

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

теплового випромінювання від високотемпературних джерел різноманітної форми на вертикальну поверхню. Такими джерелами можуть бути полум'я, продукти горіння, предмети, нагріті до певної температури, тощо.

Постановка завдання. Метою роботи є моделювання теплового випромінювання, що діє на вертикальну поверхню від джерел, які мають форму конуса та прямокутника розташованого паралельно до вертикальної поверхні. Встановлюються при цьому залежності величини теплового потоку не лише від форми джерела випромінювання, а від його геометричних параметрів (висоти), а також віддаленості від джерела ділянки вертикальної поверхні.

Виклад основного матеріалу. При створенні математичного моделювання теплового випромінювання нами були опрацьовані два методи для визначення інтенсивності теплового випромінювання [1, 2], та запропоновано свій метод №3 визначення інтенсивності теплового випромінювання для випробування захисного одягу пожежників-рятувальників.

Розглянувши метод №1 ми бачимо, що рівняння Стефана-Больцмана [1], сумарна енергія, яка випромінюється тілом, прямопропорційна T^4 , де T – абсолютна температура тіла в градусах Кельвіна. Сумарна випромінювальна потужність, кВт/м^2 , обчислюється за формулою

$$E = e Q T^4 \quad (1)$$

де Q – константа Стефана-Больцмана, $Q = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К}^4)$,

e – ступінь чорноти тіла, яке випромінює.

Інтенсивність випромінювальної енергії (q), що падає на поверхню, віддалену від випромінювального тіла, визначається з допомогою відповідного коефіцієнта опромінення (Φ), який враховує геометричний зв'язок між тілом, яке випромінює і тілом, яке приймає випромінювання

$$q = \Phi e Q T^4 \quad (2)$$

Рівняння (1) дає можливість визначити сумарний променевий потік по всіх напрямках півсфери. Воно може використовуватись без будь-яких змін для розрахунку теплових втрат випромінювання з поверхні тіла. Оскільки теплове випромінювання має дифузійний характер, то для визначення інтенсифікації теплообміну з іншими тілами необхідний метод розрахунку кількості енергії, яка випромінюється в довільних напрямках. З цією метою вводиться поняття густини (інтенсивності) випромінювання в напрямку нормалі і випромінювальної поверхні (I_n), для визначення густини випромінювання під кутом θ до нормалі використовується закон Ламберта

$$I = I_n \cos \theta \quad (3)$$

який застосовується тільки до джерел дифузного випромінювання. Згідно з визначенням величини I_n і закону Ламберта, маємо

$$dE = I_n \cos \theta dA_1 d\omega, \quad (4)$$

де елементарний тілесний кут $d\omega$ рівний за визначенням

$$d\omega = dA_2 / r^2 \quad (5)$$

$$dA_2 = 2\pi r \sin \theta r d\theta \quad (6)$$

Підставляючи вираз (5) і (6) у співвідношення (4), отримаємо

$$dE = 2I_n \sin \theta \cos \theta d\theta dA_1 \quad (7)$$

Представляючи це у вигляді теплового потоку, що випромінюється елементом поверхні dA_1 , і беручи інтеграл від $\theta=0$ до $\theta=\pi/2$, отримаємо

$$I_n = E/\pi \quad (8)$$

Найвний наближений метод визначення теплового випромінювання вимагає знання висоти полум'я l , її можна знайти із співвідношення $l = 0,23Q_c - 1,02D$. Інтенсивність тепловиділення Q_c може бути обчислена з виразу

$$Q_c = m\Delta H_c A_f \quad (9)$$

де A_f - площа поверхні пального, m^2 .

При тридцятипроцентному рівні випромінювання теплоти згорання інтенсивність променевого тепловиділення можна записати у вигляді

$$Q_r = 0,3m\Delta H_c A_f. \quad (10)$$

По цьому методу приймається, що Q_r виходитиме від точкового джерела на осі полум'я на висоті $0,5 l$ над поверхнею пального. Тепловий потік (qr) на відстані R від точкового джерела P визначиться виразом

$$qr = 0,3m\Delta H_c A_f / 4\pi R^2 \quad (11)$$

як це ілюструється на рис. 1, де $R^2 = (l/2)^2 + d^2$, де d - відстань від осі факела до приймача випромінювання. Проте якщо поверхня приймача випромінювання розташована під кутом θ до лінії видимості PT , тоді необхідно зменшити величину потоку за допомогою введення множника, рівного:

$$qrT = (0,3m\Delta H_c A_f \cos\theta) / 4\pi R^2 \quad (12)$$

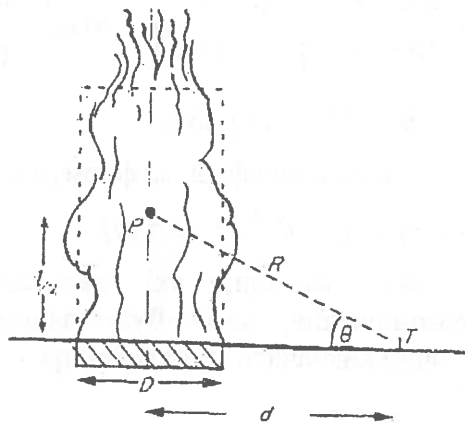


Рис.1. Оцінка променевого теплового потоку

Розглянувши метод №2 визначення інтенсивності теплового випромінювання q , $\text{кВт}/\text{м}^2$, ми бачимо [2], що тепловий потік визначається за формулою

$$q = E_f F_q \tau, \quad (13)$$

де E_f — середньповерхнева густина теплового випромінювання полум'я, $\text{кВт}/\text{м}^2$;

F_q — кутовий коефіцієнт опромінення;

τ — коефіцієнт пропускання атмосферою.

E_f приймають на основі наявних експериментальних даних. При відсутності даних допускається приймати величину E_f рівною $100 \text{ кВт}/\text{м}^2$ для СВГ, $40 \text{ кВт}/\text{м}^2$ для нафтопродуктів, $40 \text{ кВт}/\text{м}^2$ для твердих матеріалів.

Розраховують ефективний діаметр горіння рідини d , м, за формулою

$$d = \sqrt{\frac{4F}{\pi}}, \quad (14)$$

де F — площа горіння, м^2 .

Розраховують висоту полум'я H , м , за формулою

$$H = 42d \left(\frac{M}{\rho_a \sqrt{gd}} \right)^{0,61}, \quad (15)$$

де M — питома масова швидкість вигорання палива, $\text{кг}/(\text{м} \cdot \text{с})$;

ρ_a — густина навколишнього повітря, $\text{кг}/\text{м}^3$;

g — прискорення вільного падіння, рівне $9,81 \text{ м}/\text{с}^2$.

Визначають кутовий коефіцієнт опромінення F_q за формулою

$$E_q = \sqrt{F_V^2 + F_H^2}, \quad (16)$$

$$\text{де } F_V = \frac{1}{\pi} \left[\frac{1}{S} \cdot \arctg \left(\frac{h}{\sqrt{S^2 - 1}} \right) - \frac{h}{S} \left\{ \arctg \left(\frac{\sqrt{S-1}}{\sqrt{S+1}} \right) - \frac{A}{\sqrt{A^2 - 1}} \cdot \arctg \left(\frac{\sqrt{(A+1)(S-1)}}{\sqrt{(A-1)(S+1)}} \right) \right\} \right], \quad (17)$$

$$\text{де } A = (h^2 + S^2 + 1) / (2S), \quad (18)$$

$$S = 2r/d, \quad (19)$$

$$h = 2H/d, \quad (20)$$

де r — відстань від геометричного центру площі горіння до опроміненого об'єкту,

$$F_H = \frac{1}{\pi} \left[\frac{(B-1/S)}{\sqrt{B^2-1}} \cdot \arctg \left(\frac{\sqrt{(B+1)(S-1)}}{\sqrt{(B-1)(S+1)}} \right) - \frac{(A-1/S)}{\sqrt{A^2-1}} \cdot \arctg \left(\frac{\sqrt{(A+1)(S-1)}}{\sqrt{(A-1)(S+1)}} \right) \right], \quad (21)$$

$$B = (1+S^2) / (2S). \quad (22)$$

Визначається коефіцієнт пропускання атмосфери за формулою

$$\tau = \exp[-7,0 \cdot 10^{-4} (r - 0,5 d)] \quad (23)$$

Проаналізувавши вищевказані методи, які застосовуються для визначення інтенсивності теплового випромінювання, нами було запропоновано новий метод за допомогою якого можна більш точно визначати теплове випромінювання.

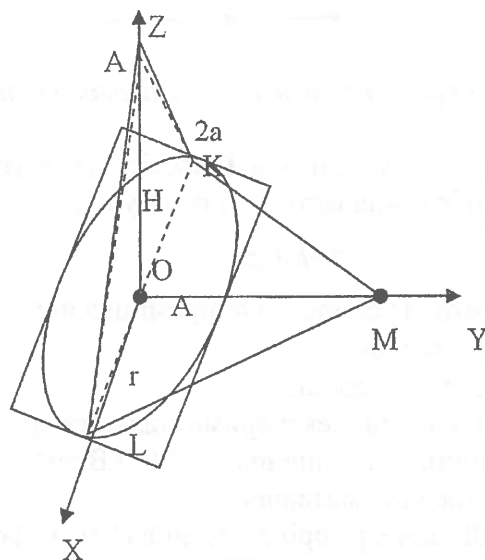


Рис. 2. Випромінювання поверхнею конуса

Полум'я часто має форму, близьку до конічної. Тому дослідимо випромінювання від поверхні конуса. Можемо вважати, що конус розташований таким чином, що його основа розташована на площині Оху та має радіус r, а висота Н лежить на осі Oz (рис.2). Точку М розташуємо на осі Оу на відстані y_0 від початку координат у додатному напрямку. У цьому випадку бічна поверхня конуса є частиною конічної поверхні, яка описується рівнянням

$$\frac{x^2}{r^2} + \frac{y^2}{a^2} - \frac{(z-H)^2}{H^2} = 0. \quad (24)$$

Тоді видима з точки М частина конуса описується рівнянням

$$y = a \sqrt{\frac{(z-H)^2}{H^2} - \frac{x^2}{r^2}}. \quad (25)$$

Підставимо часткові похідні функції (25)

$$\frac{\partial y}{\partial x} = a \frac{1}{2 \sqrt{\frac{(z-H)^2}{H^2} - \frac{x^2}{r^2}}} \cdot \left(-\frac{2x}{r^2} \right) = \frac{a}{r^2} \cdot \frac{x}{\sqrt{\frac{(z-H)^2}{H^2} - \frac{x^2}{r^2}}}, \quad (26)$$

$$\frac{\partial y}{\partial z} = a \frac{1}{2 \sqrt{\frac{(z-H)^2}{H^2} - \frac{x^2}{r^2}}} \cdot \frac{2(z-H)}{H^2} = \frac{a}{H^2} \cdot \frac{z-H}{\sqrt{\frac{(z-H)^2}{H^2} - \frac{x^2}{r^2}}}. \quad (27)$$

Проінтегрувавши трикутник ALK, який є проекцією видимої точки М частини конуса на площину Охz. Для визначення меж інтегрування опишемо цей трикутник нерівностями. Тоді трикутник ALK має межі які описуються нерівностями $0 \leq z \leq H$ та

$-r \frac{\sqrt{y_0^2 - r^2}}{y_0} \left(1 - \frac{z}{H}\right) \leq x \leq r \frac{\sqrt{y_0^2 - r^2}}{y_0} \left(1 - \frac{z}{H}\right)$. Таким чином, тепловий потік, який потрапляє з поверхні конуса, визначається за формулою

$$\frac{\partial \Phi}{\partial S z} = \iint_{S_0} \ln \frac{(x_0 - x) \cdot \left(-\frac{a}{r^2}\right) \frac{x}{\sqrt{\frac{(z-H)^2}{H^2} - \frac{x^2}{r^2}}} - \left(y_0 - a \sqrt{\frac{(z-H)^2}{H^2} - \frac{x^2}{r^2}}\right) + (z_0 - z) \cdot \frac{a}{H^2} \frac{(z-H)}{\sqrt{\frac{(z-H)^2}{H^2} - \frac{x^2}{r^2}}}{\left((x_0 - x)^2 + \left(y_0 - a \sqrt{\frac{(z-H)^2}{H^2} - \frac{x^2}{r^2}}\right)^2 + (z_0 - z)^2 \right)^2} \times \left(a \sqrt{\frac{(z-H)^2}{H^2} - \frac{x^2}{r^2}} - y_0 \right) dx dz. \quad (28)$$

Підставивши експериментальні дані у вищевказані методи, які застосовуються для визначення інтенсивності теплового випромінювання, бачимо, що методи №1, №2 розрахунку теплового випромінювання (рис.3) приводять до заниженої оцінки променевого потоку.

Розглянувши (рис.3) дані запропонованого методу визначення інтенсивності теплового випромінювання, бачимо, що цей метод розрахунку є більш наближеним до експериментальних даних. Таким чином, запропонований нами метод доцільніше використовувати для визначення інтенсивності теплового випромінювання.

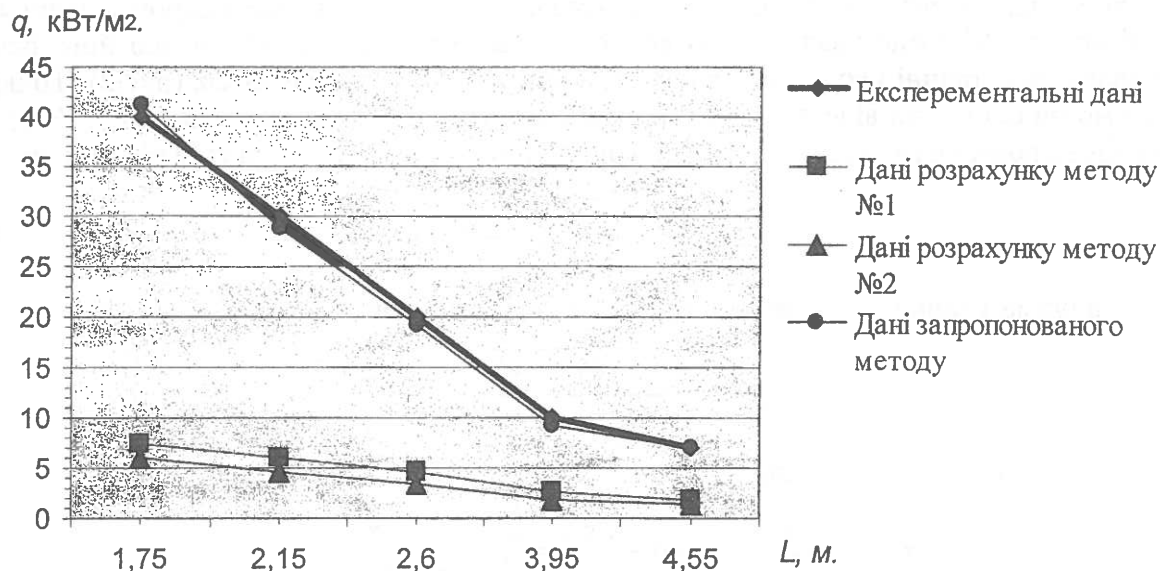


Рис. 3. Значення густини теплового випромінювання в залежності від відстані до джерела випромінювання

Висновки:

1. Тепловий потік, який діє на вертикальну ділянку від джерела випромінювання – конуса спадає із збільшенням відстані до тіла і зростає із збільшенням висоти конуса. При цьому із збільшенням відстані вплив висоти полум'я на значення теплового потоку менш відчутний, ніж безпосередньо поблизу основи конуса.
2. Тепловий потік є слабшим у випадку, коли джерело випромінювання є конусом, сильнішим – коли випромінювання відбувається від вертикально розміщеного прямокутника.
3. Із збільшенням відстані від джерела випромінювання до тіла зменшується величина теплового потоку у випадку кожного з цих джерел, причому для прямокутної форми теплового джерела вона майже лінійна і тому не придатна для розрахунку випромінювання від конусоподібного джерела.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ:

1. Драйздейл Д. Введение в динамику пожаров / Д. Драйздейл. – М. : Стройиздат, 1990.- С. 67-68, 149-150.
2. ГОСТ. Р. 12.3.047-98 ССБТ- Пожарная безопасность технологичных процессов. Общие требования.
3. Вісник Укр НДПБ. Збірник наукових праць. – К. : Укр НДПБ, 2008 №1(17). - С. 91-100.
4. Романенко П. Н. Теплопередача в пожарном деле / П. Н. Романенко. – М., 1969.- С.151.

А.А. Мычко д.т.н., проф., А.Д. Кузык, к.ф.-м. н., доц., А.С. Лын (Львовский государственный университет безопасности жизнедеятельности)

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛООВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ ЗАЩИТНОЙ ОДЕЖДЫ ПОЖАРНИКОВ-СПАСАТЕЛЕЙ

С помощью моделирования проводится оценка теплового излучения, которое действует на вертикальную поверхность от некоторых высокотемпературных источников: конуса и прямоугольника, которые расположены вертикально

Ключевые слова: пламя; математическое моделирование, лучистый поток, интенсивность теплового излучения, высокотемпературные источники

MATHEMATICAL MODELLING OF THERMAL RADIATION FOR PROBATION OF PROTECTIVE CLOTHES OF FIRE MEN

The article deals with the mathematical modeling of thermal radiation. With the help of modeling, the assessment of thermal radiation which influences on vertical surface (cone and right-angled triangle) from high-temperature sources.

Key words: flame, mathematical modeling, radiation stream, intensity of thermal radiation, high-temperature sources

УДК 614.843 (075.32)

Е.М. Гуліда, д.т.н., проф., Д.П. Войтович (Львівський державний університет безпеки життєдіяльності)

ПРОГНОЗУВАННЯ ОБСТАВИН В ЗОНІ ВИНИКНЕННЯ ПОЖЕЖІ В МІСТАХ

Прозглянуто та проаналізовано існуючі методи визначення обставин в зоні виникнення пожежі та запропонована імітаційна модель для прогнозування цих обставин. Перевірка на адекватність імітаційної моделі за критерієм Фішера показала, що модель є адекватною.

Ключові слова: пожежа, час повідомлення, площа пожежі, токсичні гази, температура, водопостачання, евакуація

Сучасний стан проблеми. Для успішного швидкого виконання всіх тактичних заходів, які пов'язані з ліквідацією пожежі, в першу чергу в містах, необхідно знати всі обставини в зоні її виникнення, тобто на об'єкті, з якого поступив виклик на диспетчерський пункт пожежно-рятувальної частини. До основних обставин в зоні виникнення пожежі відносять [1, 2]: 1) об'єкт, на якому виникла пожежа, його характеристика та аеродинамічні чинники; 2) місце виникнення пожежі на об'єкті з характеристикою горючого матеріалу; 3) орієнтовна площа пожежі на час повідомлення; 4) площа пожежі на час початку роботи перших стволів; 5) критичний час тривалості пожежі для людей, які знаходяться на об'єкті в зоні пожежі; 6) кількість людей, яка підлягає евакуації з об'єкта, в тому числі інвалідів та літніх людей; 7) наявність водопостачання на об'єкті; 8) виділення токсичних газів та диму в зоні пожежі; 9) температура в зоні теплової дії, що до її впливу на людину в процесі гасіння пожежі; 10) можливість під'їзду до об'єкта пожежно-рятувальної техніки; 11) можливість перекриття подачі побутового газу та електроенергії.

Розглядаючи питання визначення обставин в зоні виникнення пожежі, які особливо необхідно знати керівнику гасіння пожежі перед виїздом на об'єкт, можна констатувати відсутність і майже неможливість отримання таких даних на сучасному етапі в практиці ліквідації пожеж. Тому ставиться задача розробити методологію прогнозування обставин в зоні виникнення пожежі, якою на сучасному етапі змогли б користуватися без будь-яких ускладнень пожежно-рятувальні підрозділи міста.