

В.В. Ковалишин, к.т.н., с.н.с., Т.В. Бойко (Львівський державний університет безпеки життєдіяльності), І.М. Зінченко, к.т.н. (Науково-дослідний інститут гірничорятувальної справи)

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ВПЛИВУ ПРОДУКТІВ ГОРІННЯ НА ОСЕРЕДОК ПОЖЕЖІ У ЗАМКНУТОМУ КОНТУРІ

В статті наведено результати моделювання впливу вмісту кисню, та продуктів згорання на осередок пожежі в ізолюваному об'ємі.

Ключові слова: динаміка температури, концентрація кисню, інтенсивність горіння, зона горіння, ізолюваний об'єм, моделювання

У ряді робіт [1 – 3] при вивченні динаміки температури в осередку пожежі зазвичай не приймають до уваги залежність джерела горіння від концентрації кисню в потоці повітря, що поступає в осередок полум'я. Проте така залежність при горінні різних матеріалів існує. Так, для вимірювання інтенсивності тепловиділення, якщо визначена швидкість витрати кисню, застосовують формулу [4]

$$W_1 = \rho_k(Z - C)QH_s, \quad (1)$$

де W_1 – інтенсивність тепловиділення при горінні, квт;

ρ_k – густина кисню, кг/м³;

Z – концентрація кисню перед зоною горіння;

C – концентрація кисню на виході із зони горіння;

Q – витрата повітря, м³/с;

H_s – теплота згорання матеріалу, Дж/кг.

З аналізу залежності (1) ясно, що чим менша концентрація кисню перед осередком пожежі, тим меншою буде інтенсивність тепловиділення при горінні. В той же час, чим менша концентрація кисню на виході із зони горіння, тим більшою буде інтенсивність тепловиділення.

Рівняння перенесення концентрацій кисню в потоці газів і його втрат при хімічних реакціях представимо у вигляді [5]

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} = j_c, \quad (2)$$

де u – швидкість руху газів, м/с;

j_c – інтенсивність джерела кисню, 1/с.

Використовуємо інтегральний метод моделювання пожежі з розбиттям на зони [1]. З цією метою представимо рівняння (2) в кінцевих різницях по координаті x :

$$\frac{dC}{dt} + u \frac{\Delta C}{\Delta x} = j_c \quad (3)$$

Виділимо два елементи розбиття (дві зони): Δx_1 – довжина зони горіння і Δx_2 – відстань до зони горіння в замкнутому контурі. Тоді рівняння (3) можна розбити на два рівняння

$$\begin{aligned} nV \frac{dC}{dt} + (C - Z)Q &= jV; \\ nV_1 \frac{dZ}{dt} + (Z - C)Q &= j_1V_1 \end{aligned} \quad (4)$$

Тут для простоти позначень прийнято: n – коефіцієнт нерівномірності поля швидкостей в поперечному перетині каналу або тунелю; $V = S\Delta x$ і $V_1 = S\Delta x_1$ – об'єми відповідно зони горіння і до зони горіння, м^3 ; $Q = uS$ – витрата газів, $\text{м}^3/\text{с}$.

У зоні горіння кисень витрачатиметься на хімічні реакції, а до зони горіння може підсмоктуватися свіже повітря. Тому прийmemo

$$jV = -qC; \quad j_1V_1 = (C_0 - C)Q_1 \quad (5)$$

де q – показник інтенсивності витрачання кисню, $\text{м}^3/\text{с}$; Q_1 – підсмоктування свіжого повітря, $\text{м}^3/\text{с}$.

В результаті отримаємо таку систему рівнянь повітря. Тому прийmemo

$$\begin{aligned} nV \frac{dC}{dt} &= (Z - C)Q - qC; \\ nV_1 \frac{dZ}{dt} &= -(Z - C)Q + (C_0 - C)Q_1 \end{aligned} \quad (6)$$

Аналіз системи рівнянь (6) показує, що при $Q_1 = 0$, утворюється повністю замкнутий контур, а при $Q_1 = Q$ контур розімкнений. Це дає можливість моделювати динаміку кисню в часі в широкому діапазоні, накладаючи результати розрахунку на дані експериментів за допомогою емпіричної константи n .

Оскільки нас цікавить динаміка концентрацій кисню в зоні горіння, виключимо з другого рівняння системи (6) функцію Z і її похідну. Для цього перше рівняння системи (6) вирішимо відносно функції Z і після цього знайдемо її похідну.

Після ряду перетворень прийдемо до рівняння другого порядку вигляду

$$\frac{d^2C}{dt^2} + a_1 \frac{dC}{dt} + a_0 C = \frac{QQ_1}{n^2VV_1} C_0, \quad (7)$$

де коефіцієнти рівняння (7) рівні

$$a_0 = \frac{Q_1 + q}{n^2VV_1} Q; \quad a_1 = \frac{Q + q}{nV} + \frac{Q}{nV_1} \quad (8)$$

Початкова умова для рівняння (7) може бути найдовільнішою залежно від того, коли утворюється замкнутий контур.

Тому нехай

$$C(0) = C_1 \quad (9)$$

Оскільки рівняння (7) другого порядку, необхідно знати ще похідну функції, яку знайдемо з першого рівняння системи (6) при $Z = C_0$ і $C = C_1$:

$$\frac{dC(0)}{dt} = C'(0) = \frac{1}{nV} [(C_0 - C_1)Q - qC_1] \quad (10)$$

Рішення рівняння (7) з початковими умовами (9) і (10) шукаємо у вигляді [6]

$$C(t) = C_2 + B_1 \exp(k_1 t) + B_2 \exp(k_2 t), \quad (11)$$

де k_1 і k_2 – корені характеристичного рівняння, рівні

$$k_{1,2} = -a_1 / 2 \pm \sqrt{a_1^2 - a_0} \quad (12)$$

Коефіцієнти B_1 і B_2 , що входять в рішення (11), повинні задовольняти початковим умовам (9) і (10):

$$C_1 = C_2 + B_1 + B_2; \quad C'(0) = B_1 k_1 + B_2 k_2, \quad (13)$$

звідки отримаємо

$$B_1 = \frac{C'(0) + (C_2 - C_1)k_2}{k_1 - k_2}; \quad B_2 = C_1 - C_2 - B_1 \quad (14)$$

Значення C_2 знайдемо з рівняння (7) при $t \rightarrow \infty$ враховуючи (8):

$$C_2 = \frac{C_0 Q_1}{Q_1 + q} \quad (15)$$

З формули (15) виходить, що в розімкненому контурі при $Q_1 = Q$ гранична концентрація кисню залежатиме великою мірою від інтенсивності q горіння. Разом з тим в замкнутому контурі гранична концентрація сильно залежить від підсмоктувань повітря Q_1 , виключити які цілком в реальних умовах навряд чи можливо.

На рис.1 представлені результати розрахунку по формулі (11) концентрації кисню в зоні горіння при різній його інтенсивності в розімкненому контурі. При розрахунках прийнято $Q_1 = Q$.

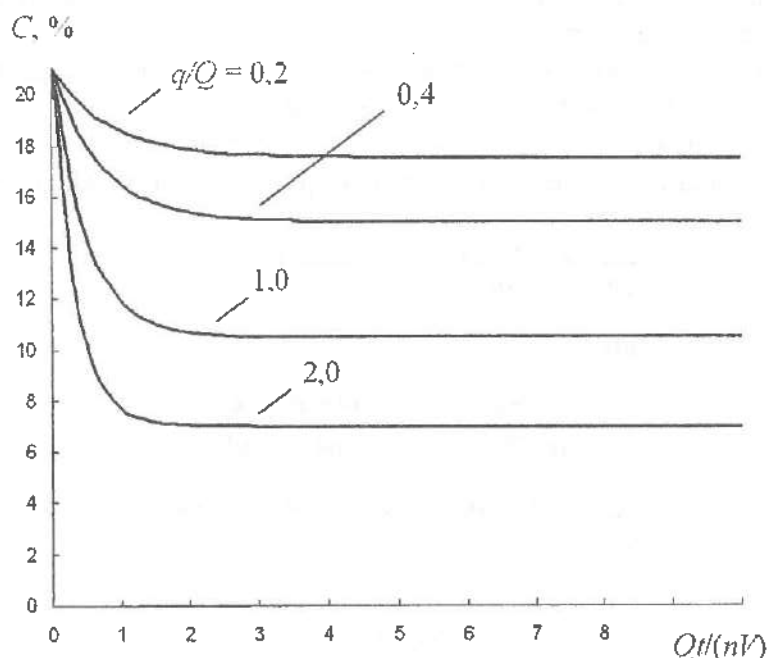


Рис. 1. Зміна в часі концентрації кисню у вогнищі пожежі при різній інтенсивності горіння в розімкненому контурі

Як показують розрахунки, в розімкненому контурі при горінні відбувається швидке зниження концентрації кисню і встановлення її на новому рівні через час одно-двократного обміну повітря в об'ємі зони горіння. При цьому враховується коефіцієнт нерівномірності швидкості повітря по поперечному перерізі потоку. Цей коефіцієнт повинен вибиратися так, щоб дані моделювання і натурального об'єкта збігалися.

Подальше моделювання динаміки в часі концентрації кисню в замкнутому контурі проводилося за наявності підсмоктувань повітря в кількості 20 %. Цих підсмоктувань в реальних умовах уникнути навряд чи можливо. Як встановлено, ефективність дії на вогнище пожежі продуктів горіння найбільш істотна при великій інтенсивності горіння, оскільки в цьому випадку концентрація кисню на вході у вогнище пожежі наближається до

концентрації на виході. Це підтверджують результати розрахунку динаміки кисню в замкнутому контурі, приведені на мал. 2 при підсмоктуваннях повітря $Q_1 = 0,2Q$ и $V_1 = 2V$. Початкова концентрація кисню при цьому прийнята рівною тій, яка стабілізувалася після двократного обміну повітря у вогнищі пожежі при розімкненому контурі (рис. 1).

При моделюванні встановлено, що якщо в розімкненому контурі перехідний процес не перевищує двократного обміну повітря у вогнищі пожежі, то в замкнутому контурі для встановлення процесу недостатньо і десятиразового обміну (рис. 2).

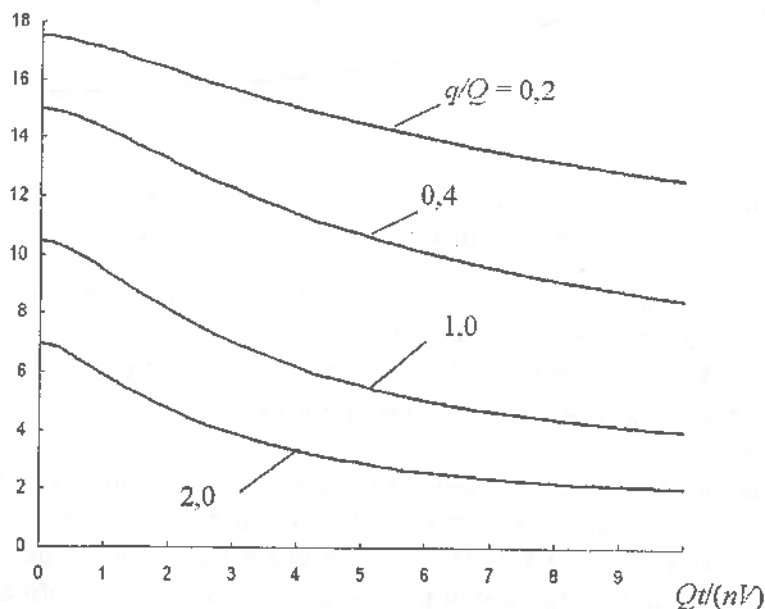


Рис. 2. Зміна в часі концентрації кисню в осередку пожежі при різних інтенсивностях горіння в замкнутому контурі

Оскільки концентрація кисню визначає потужність джерела горіння, що видно з формули (1), то температура в зоні горіння сильно залежатиме від різниці концентрацій кисню на вході і на виході із зони горіння.

Концентрацію кисню на вході в зону горіння визначимо, використовуючи перше рівняння системи (6). Для цього заздалегідь знайдемо похідну функції $C(t)$. В результаті знайдемо формулу для розрахунку концентрацій кисню за межами зони горіння в замкнутому контурі

$$Z = (1 + q/Q)[C_2 + B_1 \exp(k_1 t) + B_2 \exp(k_2 t)] + \frac{nV}{Q} [B_1 k_1 \exp(k_1 t) + B_2 k_2 \exp(k_2 t)] \quad (16)$$

Оскільки різниця концентрацій на вході і виході із зони горіння визначає приведену потужність вогнища горіння, то, використовуючи залежності (11) і (16), отримаємо

$$\bar{W}_1 = \frac{W_1}{\rho_k Q H_c} = Z - C = \frac{q C_2}{Q} + \frac{q + nV k_1}{Q} B_1 \exp(k_1 t) + \frac{q + nV k_2}{Q} B_2 \exp(k_2 t) \quad (17)$$

Знайдена залежність (17) відповідно до (1) визначає приведену потужність джерела теплоти і її зміну в часі в замкнутому контурі. На рис. 3 представлені результати розрахунку за формулою (17) динаміки приведеної потужності вогнища пожежі в замкнутому контурі. Тут же штриховою лінією зображена динаміка розвитку незгасаючої пожежі в розімкненому контурі

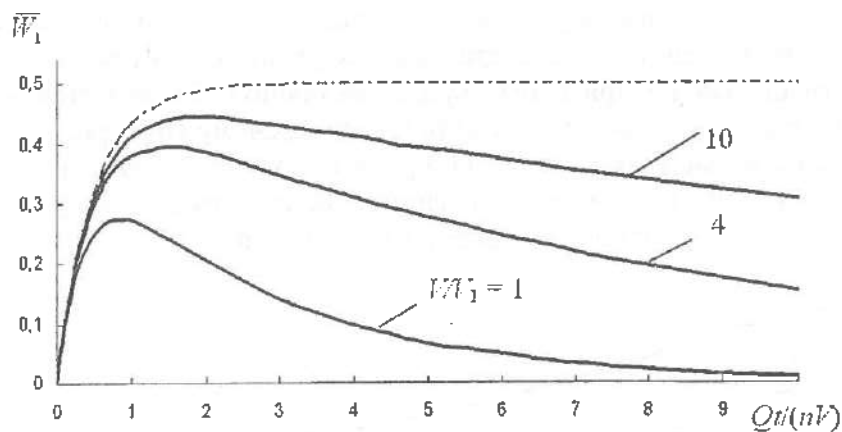


Рис. 3. Зміна в часі приведеної потужності вогнища пожежі при різних об'ємах замкнутого контура

При моделюванні динаміки кисню і, що також, приведеної потужності вогнища пожежі в замкнутому контурі приймалися дві зони: зона горіння і зона за її межами із змінним об'ємом. Вибраний найефективніший спосіб дії на вогнище: витоки через ізольований об'єм рівні нулю ($Q_1 = 0$) і примусова циркуляція повітря починається відразу ж при виникненні пожежі. При цьому $q = Q$.

З рис. 3 видно, що при збільшенні зони за межами вогнища пожежі при постійній його довжині гасіння пожежі способом рециркуляції повітря стає все менш ефективним. Так, якщо прийняти об'єм зони горіння рівним $V = 100 \text{ м}^3$, що при площі поперечного перерізу каналу 4 м^2 відповідатиме довжині вогнища 25 м , а решта ізолизованого об'єму збільшувати до 100 м і 250 м , то для гасіння пожежі не вистачить і десятиразового обміну повітря в зоні горіння. При витраті повітря в рециркуляційному потоці $Q = 0,5 \text{ м}^3/\text{с}$ час десятиразового обміну повітря складе

$$t = 10 \frac{nV}{Q} = 67 \text{ хв}$$

з урахуванням коефіцієнта нерівномірності структури потоку по перерізу $n = 2$. За цей час відбудеться самогасання пожежі [1, 2, 4], що створить ілюзію ефективності способу гасіння пожежі продуктами горіння.

Тому моделювання процесів дії на вогнище пожежі продуктами згорання повинно проводитися за відсутності самогасання. При встановленні низької ефективності гасіння пожеж вказаним способом в протяжних об'єктах, коли об'єм зони з високою концентрацією кисню, більший від об'єму зони горіння ($V_1 > V$), необхідна комплексна дія на вогнище не тільки продуктами згорання, а й інертними газами і піною.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ:

1. Термогазодинамика пожаров в помещениях / В.М. Астапенко, Ю.А. Кошмаров, И.С. Молчадский, А.Н. Шевляков. – М.: Стройиздат, 1988. – 448 с.
2. Дмитровский С.Ю., Ревякин А.В. Динамика температуры в кабельных туннелях при рециркуляции продуктов горения // Горноспасательное дело: Сб. науч. тр. – Донецк, 2006 – Вып. 43. – С. 90 – 96.
3. Осипов С.Н., Жадан В.М. Вентиляция шахт при подземных пожарах. – М.: Недра, 1973. – 152 с.
4. Драйздейл Д. Введение в динамику пожаров. – М.: Стройиздат, 1990. – 424 с.
5. Лыков А.В. Тепломассообмен. Справочник. – М.: Энергия, 1980. – 580 с.
6. Камке Э. Справочник по обыкновенным дифференциальным уравнениям. – М.: Наука, 1976. – 576 с.

В.В. Ковалишин, к.т.н., доц., Т.В. Бойко, И.Н. Зинченко, к.т.н.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ВЛИЯНИЯ ПРОДУКТОВ ГОРЕНИЯ НА ОЧАГ ПОЖАРА В ЗАМКНУТОМ КОНТУРЕ

В статье приведены результаты моделирования влияния содержания кислорода, и продуктов сгорания на очаг пожара в изолированном объеме.

Ключевые слова: динамика температуры, концентрация кислорода, интенсивности горения, зоне горения, изолированный объем, моделирование

V.V. Kovalyshyn, Candidate of Science (Engineering), Docent, T.V. Boyko, I.M. Zinchenko, Candidate of Science (Engineering)

DESIGN OF PROCESSES OF INFLUENCING OF PRODUCTS OF BURNING ON THE CELL OF FIRE IN THE RESERVED CONTOUR

The results of design of influencing of maintenance of oxygen are resulted in the article, and products of combustion on the cell of fire in the isolated volume.

Key words: dynamics of temperature, concentration of oxygen, intensity of burning, the area of burning, isolated volume, design

УДК 614.842.84.

А.А. Мичко д.т.н., проф., А.Д. Кузик, к.ф.-м. н., доц., А.С. Лин (Львівський державний університет безпеки життєдіяльності)

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛООВОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ ДЛЯ ВИПРОБУВАННЯ ЗАХИСНОГО ОДЯГУ ПОЖЕЖНИКІВ-РЯТУВАЛЬНИКІВ

З допомогою моделювання здійснюється оцінка теплового випромінювання, яке діє на вертикальну поверхню від деяких високотемпературних джерел: конуса та прямокутника, які розташовані вертикально

Ключові слова: полум'я, математичне моделювання, променевий потік, інтенсивність теплового випромінювання, високотемпературні джерела

Сучасний стан проблеми. Горіння на пожежах супроводжується виділенням великої кількості тепла, значна частина якого передається тілам, які оточують осередок пожежі, шляхом випромінювання. Доля конвективної складової теплообміну в умовах пожежі (при температурах 800 °С і вище) незначна, тому основний вплив на прогрів оточуючих тіл відіграє дія випромінювання. Як нам відомо [4], що променевий тепловий потік, який надходить з полум'я залежить від ряду факторів, включаючи температуру полум'я і товщину, концентрацію випромінювальних речовин і геометричне відношення між полум'ям і приймачем випромінювання. Проте, на практиці полум'я може відрізнятись від циліндричної форми і наближатись до форми конуса. Зрозуміло, що в такому випадку значення теплового потоку буде дещо іншим і тому його визначення потребує додаткових досліджень. Це приводить до розгляду більш загальної задачі, яка полягає у дослідженні дії