuchka A. Likwidacja pol pozarowich metode, rezyrkulacji zneutralizowanych gazow pozarowych: Wiadom. gorn., 1983, №5, s.106-115.

5. Смоланов С.Н. Ликвидация сложных подземных аварий методами вентиляционного воздействия – Днепропетровськ: Наука и образование, 2002.- 270 с.
6. Бодягин М.Н. Рудничная вентиляция – М.: Госгортехиздат, 1960. – 400 с.

УДК 621.315.592

*І.М. Матвійшин, к.ф.-м.н. (Львівський Національний університет ім. Івана Франка),  
Л.І. Ярицька, к.ф.-м.н. (Львівський інститут пожежної безпеки МНС України),  
С.Б. Харамбура, к.ф.-м.н. (Національний університет “Львівська політехніка”)*

## ФІЗИЧНИЙ МЕТОД АНАЛІЗУ СТАНУ ГАЗОВОГО СЕРЕДОВИЩА

В роботі досліджено вплив газового середовища на величину і знак поперечної фотовольтаїчної напруги в кристалах йодистого кадмію при рентгенівському збудженні. Вказано на можливість використання отриманих результатів для аналізу газового середовища і оцінки атомної ваги адсорбованого газу.

Стан атмосфери довкілля через шкідливі газоподібні викиди в атмосферу в результаті діяльності людини є актуальною екологічною проблемою. Зокрема проблематичною є діагностика виділення газів при процесах горіння або на підприємствах різних галузей, які можуть призвести до вибухонебезпечних обставин чи отруєння атмосфери. Чутливими сенсорами газу, як правило, виступають твердотільні сполуки хімічних елементів (напівпровідники, органічні сполуки і т.д.). Тому в цьому аспекті цікавими є процеси, що відбуваються на межі поділу двох фаз: тверде тіло – газове середовище, а також пошук матеріалів, чутливих до різних газів.

Існують детектори газового середовища, робота яких ґрунтується на явищі фотопровідності, що потребує відповідних стабільних джерел живлення. Однак з часом проходить деградація їх характеристик, зумовлена дифузією металу в приконтактній області [1]. При опроміненні кристалів світлом, що сильно поглинається, виникають фотовольтаїчні ефекти, зумовлені градієнтним розподілом носіїв заряду в зразку, а робота детекторів на основі цього явища не потребує додаткових генераторів напруги. Поперечні фотовольтаїчні ефекти, які виникають в шаруватих кристалах йодистого кадмію в умовах вакууму при оптичному і рентгенівському збудженнях досліджувались в роботах [2,3]. Крім цього, повідомлялось про можливість використання йодистого кадмію як позиційно чутливого елемента детекторів різних типів електромагнітних випромінювань у рентгенівській, ультрафіолетовій та видимій областях спектра [4].

В даній роботі приведено результати дослідження впливу газів метану, кисню, азоту та повітря на поперечну фотовольтаїчну напругу (ПФН) в кристалах йодистого кадмію при рентгенівському збудженні. Ці газу, зокрема, є компонентами генераторного газу [5] і їх вплив на кристали йодистого кадмію дозволяє спрогнозувати дію генераторного газу на детектори, створені на основі цих кристалів.

Для дослідження впливу газового середовища на величину і знак напруги проводилося напускання відповідного газу у вакуумовану камеру. Для цього резервуар з певним сортом газу через напускний клапан з'єднувався з камерою. Після досягнення у вимірній системі вакууму порядку  $10^{-4}$  мм рт. ст. Клапан відкривався і проводилося напускання газу при збільшенні тиску до атмосферного. Попереднє розрідження необхідне для видалення із системи залишкових газів. Після цього відбувалося опромінення системи “кристал-газ” та проводилися вимірювання ПФН. Методика виготовлення зразків з кристалів та підготовка їх до досліджень аналогічна описаній в [4,6]. Нами використовувались 0 – градусні зрізи кристалів, в яких кут між нормаллю до опромінюваної поверхні і кристалографічною віссю  $C_6$  становив 0 градусів. Такі зразки відзначаються простотою виготовлення, оскільки їх