УДК 614.842.6

С.Ю. Дмитровський (ГУ МНС України у Львівській області),
В.В. Ковалишин, к.т.н.,с.н.с., Р.Я.Лозинський (Львівський інститут пожежної безпеки МНС України)

РОЗРАХУНОК ВИТРАТИ ГАЗОПОВІТРЯНОЇ СУМІШІ В ЗАМКНУТОМУ РЕЦИРКУЛЯЦІЙНОМУ КОНТУРІ

У статті наведено результати досліджень на основі другого закону вентиляційних мереж можливостей роздільного розрахунку газоповітряної суміші в трубопроводі та в іншій частині рециркуляційного контуру, а також можливість використання рівнянь балансу депресій для випадків, коли напрямок руху витоків відповідає напрямкові руху повітря в нормальних умовах.

Дослідженнями розподілу повітря на ізольованій ділянці кабельного тунелю було встановлено, що залежно від аеродинамічних параметрів замкнутого контуру і джерел тяги, що діють на аварійну ділянку, можливі кілька режимів рециркуляції пожежних газів, що відрізняються один від одного напрямком витоків повітря через ізолюючі перемички: напрямок витоків відповідає напрямкові руху повітря в нормальних умовах; витоки перекинуті. Рівняння балансу депресій у вентиляційних контурах і балансу витрат газовоповітряної суміші у вузлах для зазначених випадків різні [1].

Для схеми вентиляційних з'єднань, представленої на рис. 1, на основі другого закону вентиляційних мереж, запишемо рівняння балансу депресій для випадків, коли напрямок руху витоків відповідає напрямкові руху повітря в нормальних умовах:

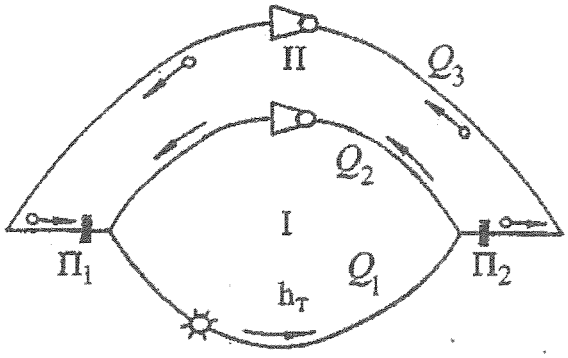

Рис. 1. Схема вентиляційних з'єднань ізольованої пожежної ділянки кабельного тунелю

для контуру I

$$a - bQ_2^2 + h_T = R_2Q_2^2 + R_1Q_1^2; \quad (1)$$

для контуру II

$$a - bQ_2^2 - h_{уч} = R_2Q_2^2 + R_3Q_3^2 \quad (2)$$

де a, b – параметри напірної характеристики допоміжного вентилятора, Па;

Q_1, Q_2, Q_3 – витрата газоповітряної суміші через ізольовану ділянку кабельного тунелю, через рециркуляційний трубопровід і сума зовнішніх витоків відповідно, м^3/с;

R_1, R_2, R_3 – аеродинамічний опір ізольованої ділянки, рециркуляційного трубопроводу і шляхів руху зовнішніх витоків відповідно, Па с^2/м^6;

h_T, $h_{уч}$ – теплова депресія пожежі і депресія аварійної ділянки відповідно, Па

До рівняння (1) додамо рівняння нерозривності потоку

$$Q_1 = Q_2 + Q_3. \tag{3}$$

З рівняння (2) знаходимо

$$Q_2 = \sqrt{\frac{a - h_{уч} + R_3 Q_3^2}{b + R_2}}. \tag{4}$$

Відповідно вирази (3) і (4) підставляємо в рівняння (1)

$$a + h_T = R_3 Q_3^2 + R_1 \left[\sqrt{\frac{a - h_{уч} + R_3 Q_3^2}{b + R_2}} + Q_3 \right]^2 + a - h_{уч} \tag{5}$$

або

$$h_{уч} \pm h_T = R_3 Q_3^2 + R_1 \left[\sqrt{\frac{a - h_{уч} + R_3 Q_3^2}{b + R_2}} + Q_3 \right]^2 \tag{6}$$

Рівняння (6) щодо перемінної Q_3 є неповним рівнянням четвертого ступеня. Кінцеве рішення його достатньо складне і для використання в оперативній обстановці не прийнятне.

Враховуючи, що в реальних умовах величина витоків повітря Q_3 через **ізолювальні** перемички значно менша за витрати газоповітряної суміші Q_2 у трубопроводі, рівняння (6) запишемо у виді

$$h_{уч} \pm h_T = R_3 Q_3^2 + R_1 \frac{a - h_{уч}}{b + R_2} + R_1 \frac{R_3 Q_3^2}{b + R_2} \tag{7}$$

З рівняння (7) знаходимо

$$Q_3 = \sqrt{\frac{1}{R_3} \left(h_{уч} - \frac{ma - h_T}{1 + m} \right)} \tag{8}$$

де $m = R_1 / b + R_2$

Таким чином, витрати газоповітряної суміші в гілках замкнутого контуру і величина витоків повітря через перемички, коли напрямок руху витоків повітря збігається з напрямком руху повітря в кабельному тунелі в нормальних умовах, можна визначити з виразів (8), (4) і (3). Даними виразами слід користуватися при виконанні умови

$$\frac{h_{уч} + h_T}{a + h_{уч}} \geq \frac{R_1}{b + R_2} \tag{9}$$

Очевидно, що умовою перекидання витоків повітря через ізолюючі перемички служить нерівність

$$\frac{h_{уч} + h_T}{a + h_{уч}} \prec \frac{R_1}{b + R_2} \tag{10}$$

Для цього випадку рівняння балансу депресій (стосовно до рис. 1) варто записати у виді:

для контуру I

$$a - bQ_2^2 + h_T = R_2Q_2^2 + R_1Q_1^2; \tag{11}$$

для контуру II

$$a - bQ_2^2 - h_{уч} = R_2Q_2^2 - R_3Q_3^2. \tag{12}$$

З урахуванням рівняння нерозривності потоку

$$Q_2 = Q_1 + Q_3. \tag{13}$$

Рівняння (11) і (12) можна представити у виді

$$a + h_T = (b + R_2)Q_2^2 + R_1(Q_2 - Q_3)^2; \tag{14}$$

$$a - h_{уч} = (b + R_2)Q_2^2 + R_3Q_3^2. \tag{15}$$

Розв'язуючи рівняння (14) і (15) відносно Q_3 з врахуванням того, що $Q_3 << Q_2$, одержимо

$$Q_3 = \sqrt{-\frac{1}{R_3}\left(h_{уч} - \frac{ma - h_T}{1 + m}\right)}, \tag{16}$$

де $m = R_1 / b + R_2$

Знак «–» перед підкореневим виразом показує, що витоки повітря перекинуті.
Витрата повітря в рециркуляційному трубопроводі при цьому визначається з виразу

$$Q_2 = \sqrt{\frac{a - h_{уч} - R_3 Q_3^2}{b + R_2}}, \tag{17}$$

а витрата газоповітряної суміші в аварійній гілці замкнутого рециркуляційного контуру – зі співвідношення

$$Q_1 = Q_2 - Q_3. \tag{18}$$

Таким чином, розрахунок розподілу повітря (диму) в ізольованій ділянці кабельного тунелю при рециркуляції вентиляційного потоку по замкнутому контуру без подачі інертного газу може обчислюватися за формулами:

- сумарні витоки повітря через перемички

$$Q_3 = \sqrt{\frac{1}{R_3}\left(h_{уч} - \frac{ma - h_T}{1+m}\right)} \cdot sign\left(h_{уч} - \frac{ma - h_T}{1+m}\right); \tag{19}$$

- витрата газоповітряної суміші в трубопроводі

$$Q_2 = \sqrt{\frac{a - h_{уч} \pm R_3 Q_3^2}{b + R_2}}; \tag{20}$$

- витрата газоповітряної суміші в аварійній виробці

$$Q_1 = Q_2 \pm Q_3. \tag{21}$$

У рівнянні (19) вираз

$$sign\left(h_{уч} - \frac{ma - h_T}{1+m}\right) \tag{22}$$

приймається рівним (+1) при $h_{уч} \geq \frac{ma - h_T}{1+m}$ і (- 1) при $h_{уч} \prec \frac{ma - h_T}{1+m}$

У виразах (20) і (21) знак «+» береться при виконанні умови (9), а знак «–» при виконанні умови (10).

При виведенні формул (19) і (20) було зроблено припущення, що витрата газоповітряної суміші в рециркуляційному трубопроводі значно перевищує величину витоків повітря через перемички, що ізолюють зону горіння в кабельному тунелі. З метою оцінки величини похибки, обумовленої цим припущенням, були виконані розрахунки розподілу повітря

методом моделювання на ПЕОМ і за формулами (19) і (20). У якості усереднених даних про параметри ізольованої ділянки кабельного тунелю, прийняті:

- депресія ізольованої ділянки кабельного тунелю з боку зовнішньої мережі $R_{уп}$ = 500 Па;
- параметри напірної характеристики допоміжного вентилятора для здійснення рециркуляції вентиляційного потоку a = 7500 Па; b = 70 Па с^2/м^6;
- аеродинамічний опір трубопроводу для здійснення рециркуляції R_2 = 50 Па с^2/м^6 ;
- сумарний опір ізолювальних перемичок у кабельному тунелі R_3 = 3000 Па с^2/м^6 .

При виконанні розрахунків варіювалися значення $H_{уч}$ і R_1. Депресія ізольованої ділянки з боку зовнішньої мережі набувала значень 20; 50; 100; 200; 1000; 2000; 3000 Па, а аеродинамічний опір аварійної гілки 1; 2; 4; 20; 35; 50 Па с^2/м^6. При зазначених межах зміни параметрів ізольованої ділянки кабельного тунелю витоки повітря змінювалися від 0,682 до 0,890 м^3/с.

Аналіз результатів розрахунків показав, що похибка розрахунку витоків повітря за формулою (4.20) росте із зростанням величини витоків, однак при зміні витоків у межах 0,7...0,9 м^3/с похибка розрахунку їх за формулою (4.20) не перевищує 10...12 %.

Були зроблені й інші спроби спрощення розрахункових залежностей для визначення витрат газоповітряної суміші в рециркуляційному контурі ізольованої ділянки кабельного тунелю, у тому числі і витоків повітря. Досліджувалися, зокрема, можливості роздільного розрахунку газоповітряної суміші в трубопроводі і в іншій частині рециркуляційного контуру, а також можливість використання лінеаризації рівнянь балансу депресій.

Дослідження показали, що витрати газоповітряної суміші в ізольованій ділянці кабельного тунелю можна визначити досить точно, однак витоки повітря визначаються при цьому з великими похибками. Причому, більша похибка виникає при малих витоках повітря, коли вони становлять 0,5 м^3/с і менше, тобто останні два методи через значні похибки неприйнятні.

ЛІТЕРАТУРА

1. Осипов С.Н., Жадан В.М. Вентиляция шахт при подземных пожарах. М.: Недра, 1973, 152с.

2. Смоланов С.Н., Пашковский П.С. Новая технология тушения сложных подземных пожаров // Уголь Украины – 2002, - №1. –С.33-35.