

М.М. Семерак, д.т.н., проф., А.М. Доминик

ВЛИЯНИЕ ФИЗИКО – МЕХАНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НА ТЕРМОПРОЧНОСТЬ КУСКОВО-ОДНОРОДНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Разработана математическая модель определения и исследования напряженно-деформированного состояния цилиндрического вала, обусловленного его нагревом. Результаты исследований изображены графически.

Ключевые слова: физико–механические параметры, кусково-однородных конструкции, термopрочность

М.М. Semerak, Doctor of Sciences (Engineering), Professor, A.M. Dominik

THE INFLUENCE OF PHYSICAL-MATHEMATICAL PARAMETERS ON THERMAL CAPACIOUSNESS OF LUMP-HOMOGENEOUS CONSTRUCTIONS

The article deals with the development of mathematic pattern of distinguishing and development of a mode of deformation of lump – homogeneous cylinders caused by its heating. Results of investigation are described graphically.

Key words: physical-mathematical parameters, lump-homogeneous constructions, thermal capaciousness.

УДК 614.846

В.В. Ковалишин, к.т.н., доц., Я.Б. Кирилів, к.т.н., Т.В. Бойко (Львівський державний університет безпеки життєдіяльності)

ДИНАМІКА ГАЗОВО-ПІННИХ ПОТОКІВ В ЗАМКНУТОМУ ОБ'ЄМІ КАНАЛУ ПІД ЧАС ГАСІННЯ ПОЖЕЖІ

В статті досліджено тепломасообмінні процеси в ізолюваному каналі із замкнутим контуром провітрювання, розглянуто динаміку газових і пінних потоків, їх вплив на осередок пожежі і комплексний вплив пожежі на нього продуктів згорання і отриманої на їх основі газомехамічної піни. Подано результати моделювання втрат газової фази в піні по довжині каналу при різних параметрах, які характеризують стійкість піни, а також зміну густини піни вздовж каналу при різній швидкості її витікання.

Ключові слова: пожежні гази, піна, протяжні об'єкти, динаміка газових і пінних потоків, осередок пожежі, продукти згорання, моделювання, газомеханічна піна, продуктивність

Стан проблеми. Сучасний рівень протипожежного захисту протяжних об'єктів (каналів, тунелів, труб та ін.), які використовуються на об'єктах народного господарства. Тут застосовуються як традиційні способи гасіння пожеж з використанням води, піни і інертних газів, так і нетрадиційні засоби – аж до використання вибухових речовин.

Проведений аналіз літературних джерел показує, що проблемам дослідження тепломасообмінних процесів при пожежах в закритих об'ємах приділяється певна увага. Проте, в цих роботах розглядають в основному поведінку повітряно-механічної піни при незначній довжині вентиляційних каналів і тунелів в 5-10 м або в обмежених системах. Слід зазначити, що процес використання пожежних газів разом з піною для гасіння пожеж в протяжних об'єктах не достатньо досліджений [1].

При збільшенні зони за межами вогнища пожежі при постійній його довжині гасіння пожежі способом рециркуляції повітря стає все менше ефективним. При витраті повітря в рециркуляційному потоці $Q = 0,5 \text{ м}^3/\text{с}$ час десятиразового обміну повітря становитиме 67 хв з урахуванням коефіцієнтів нерівності структури потоку по перерізу $n = 2$. За цей час відбудеться самозагасання пожежі, що створить ілюзію ефективності способу гасіння пожежі продуктами горіння.

Тому моделювання процесів дії на вогнище пожежі продуктами згорання повинно проводитися за відсутності самозагасання. 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, необхідна комплексна дія на вогнище не тільки продуктами згорання, а й інертними газами і піною [2].

Використання пожежних газів разом з піною для гасіння пожеж в протяжних об'єктах (каналах, тунелях, трубах та ін.) є найбільш ефективним способом взаємодії на осередок горіння, оскільки, з однієї сторони, подається суміш газів, збіднена киснем, і, з іншої сторони, піна завдяки високій вологості знижує температуру в оточуючому просторі.

Однак складні процеси тепломасообміну в двофазових потоках потребують глибокого вивчення. Так, охолоджуюча здатність піни великою мірою залежить від режиму її руху і до осередку пожежі, і в зоні горіння. Не тільки режим руху піни визначає дальність її подачі, а також витрата піни, її стійкість і площа поперечного перетину каналу.

Основною метою роботи є дослідження впливу на осередок горіння піни на основі пожежних газів в ізолюваному об'ємі каналу.

Виклад основного матеріалу

При отриманні піни на основі пожежних газів, які проходять через сітку, не всі вони беруть участь у її утворенні. Крім того, частина піни по мірі руху руйнується, і газ який звільнився змішується з потоком повітря, збідненим киснем. В результаті в протяжному об'єкті утворюються два потоки: пінний і газовий (рис. 1).

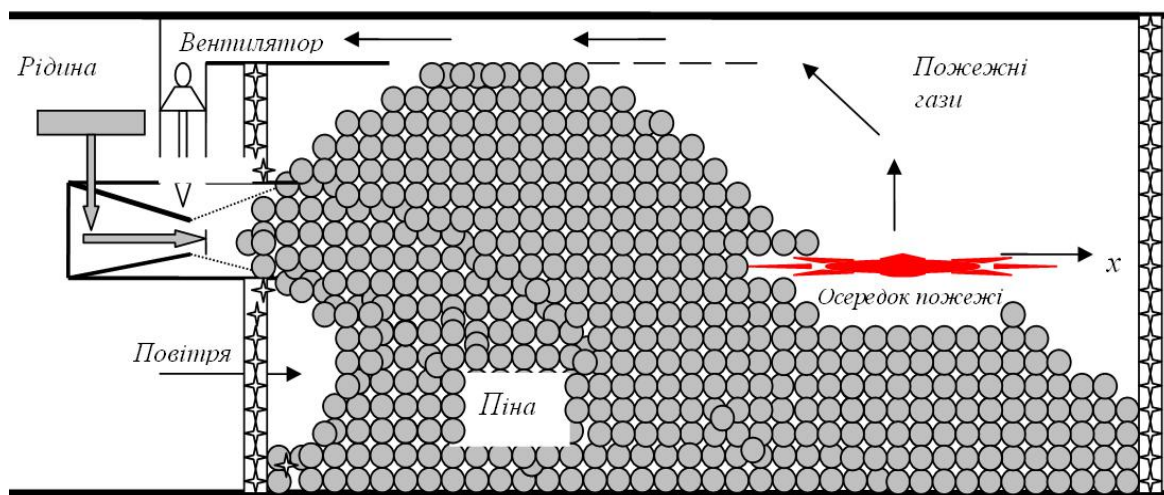


Рис. 1. Схема впливу на осередок горіння піною на основі пожежних газів в ізолюваному об'ємі каналу

Організувати подачу піни на основі пожежних газів можна таким чином (рис. 1). Перед ізолюваним відсіком каналу встановлюється піногенератор. Тут же розташовується всмоктуючий вентилятор, який через трубопровід відбирає пожежні газы і нагнітає їх в піногенератор, куди одночасно на сітку подається піноутворююча рідина. Отримана піна проникає в канал і рухається до осередку горіння, все більше витісняючи наявне там повітря разом з пожежними газами. В результаті утворюються два потоки: пінний потік до осередку

горіння і пожежні гази від осередку під покрівлю до вентилятора через трубопровід. Між цими потоками утворюється умовна лінія розділу (показана на рис. 1 штриховою лінією).

Очевидно, чим ближче буде розташована труба до осередку пожежі, тим ефективнішим буде відбір вентилятором пожежних газів. При цьому пожежні гази, які проходять через шар піни, будуть частково охолоджуватись, щоб всмоктуючий вентилятор не вийшов з ладу.

При дослідженні тепломасообмінних процесів в ізолюваному каналі із замкнутим контуром провітрювання послідовно розглянемо динаміку газових і пінних потоків, вплив концентрації кисню на осередок пожежі і комплексний вплив на осередок пожежі продуктів згорання і отриманої на їх основі газомеханічної піни.

Для описання динаміки газових і пінних потоків, як двофазового середовища, використовуємо рівняння їх руху в проекції на вісь x (вздовж каналу, рис. 1) [3, 4]

$$\frac{\partial(\rho_i u_i \varphi_i)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho_i u_i^2 \varphi_i)}{\partial x} = -\frac{\partial(\varphi_i P)}{\partial x} - \tau_i \Pi_i / S - (\rho_i - \rho_0) g \sin \gamma, \quad (1)$$

де i – номер фази ($i = 1$ – пожежні гази; $i = 2$ – піна);

ρ_i – густина i -тої фази, кг/м^3 ;

u_i – швидкість руху i -тої фази, м/с ;

φ_i – відносна площа поперечного перерізу потоку i -тої фази;

t – час з початку руху, с ;

x – координата вздовж вісі потоку, м ;

P – тиск, який створюється вентилятором провітрювання, Па ;

τ_i – дотичне напруження на стінці каналу, Н/м^2 ;

Π_i – периметр поперечного перетину i -тої фази, м ;

S – площа поперечного перетину каналу, м^2 ;

ρ_0 – густина повітря, кг/м^3 ;

g – пришвидшення вільного падіння, м/с^2 ;

γ – кут нахилу тунелю до горизонту, град .

До рівнянь руху піни і пожежних газів додано рівняння збереження їх мас в двовірній постановці [5, 6]

$$\frac{\partial(\rho_i)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho_i u_i)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho_i v_i)}{\partial y} = 0, \quad (2)$$

де v_i – вертикальна складова швидкості i -тої фази, м/с ;

y – вертикальна координата, м .

Оскільки рівняння руху фаз представлені в одномірній постановці, то і рівняння збереження фаз також представимо в одномірній постановці, для чого усереднимо по висоті потоків кожен вираз в (2). При цьому, позначимо середні величини по висоті як середньоінтегральні функції

$$\bar{\rho}_i = \frac{1}{y_i} \int_0^{y_i} \rho_i dy; \quad \bar{\rho}_i \bar{u}_i = \frac{1}{y_i} \int_0^{y_i} (\rho_i u_i) dy \quad (3)$$

Оскільки висота потоку кожної фази рівна

$$y_i = \varphi_i S / b \quad (4)$$

то в результаті інтегрування по висоті потоків фаз отримаємо, упускаючи індекси осереднення, отримаємо

$$\frac{\partial(\rho_i \varphi_i)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho_i u_i \varphi_i)}{\partial x} = -\frac{b}{S} \int_0^{y_i} \frac{\partial(\rho_i v_i)}{\partial y} dy = \frac{b}{S} (\rho_i v_i) \Big|_{y=y_i}^{y=0} = j_i \quad (5)$$

де y_i – висота пінного або газового потоку, м ;

b – ширина тунелю, м ;

j_i – швидкість фазових переходів, кг/с .

Для першої фази (пожежних газів) при $y = y_1$ покрівля непроникна і вертикальна швидкість тут рівна нулю ($v_i = 0$), а на межі фаз ($y = 0$) в результаті руйнування піни газу повертаються в загальний вільний потік. Тому

$$j_1 = \rho_1 v_1 b / S. \quad (6)$$

Піна в результаті синерезису буде губити рідину, а в результаті об'ємного розпаду буде губити і газ, і рідину. Рідина стече на ґрунт каналу, а газ приєднається до загального потоку пожежних газів. Тому для другої фази можна записати

$$j_2 = -\rho_1 v_1 b / S - \rho_p v_2 b / S, \quad (7)$$

де v_2 – швидкість синерезису піни, м/с;

ρ_p – густина рідини, кг/м³.

Після підстановки в рівняння (5) формул (6) і (7), отримуємо для двох фаз

$$\begin{aligned} \frac{\partial(\rho_1 \varphi_1)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho_1 u_1 \varphi_1)}{\partial x} &= \rho_1 v_1 b / S; \\ \frac{\partial(\rho_2 \varphi_2)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho_2 u_2 \varphi_2)}{\partial x} &= -(\rho_1 v_1 + \rho_p v_2) b / S \end{aligned} \quad (8)$$

Аналіз отриманої системи показує, що врахований обмін між фазами: пожежні газу при руйнуванні піни поступають в основний потік, а рідина стікає на ґрунт каналу.

До системи рівнянь (8) додаємо очевидну умову [3]

$$\varphi_1 + \varphi_2 = 1 \quad (9)$$

Виразимо дотичні напруження через швидкості руху фаз, використовуючи відому формулу гідравліки [4]

$$\tau_i = \frac{\lambda_i}{8} \rho_i u_i^2, \quad (10)$$

де λ_i – коефіцієнт опору i -тої фази.

Якщо при турбулентному русі пожежних газів коефіцієнт опору можна прийняти за константу:

$$\lambda_1 = const, \quad (11)$$

то коефіцієнт опору руху піни, як реологічного середовища, залежить від числа Рейнольдса і приймається рівним [3, 5]

$$\lambda_2 = \frac{64v_2}{u_2 d_2} + \frac{32\tau_0}{3\rho_2 u_2^2}, \quad (12)$$

де d_2 – приведений діаметр пінного потоку, м.

Приведений діаметр пінного потоку рівний

$$d_2 = \frac{4S\varphi_2}{\Pi_2} \quad (13)$$

Підставляючи в формулу (7) вираз (9), з урахуванням (10) отримуємо

$$\tau_2 = \frac{4\tau_0}{3} + \frac{2v_2\Pi_2}{\varphi_2 S} \rho_2 u_2 \quad (14)$$

З використанням формул (11) і (14) рівняння руху для двох фаз (1) запишуться у вигляді

$$\begin{aligned} \frac{\partial(\rho_1 u_1 \varphi_1)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho_1 u_1^2 \varphi_1)}{\partial x} &= -\frac{\partial(\varphi_1 P)}{\partial x} - \frac{\lambda_1 \Pi_1}{8S} \rho_1 u_1^2 - (\rho_1 - \rho_0) g \sin \gamma; \\ \frac{\partial(\rho_2 u_2 \varphi_2)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho_2 u_2^2 \varphi_2)}{\partial x} &= -\frac{\partial(\varphi_2 P)}{\partial x} - \frac{4\tau_0 \Pi_2}{3S} - \frac{2v_2 \Pi_2}{\varphi_2 S^2} \rho_2 u_2 - (\rho_2 - \rho_0) g \sin \gamma \end{aligned} \quad (15)$$

Аналіз отриманої системи рівнянь (15) показує, що вільні пожежні гази являють собою турбулентний потік, а піна при моделюванні буде вести себе, як ламінарний повзучий потік.

В роботі [4] показано, що при дозвуковому русі газів і рідин можна не враховувати динамічний напір при порівнянні із статичним напором (другий доданок в лівій частині рівнянь (15)). Це дозволяє значно спростити для горизонтально розташованого каналу ($\gamma = 0$) систему рівнянь (15) і подати її у вигляді

$$\begin{aligned} \frac{\partial(\rho_1 u_1 \varphi_1)}{\partial t} &= -\frac{\partial(\varphi_1 P)}{\partial x} - \frac{\lambda_1 \Pi_1^2}{8S^2} \rho_1 u_1^2; \\ \frac{\partial(\rho_2 u_2 \varphi_2)}{\partial t} &= -\frac{\partial(\varphi_2 P)}{\partial x} - \frac{4\tau_0 \Pi_2}{3S} - \frac{2\nu_2 \Pi_2^2}{\varphi_2 S^2} \rho_2 u_2 \end{aligned} \quad (16)$$

При постійній подачі піни ($t \rightarrow \infty$) система рівнянь руху фаз (16) ще більше спрощується:

$$\begin{aligned} 0 &= -\frac{d(\varphi_1 P)}{dx} - \frac{\lambda_1 \Pi_1}{8S} \rho_1 u_1^2; \\ 0 &= -\frac{d(\varphi_2 P)}{dx} - \frac{4\tau_0 \Pi_2}{3S} - \frac{2\nu_2 \Pi_2^2}{\varphi_2 S^2} \rho_2 u_2 \end{aligned} \quad (17)$$

Спрощується також і система рівнянь (8) збереження мас при постійній подачі піни на осередок горіння при $t \rightarrow \infty$:

$$\begin{aligned} \frac{d(\rho_1 u_1 \varphi_1)}{dx} &= \rho_1 v_1 b / S; \\ \frac{d(\rho_2 u_2 \varphi_2)}{dx} &= -(\rho_1 v_1 + \rho_p v_2) b / S \end{aligned} \quad (18)$$

Враховуючи, що $u_i \varphi_i S = Q_i$, рівняння (18) можна представити в більш простому вигляді

$$\begin{aligned} \frac{d(\rho_1 Q_1)}{dx} &= \rho_1 v_1 b; \\ \frac{d(\rho_2 Q_2)}{dx} &= -(\rho_1 v_1 + \rho_p v_2) b \end{aligned} \quad (19)$$

де Q_1 і Q_2 – витрати пожежних газів в першій і в другій фазах (поза піною і в піні), $\text{м}^3/\text{с}$.

Необхідно задати швидкості синерезису і розпаду піни, а також густину пінного і газового потоків. Густину газового потоку до осередку пожежі будемо вважати постійною величиною, а густину пінного потоку виразимо через кратність піни як

$$\rho_2 = \rho_1 + (\rho_p - \rho_1) / K, \quad (20)$$

де K – кратність піни, як відношення її об'єму до об'єму рідини:

$$K = \frac{Q_{2-0} + Q_p}{Q_p} \approx Q_{2-0} / Q_p \quad (21)$$

Тут Q_p – розхід рідини в піні, $\text{м}^3/\text{с}$;

Q_{2-0} – початковий розхід газу на утворення піни, $\text{м}^3/\text{с}$.

Наближена рівність обґрунтована тим, що при початковій кратності піни $K_0 = 50 - 100$ похибка становить всього 1 – 2 %.

Будемо вважати, що в основному руйнування піни проходить на ділянці тунелю пропорційній деякій довжині l_1 , а синерезис піни – на ділянці пропорційній довжині l_2 . Припустимо, що на початковій ділянці ще можливе збереження стійкості піни. Прийmemo, що стійкість падає по експоненціальному закону. Тоді можна записати

$$v_1 b l_1 = Q_2 - Q_{2-0} e^{-ax}; \quad v_2 b l_2 = Q_p, \quad (22)$$

де Q_p – розхід рідини в піні, $\text{м}^3/\text{с}$;

a – показник стійкості піни, $1/\text{м}$.

Більш обґрунтовано пов'язати довжини l_1 і l_2 із часом руйнування піни і часом витікання рідини, приймаючи

$$l_1 \approx u_2 t_p; \quad l_2 \approx u_2 t_g, \quad (23)$$

де t_p – час руйнування піни, с;

t_g – час витікання рідини із піни, с.

Підставляючи вирази (20) – (22) в рівняння (19), отримаємо

$$\begin{aligned} \frac{d(\rho_1 Q_1)}{dx} &= -\rho_1(Q_{2-0}e^{-ax} - Q_2)/l_1; \\ \frac{d(\rho_1 Q_2)}{dx} + \frac{d(\rho_p Q_p)}{dx} &= \rho_1(Q_{2-0}e^{-ax} - Q_2)/l_1 - \rho_p Q_p/l_2 \end{aligned} \quad (24)$$

Так як процеси синерезису піни (стікання рідини) і її об'ємного руйнування на початку незалежні, то друге рівняння системи (23) розбивається на два рівняння:

$$\begin{aligned} \frac{d(\rho_1 Q_2)}{dx} &= -\rho_1(Q_{2-0}e^{-ax} - Q_2)/l_1; \\ \frac{d(\rho_p Q_p)}{dx} &= -\rho_p Q_p/l_2 \end{aligned} \quad (25)$$

Крайові умови для рівнянь (24) приймемо рівними

$$Q_2(0) = Q_{2-0}; \quad Q(0) = Q_{p-0} \quad (26)$$

Будемо шукати розв'язок першого рівняння системи (24) у вигляді суми двох експонент

$$Q_2(x) = B_1 e^{-ax} + B_2 e^{-x/l_1} \quad (27)$$

З урахуванням першої крайової умови і умови, яка впливає з першого рівняння системи (24) при $x = 0$, знайдемо

$$B_1 + B_2 = Q_{2-0}; \quad aB_1 + B_2/l_1 = 0, \quad (28)$$

звідки отримаємо

$$Q_2(x) = \frac{Q_{2-0}}{1 - al_1} (e^{-ax} - al_1 e^{-x/l_1}) \quad (29)$$

Для потоку пожежних газів знайдемо, розв'язуючи перше рівняння системи (24)

$$Q_1(x) = Q_0 - \frac{Q_{2-0}}{1 - al_1} (e^{-ax} - al_1 e^{-x/l_1}), \quad (30)$$

де Q_0 – розхід всіх газів через відсік каналу ($Q_0 \geq Q_{2-0}$), м³/с.

Таким чином, пожежні газы, як впливає з отриманих формул (29) і (30), нікуди не губляться, а переходять з піни при її руйнуванні в загальний потік газів. На рис. 2 представлені результати моделювання втрат газової фази в піні по довжині каналу при різних параметрах al_1 , які характеризують стійкість піни.

Оскільки об'єм піни практично рівний об'єму газів в піні, то відношення Q_2/Q_{2-0} означає, по суті, відносну висоту пінного стовпа.

В цьому випадку

$$\varphi_2 = \varphi_{2-0} Q_2 / Q_{2-0} \quad (31)$$

де φ_{2-0} – початкове положення піни по висоті.

Аналізуючи результати моделювання, приходимо до висновку, що чим менший параметр al_1 , який характеризує стійкість піни на певній довжині, тим менше вона руйнується.

Інтегруючи друге рівняння системи (24), будемо мати

$$Q_p(x) = Q_{p-0} e^{-x/l_2} \quad (32)$$

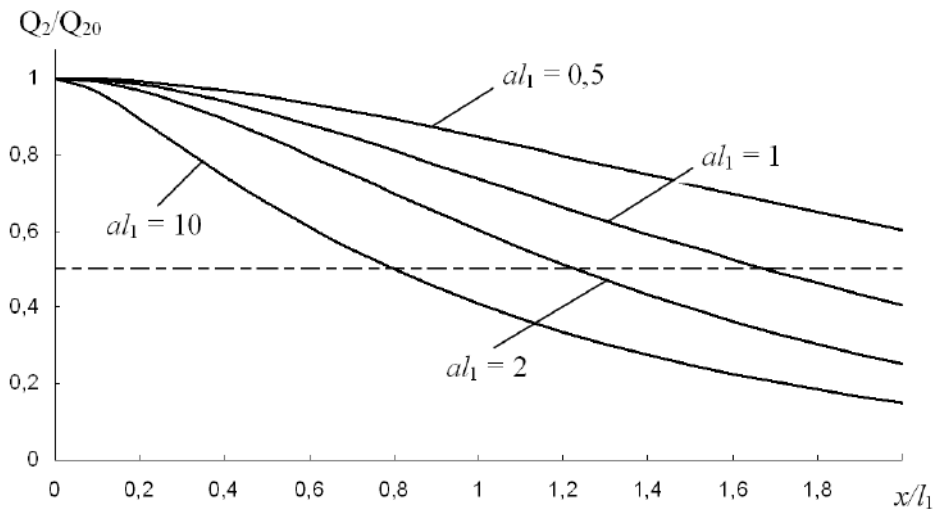


Рис. 2. Результати моделювання втрат газової фази в піні вздовж каналу при різній її стійкості (штриховою лінією показано 50 % вміст піни)

При руйнуванні піни одночасно губиться і рідина і газ, тому густина і кратність піни, що залишилась, не змінюється. Однак і густина і кратність змінюються при синерезисі. Використовуючи отримані залежності (21) і (32) можна встановити з допомогою формули (20), як змінюється густина піни вздовж каналу при синерезисі. На рис. 3 представлені результати моделювання зміни густини піни вздовж каналу при різній швидкості її витікання. При моделюванні приймалися густина повітря $\rho_1 = 1,2 \text{ кг/м}^3$, густина рідини $\rho_2 = 1000 \text{ кг/м}^3$ і початкова кратність піни $K_0 = 100$.

Із аналізу отриманих результатів випливає, що чим коротша ділянка синерезису у порівнянні з ділянкою руйнування, тим більше густина піни наближується до густини повітря. При критичній кратності $K_{кр}$ піни може повністю зруйнуватися, як, наприклад, на ділянці $x/l_1 > 1$ при $l_1/l_2 = 2$ (рис. 3), хоча втрати газової фази можуть бути і незначними (рис. 2).

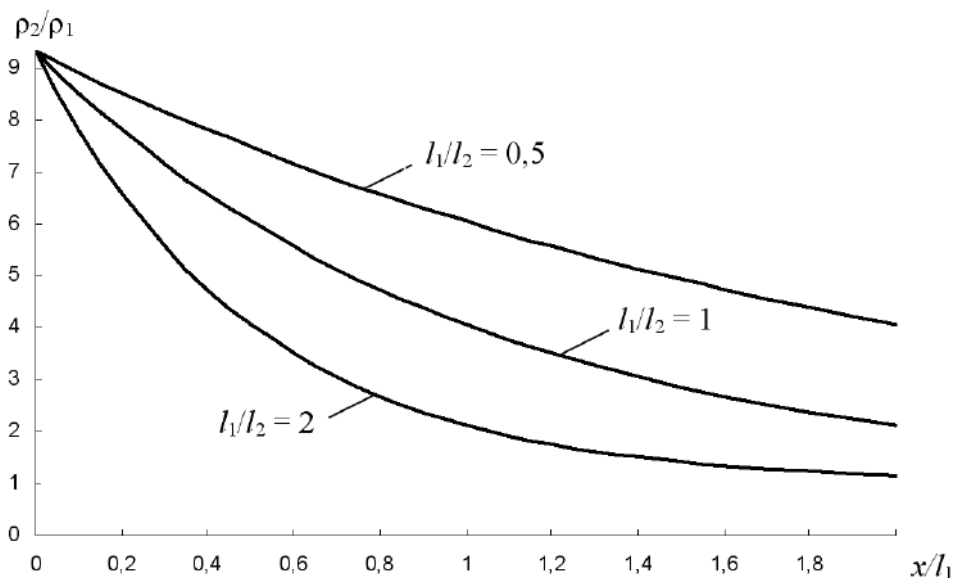


Рис. 3. Результати моделювання зміни густини піни вздовж каналу при різній швидкості її витікання

Знаючи залежності відносних площ двофазового потоку, можна визначити периметри їх поперечних перетинів як

$$\Pi_1 = 2(b + \frac{S}{b} \varphi_1); \quad \Pi_2 = 2(b + \frac{S}{b} \varphi_2) \quad (33)$$

Оскільки вид залежностей для закону збереження мас (28), (29) і (32) відомий, а також відомі залежності для геометричних розмірів потоку (31) і (33), то можна знайти, як змінюється депресія вздовж каналу, використовуючи систему (17), яку приведемо до вигляду

$$\begin{aligned} -\frac{d(\varphi_1 P)}{dx} &= \frac{\lambda_1 \rho_1 \Pi_1 \varphi_1}{8S} u_1^2; \\ -\frac{d(\varphi_2 P)}{dx} &= \frac{4\tau_0 \Pi_2}{3S} + \frac{2\nu_2 \Pi_2^2}{\varphi_2 S^2} \rho_2 u_2 \end{aligned} \quad (34)$$

Інтегруючи рівняння системи (34) отримаємо в загальному вигляді

$$\begin{aligned} (\varphi_1 P) \Big|_0^l &= \frac{\lambda_1 \rho_1 u_1^2}{8S} \int_0^l \Pi_1 \varphi_1 dx; \\ (\varphi_2 P) \Big|_0^l &= \frac{4\tau_0}{3S} \int_0^l \Pi_2 dx + \frac{2\nu_2 u_2}{S^2} \int_0^l \frac{\Pi_2^2}{\varphi_2} \rho_2 dx, \end{aligned} \quad (35)$$

де l – довжина пінного потоку або довжина ізолюваного об'єму, якщо потік довший, м.

Тут всі параметри за межами інтегралів прийняті за константи. Сумуючи ліву і праву частини рівнянь (35), отримаємо формулу для розрахунку перепаду тиску або депресії, яку необхідно створити, щоб отримати задану продуктивність піни

$$P_0 - P_1 = \frac{\lambda_1 \rho_1 u_1^2}{8S} \int_0^l \Pi_1 \varphi_1 dx + \frac{4\tau_0}{3S} \int_0^l \Pi_2 dx + \frac{2\nu_2 u_2}{S^2} \int_0^l \frac{\Pi_2^2}{\varphi_2} \rho_2 dx, \quad (36)$$

де P_0 і P_1 – тиск відповідно на вході і виході з ізолюваного об'єму, Па.

Складний вид інтегралів (36) не дозволяє отримати просту аналітичну залежність для розрахунку. Тому будемо користуватися інтегральними геометричними характеристиками потоків фаз, як це робиться в рудничній аерології при визначенні площі поперечних перетинів і периметрів виробітку. З цією метою знайдемо інтеграл від функції (29), як середню відносну площу поперечного перерізу потоку піни на довжині каналу і з врахуванням (31) отримаємо

$$\varphi_{2cp} = \frac{1}{l} \int_0^l \varphi_2 dx = \frac{\varphi_{2-0}}{(1 - a l_1) a l} [(1 - e^{-al}) - (a l_1)^2 (1 - e^{-l/l_1})] \quad (37)$$

Використовуючи формулу (33) можна знайти і середні периметри перерізів потоків фаз, що дозволяє представити формулу (36) у вигляді

$$P_0 - P_1 = \frac{\lambda_1 \Pi_{1cp} l \rho_1 u_1^2}{8S} + \frac{4\tau_0 \Pi_{2cp} l}{3S} + \frac{2\Pi_{2cp}^2 l \nu_2 u_2}{\varphi_{2cp} S^2} \quad (38)$$

Швидкості, які входять в отриману залежність (38) потоків фаз можуть бути знайдені через початкові витрати за формулами

$$u_i = \frac{Q_{i0}}{\varphi_{i0} S} \quad (39)$$

Висновки. Аналіз отриманої залежності (38) показує, що перепад тиску на кінцях ізолюваного об'єму або депресія залежать від трьох факторів: умов початку руху піни, її ламінарного опору при русі і від сил аеродинамічного опору турбулентного потоку пожежних газів (під лінією розділу, рис. 1).

Для практичного застосування отриманих залежностей необхідно знати такі параметри, як:

- максимальна допустима температура, при якій ще може генеруватися стійка піна;

- початкова кратність піни K_0 при її генеруванні з використанням пожежних газів з високою температурою;
- час її існування $t_{ж}$;
- дальність l_1 поширення піни в залежності від швидкості руху пожежних газів;
- необхідна депресія ΔP для руху пінного потоку із заданою швидкістю.

Тому метою подальших досліджень є експериментальне вивчення і перевірка достовірності отриманих залежностей при регенеруванні і русі пінного потоку в каналах.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ:

1. Дмитровський С. Ю. Обґрунтування параметрів гасіння пожеж в кабельному тунелі шляхом рециркуляції продуктів горіння: Автореф. дисерт. ... канд. техн. наук / С.Ю. Дмитровський. – Львів: ЛДУБЖД МНС України, 2008. – 16 с.
2. Ковалишин В. В. Моделювання процесів впливу продуктів горіння на осередок пожежі у замкнутому контурі / В. В. Ковалишин, Т. В. Бойко, І. М. Зінченко // Пожежна безпека. – 2009. – № 14. – С. 166 – 171.
3. Дейч М. Е. Двухфазные течения в элементах теплоэнергетического оборудования / М. Е. Дейч, Г. А. Филиппов. – М.: Энергоатом, 1987. – 328 с.
4. Чарный И. А. Неустановившееся движение реальной жидкости в трубах / И. А. Чарный. – М.: Недра, 1975. – 296 с.
5. Лойцянский Л. Г. Механика жидкостей и газов / Л. Г. Лойцянский. – М.: Наука, 1970. – 904 с.
6. Лыков А. В. Теория теплопроводности / А. В. Лыков. – М.: Высшая школа, 1967. – 600 с.

В.В. Ковалишин, к.т.н., доц., Я.Б. Кырылив, к.т.н., Т.В. Бойко

ДИНАМИКА ГАЗОВО-ПЕННЫХ ПОТОКОВ В ЗАМКНУТОМ ОБЪЁМЕ КАНАЛА ПРИ ТУШЕНИИ ПОЖАРА

В статье исследованы тепломассообменные процессы в изолированном канале с замкнутым контуром проветривания, рассмотрена динамика газовых и пенных потоков, их влияние на очаг пожара и комплексное влияние пожара на него продуктов горения и полученной на их основе газомеханической пены. Представлены результаты моделирования потерь газовой фазы в пене по длине канала при различных параметрах, которые характеризуют стойкость пены, а также изменения плотности пены вдоль канала при разной скорости её истекания.

Ключевые слова: пожарные газы, пена, протяжённые объекты, динамика газовых и пенных потоков, очаг пожара, продукты горения, моделирование, газомеханическая пена, производительность

V.V. Kovalyshyn, Candidate of Sciences (Engineering), Docent, Ya.B. Kyryliv, Candidate of Sciences (Engineering), T.V. Boyko

THE DYNAMICS OF GAS AND FROTH FLOWS IN CLOSED CAPACITY OF CHANNEL OF FIRE-EXTINGUISHING

The article deals with the heat-mass exchanging processes in isolated channel with closed loop of airing. The dynamics of gas and froth flows, their influence on seat of fire, complex influence of fire on products of combustion and received gas-mechanic foam are examined. The results of modeling of gas phases' losses in foam through channel length of different parameters are given characterizing foam stableness and foam density variation through channel of different rate of its flowing out.

Key words: fire gases, foam, extensive objects, dynamics of gas and froth flows, seat of fire, products of combustion, modeling, gas-mechanic foam, productivity