

М.М. Удянський, канд. тех. наук., доцент, нач. факультету, НУЦЗУ,  
А.Г. Кутявін, ст. викладач, НУЦЗУ

## ВИЗНАЧЕННЯ ЧАСУ ЗАПОВНЕННЯ ДИМОМ БЕЗПЕЧНОЇ ЗОНИ ПРИМІЩЕННЯ З ОБМЕЖЕНИМ ПОВІТРООБМІНОМ ПРИ ПОЖЕЖІ

(представлено д-ром хім. наук, проф. Прохачем Е.Ю.)

Запропонована математична модель, яка є частковим рішенням рівняння пожежі і надає можливість описати швидкість опускання шару диму у приміщенні для замкнутої термодинамічної системи

**Ключові слова:** модель, задимлення приміщень, швидкість опускання шару диму.

**Постановка проблеми.** Найбільш небезпечним чинником пожежі (далі – НЧП) є дим. Це підтверджують статистичні дані загибелі людей на пожежах. Летальні випадки настають за причини обмеженої інформації щодо безпечного часу перебування людини в задимленому приміщенні, особливо при веденні бойових дій на пожежі. Тому виникає необхідність використання оціночного розрахунку часу заповнення димом безпечної зони приміщень при пожежі.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Результати досліджень задимлення приміщень при пожежах викладено у роботах [1-5]. При цьому основними завданнями розрахунку динаміки НЧП є: критична тривалість пожежі (необхідний час евакуації); фактичні межі вогнестійкості будівельних конструкцій; час спрацьовування теплових, димових, концентраційних, радіаційних і комбінованих пожежних сповіщувачів; термогазодинамічна картина пожежі; безпечні відстані (для евакуації людей і розстановки устаткування). Отримані характеристики динаміки НЧП застосовуються при вирішенні наступних завдань пожежної безпеки: аналіз об'ємно-планувальних і конструктивних рішень будівель і споруд; вибір і оптимізація товщини вогнезахисних покриттів будівельних конструкцій; проектування автоматичних систем пожежної сигналізації і автоматичного пожежогасіння; проведення пожежно-технічних експертиз і розслідування пожеж; розробка планів евакуації і пожежогасіння тощо.

**Постановка завдання та його вирішення.** Для того щоб описати процес задимлення приміщення з обмеженим повітрообміном при пожежі необхідно створити математичну модель, яка б була частковим рішенням рівняння пожежі і давала можливість описати швидкість опускання шару диму у приміщенні для замкнутої термодина-

мічної системи. Для вирішення цієї задачі введемо наступні припущення, які є прийнятними для процесу що досліджується:

1. Дія джерела тепла починається миттєво (тобто осередок горіння з нульового моменту часу має кінцеві визначені розміри, які в подальшому залишаються незмінними).

2. Тепло- та димовиділення джерела постійні.

3. Видаляння продуктів горіння з приміщення відсутнє.

4. Враховуючи короткий час дії пожежі до повного задимлення приміщення, променевим теплообміном нехтуємо, так як конструкції у не задимленій зоні не встигають прогрітися, щоб перетворитися у джерело конвенції II порядку.

5. Вважаємо, що дим розповсюджується з конвективним потоком.

6. Втрати енергії, пов'язаною з тертям об стіни, нехтуємо.

При розробці теоретичної схеми поширення диму у замкнутому об'ємі приміщення використовуємо принцип балансу задимленого газового середовища. Розглянемо елементарний задимлений об'єм  $dV$  в шару диму (Рис.1). Його величина дорівнює додатку ширини приміщення  $A$  на довжину  $B$  та на висоту  $dZ$  :

$$dV = A \cdot B \cdot dZ . \quad (1)$$

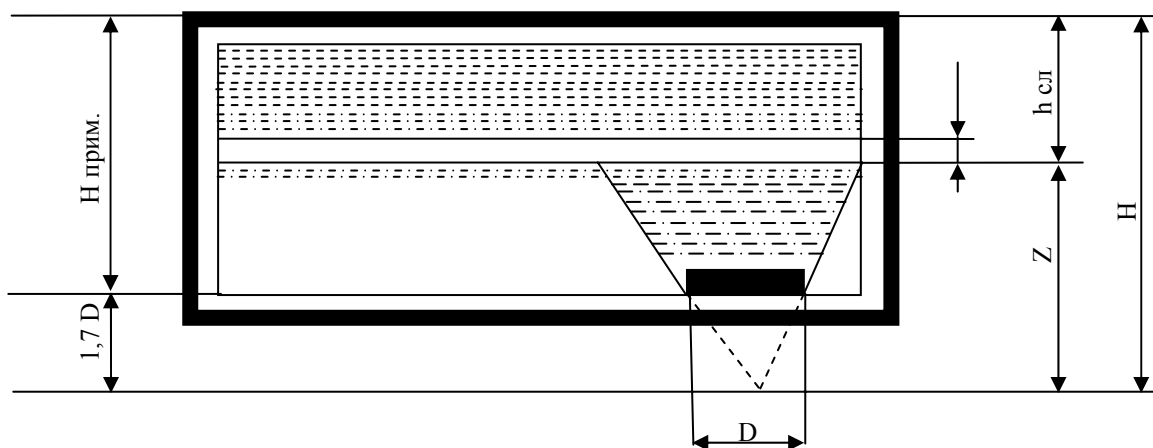


Рис. 1 - Розрахункова схема розповсюдження диму у приміщенні

В той же час величина елементарного задимленого об'єму у замкнутому приміщенні можливо описати рівнянням:

$$dV = L_p(Z) \cdot d\tau , \quad (2)$$

де,  $L_p(Z)$  - витрати газового потоку у струї (функція відстані від полюсу струї до шару диму),  $i^3 \cdot \tilde{n}^{-1}$ ;  $d\tau$  - час за який заповниться димом цей елементарний об'єм, с.

Об'єднавши рівняння (1) та (2) отримаємо наступну залежність:

$$\begin{cases} dV = A \cdot B \cdot dZ; \\ dV = L_p(Z) \cdot d\tau. \end{cases} \quad (3)$$

Якщо осередок горіння піднято над рівнем відстань від полюсу струї до границі задимленої зони ( $Z$ ) та до стелі приміщення ( $H$ ) у відповідності з висновками В.М. Ельтермана [6] слід приймати як:

$$Z = H_{i\zeta} + 1,7D; \quad (4)$$

$$H = H_{i\delta\epsilon} + 1,7D. \quad (5)$$

де:  $H_{i\zeta}$  - рівень незадимленої зони, м;  $D$  – діаметр осередку горіння, м;  $H_{i\delta\epsilon}$  - висота приміщення, м.

Величину  $L_p$  І.А. Шепелєв теоретично визначив як [3]:

$$L_p = \left[ 89 \left( \frac{Z}{D} \right)^{2/3} - 72 \right] \cdot D^{5/3} \cdot Q_{\epsilon i \hat{a}}^{1/3}, \quad (6)$$

де:  $Z$  – відстань від полюсу струї до точки яку розглядаємо, м;  $Q_{\epsilon i \hat{a}}$  - кількість конвективного тепла, ккал/год;

В.М. Ельтерман запропонував величину  $L_p$  визначати за формулою [6]:

$$L_p = 20,2 \cdot Q_{\epsilon i \hat{a}}^{1/3} \cdot Z^{5/3}. \quad (7)$$

Із виразу (3) можна визначити величину  $d\tau$ :

$$d\tau = A \cdot B \cdot \frac{dZ}{L_p(Z)}. \quad (8)$$

Підставивши у рівняння (8) значення  $L_p$  та  $Z$  з формули (6) та винісши за дужки  $\frac{89}{D^{2/3}}$ , отримаємо наступний вираз:

$$d\tau = \frac{A \cdot B}{89 \cdot D \cdot Q^{1/3}} \cdot \left[ \frac{dZ}{Z^{2/3} - \frac{72}{89} \cdot D^{2/3}} \right] \quad (9)$$

Виконавши заміну  $Z = t^3$ ,  $dZ = 3t^2 \cdot dt$  та проінтегрувавши, отримаємо  $\tau$  - час опускання шару диму до висоти  $Z$ :

$$\begin{aligned} \tau &= \frac{A \cdot B}{89 D \cdot Q^{1/3}} \int_{(H_{i\delta\epsilon i} + 1,7D)^{1/3}}^{(H_{i\zeta} + 1,7D)^{1/3}} \frac{3t^2 dt}{t^2 - \frac{72}{89} D^{2/3}} = \\ &= \frac{3 \cdot A \cdot B}{89 \cdot D \cdot Q^{1/3}} \cdot \left\{ (H_{i\zeta} + 1,7D)^{1/3} - (H_{i\delta\epsilon i} + 1,7D)^{1/3} + \right. \\ &\left. + D^{1/3} \cdot 0,45 \ln \left[ \frac{(H_{H3} + 1,7D)^{1/3} - 0,9D^{1/3}}{(H_{H3} + 1,7D)^{1/3} + 0,9D^{1/3}} \right] \left[ \frac{(H_{прим} + 1,7D)^{1/3} + 0,9D^{1/3}}{(H_{прим} + 1,7D)^{1/3} - 0,9D^{1/3}} \right] \right\} \end{aligned}$$

Аналогічно, підставивши  $L_p(Z)$  з формули (7) у формулу (8), визначаємо час, за який шар диму опуститься до висоти  $Z$  ( $Z=H-h_{\tilde{n}\tilde{e}}$ ):

$$d\tau = \frac{A \cdot B \cdot dZ}{20,2 \cdot Q_{\tilde{e}\tilde{i}\tilde{a}}^{1/3} \cdot Z^{5/3}} ; \quad (11)$$

$$\begin{aligned} \tau &= \frac{A \cdot B \cdot dZ}{20,2 \cdot Q_{\tilde{e}\tilde{i}\tilde{a}}^{1/3}} \cdot \int_{H_{i\delta\epsilon i} + 1,7D}^{H_{i\zeta} + 1,7D} \frac{dZ}{Z^{5/3}} = \frac{3 \cdot A \cdot B}{2 \cdot 20,2 \cdot Q_{\tilde{e}\tilde{i}\tilde{a}}^{1/3}} \cdot \left[ \frac{H_{i\zeta} + 1,7D}{H_{i\delta\epsilon i} + 1,7D} \right] = \\ &= \frac{1,5 \cdot S_{i\delta\epsilon i}}{20,2 \cdot Q_{\tilde{e}\tilde{i}\tilde{a}}^{1/3}} \cdot \left[ \frac{1}{(H_{i\zeta} + 1,7D)^{2/3}} - \frac{1}{(H_{i\delta\epsilon i} + 1,7D)^{2/3}} \right] \quad (12) \end{aligned}$$

**Висновки.** Запропонована математична модель, яка є частковим рішенням рівняння пожежі і надає можливість при пожежі визначити час заповнення димом безпечної зони у приміщенні для замкнутої термодинамічної системи.

## ЛІТЕРАТУРА

1. ГОСТ 12.1.004-91\* ССБТ Пожарная безопасность. Общие требования.
2. Ландышев Н.В. Результаты исследования задымления помещений при пожаре при горении ЛВЖ и ГЖ / Н.В.Ландышев// Научно-техническое обеспечение противопожарных и аварийно-спасательных работ: Материалы XII Всероссийской науч.-практ. конф. – М.: ВНИИПО МВД РФ, 1993. – С. 339.
3. Шепелев И.А. Аэродинамика воздушных потоков в помещении. – М.: Стойиздат, 1978. – 145 с.
4. Кошмаров Ю. А. Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении: Учебное пособие. - М.: Академия ГПС МВД России, 2000. – 118 с.
5. Пузач С.В. Методы расчета тепломассообмена при пожаре в помещении и их применение при решении практических задач пожаровзрывобезопасности. Монография. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2005. – 336 с.
6. Эльтерман В.М. Вентиляция химических производств. – М.: Химия, 1980. – 228 с.  
nuczu.edu.ua

Удянський Н.Н., канд. тех. наук., доцент, нач. факультета, НУГЗ України,  
Кутявін А.Г., ст. преподаватель, НУГЗ України

### **Определение времени заполнения дымом безопасной зоны помещения с ограниченным воздухообменом при пожаре**

Предложена математическая модель, которая является частичным решением уравнения пожара и предоставляет возможность описать скорость опускания слоя дыма в помещении для замкнутой термодинамической системы.

**Ключевые слова:** модель, задымление помещений, скорость опускания слоя дыма.

Udyanskiy N.N., kand. those. sciences., associate professor, nach. faculty,  
NUGZ of Ukraine, Kutyavin A.G., item teacher, NUGZ of Ukraine

### **Determination of time of filling smoke of safe area of apartment with the limited ventilation at a fire**

A mathematical model which is the partial decision of equalization of fire and gives possibility to describe speed of lowering of layer of smoke in an apartment for the closed thermodynamics system is offered.

**Keywords:** model, smoke-screen of apartments, speed of lowering of layer of smoke.