

*М.М. Семерак, д-р техн. наук, професор, А.М. Домінік, А.В. Субота
(Львівський державний університет безпеки життєдіяльності)*

ТЕПЛОВІ ПОТОКИ, ЗУМОВЛЕНІ ВИПРОМІНЮВАННЯМ ФАКЕЛА ПОЖЕЖІ

Горіння на пожежах супроводжується виділенням великої кількості тепла, значна частина якого передається до будівель і споруд довкола осередку пожежі. При температурі полум'я понад 600°C нагрів сусідніх будівель зумовлюється в основному випромінюванням. Для запобігання поширенню пожежі необхідно дослідити закони зміни теплоти потоків, що ідуть від пожежі до будівель залежно від температури полум'я, його розмірів, віддалі від осередку пожежі. В роботі, на основі законів теплообміну випромінюванням досліджено залежність величини теплового потоку полум'я від його температури, розмірів і віддалі до найближчих конструкцій.

Ключові слова: пожежа, випромінювання, теплові потоки, температура.

Актуальність теми. Теплообмін між факелом пожежі і навколишніми предметами і спорудами здійснюється завдяки теплопровідності, конвекції і випромінювання. Із збільшенням температури факела, випромінювання збільшується, оскільки зростає його внутрішня енергія. Залежність випромінювання від температури значно більша, ніж теплопровідності і конвекції. При високих температурах (600°C і більше) поширення тепла променевим теплообміном є переважачим порівняно з конвекцією і теплопровідністю. Важливим є дослідження теплового потоку факела в необмеженому об'ємі, тобто при горінні будівель і споруд, відкритих складів горючих речовин, резервуарних парків. В цьому випадку передача тепла в напрямку об'єкта внаслідок випромінювання може спричинити в них пожежу або вибух. Випромінювання факела створює небезпеку також для життя і здоров'я людей, а також утруднює дії пожежних.

Випромінювальні характеристики факела полум'я із заданими температурами залежать від його складу. Структура факела залежить від горючого матеріалу [1]. За агрегатним станом паливо поділяється на тверде, рідке та газоподібне.

Газоподібне паливо з усіх видів палива згоряє найкраще. Воно згоряє при змішуванні його з повітрям. Процес змішування палива з повітрям є необхідною передумовою горіння. Розрізняють дві стадії процесу горіння: загоряння та безпосереднє горіння. Процес загоряння – це період в якому відбувається нагрів палива з поступовим підвищенням його температури. В момент досягнення певної температури газоподібне паливо загоряється і починається процес стійкого горіння.

Горіння газу супроводжується утворенням полум'я, яке світиться (світне полум'я) або полум'я, яке випромінює невидимі спектри світла (несвітне полум'я). В першому випадку в складі факела є трьохатомні продукти горіння (H_2O , CO_2 та ін.) і розжарені частинки сажі, наявність яких зумовлює світіння газу. Чим більша концентрація сажі в полум'ї тим більша випромінювальна здатність факела, яка залежить від випромінювання розжарених часточок сажі. Випромінювання трьохатомних газів має другорядне значення.

Полум'я факела, яке не світиться, складається із суміші трьохатомних продуктів згоряння: азоту і кисню, які утворюються при коефіцієнті надлишку кисню більшому за одиницю. Випромінювальна здатність несвітлого полум'я визначається головним чином, наявністю в ньому CO_2 і водяної пари H_2O .

Горіння рідкого палива відбувається переважно в парогазовому стані, оскільки температура кипіння рідкого палива значно нижча від температури його загорання. При горінні рідких речовин утворюється світне полум'я, яке складається з трьохатомних газів (CO_2 , SO_2 , H_2O , та ін.) і частинок сажі.

Найбільш складну структуру має полум'я, яке утворюється при горінні твердих речовин. В склад факела разом з трьохатомними газами входить зола, розжарені або горючі частинки речовин, а також сажа і продукти розкладу сажі при високих температурах.

Під час пожежі будівель і споруд виділяється велика кількість тепла, значна частина якого передається до навколишніх тіл. Величина теплового потоку залежить від температури полум'я, його форми і площі, віддалі до тіл, що нагріваються, кутових коефіцієнтів випромінювання та ступеня чорноти полум'я і тіл.

Розглянемо декілька випадків взаємного розташування стінки і площі полум'я:

1. Вертикальна стіна розміром axb на яку падає тепловий потік від полум'я прямокутної форми такого ж розміру.

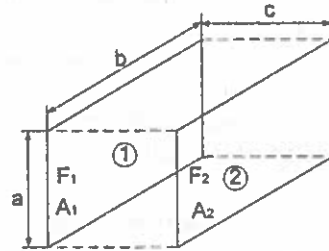


Рис 1. Схема взаємного розташування полум'я пожежі «1» і стіни «2»

Площина полум'я паралельна до стіни, його температура T_1 , а – стіни T_2 . Стіна знаходиться на віддалі c від полум'я. В цьому випадку величина теплового випромінювання, що падає на стіну дорівнює [1-3].

$$q = \varepsilon_{np} \cdot 5,67 \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right] \cdot \varphi_{1-2}, \quad (1)$$

φ_{1-2} – кутовий коефіцієнт випромінювання системи полум'я–стіна. Це частина повної енергії випромінювання, яке іде від поверхні «1» і досягає поверхні «2». Кутовий коефіцієнт є безрозмірною величиною.

ε_{np} – узагальнений ступінь чорноти системи полум'я–стіна, який залежить від ступеня чорноти полум'я ε_1 , стіни ε_2 і їх взаємного розташування.

$$\text{Для плоско паралельних стін } \varepsilon_{np} = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1},$$

$$\varphi_{1-2} = \frac{1}{\pi \cdot X \cdot Y} \left\{ \ln \left(\frac{(1+X^2)(1+Y^2)}{1+X^2+Y^2} \right)^{\frac{1}{2}} + X\sqrt{1+Y^2} \arctg \left(\frac{X}{\sqrt{1+Y^2}} \right) + \right. \\ \left. + Y\sqrt{1+X^2} \arctg \left(\frac{Y}{\sqrt{1+X^2}} \right) - X \cdot \arctg X - Y \cdot \arctg Y \right\}, \quad (2)$$

$$\text{де } X = \frac{a}{c}, Y = \frac{b}{c}.$$

За формулою (2) проведені розрахунки кутового коефіцієнта випромінювання при $a = 3$ м, $b = 4$ м. Результати розрахунків зображені графічно на рис. 2.

При відомих значеннях кутового коефіцієнта і узагальненого ступеня чорноти системи полум'я–стіна за формулою (1) і (2) проведемо розрахунки величини теплового потоку залежно від віддалі між полум'ям і стінкою, а також від температури та площі полум'я.

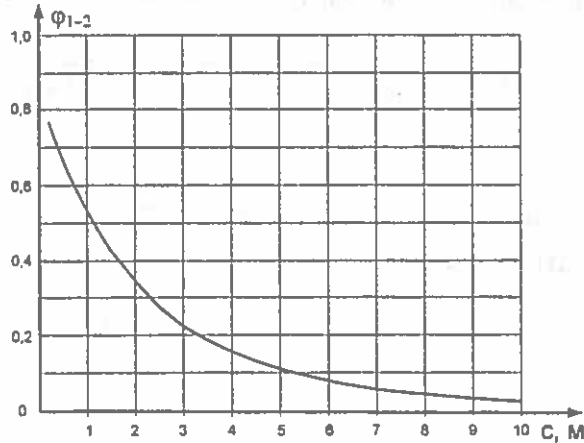


Рис 2. Зміна величини кутового коефіцієнта випромінювання системи полум'я – стінка в залежності від віддалі між стіною і факелом пожежі

Результати розрахунків при $T_1 = 1300\text{K}$, $T_2 = 350\text{K}$, $\varepsilon_1 = 0,9$, $\varepsilon_2 = 0,85$ зображені графічно на рис. 3.

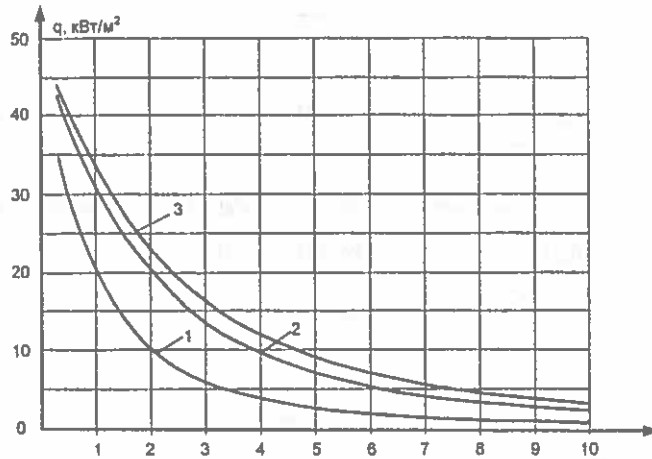


Рис 3. Зміна величини теплового потоку залежно від віддалі між стіною і факелом пожежі: 1) – $a = 2\text{ м}$ $b = 1,8\text{ м}$; 2) – $a = 3\text{ м}$ $b = 4\text{ м}$; 3) – $a = 3\text{ м}$ $b = 6\text{ м}$

Аналіз графіків показує, що в усіх випадках (1-3) величина теплового потоку різко зменшується із збільшенням віддалі між стіною і полум'ям. При збільшенні площі полум'я тепловий потік також збільшується.

2. Площина полум'я факела паралельна до прямокутної стінки. Причому нормаль від центра полум'я проходить через кут прямокутника.

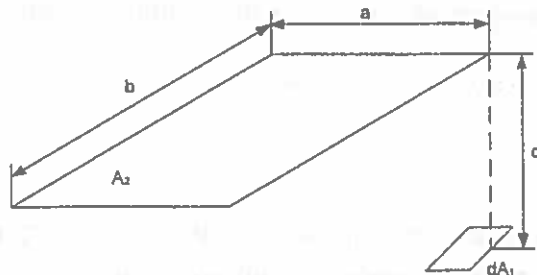


Рис. 4. Схема взаємного розташування полум'я пожежі «1» і стіни «2»

Кутовий коефіцієнт випромінювання розглядуваної системи в цьому випадку дорівнює:

$$\varphi_{1-2} = \frac{1}{2 \cdot \pi} \left\{ \frac{X}{\sqrt{1+X^2}} \operatorname{arctg} \frac{Y}{\sqrt{1+X^2}} + \frac{Y}{\sqrt{1+Y^2}} \operatorname{arctg} \frac{X}{\sqrt{1+Y^2}} \right\}, \quad (3)$$

де $X = \frac{a}{c}$, $Y = \frac{b}{c}$.

За формулою (3) проведено розрахунок величини φ_{1-2} при $a = 3$ м $b = 4$ м залежно від зміни значення c . Результати розрахунків зображені графічно на рис. 5.

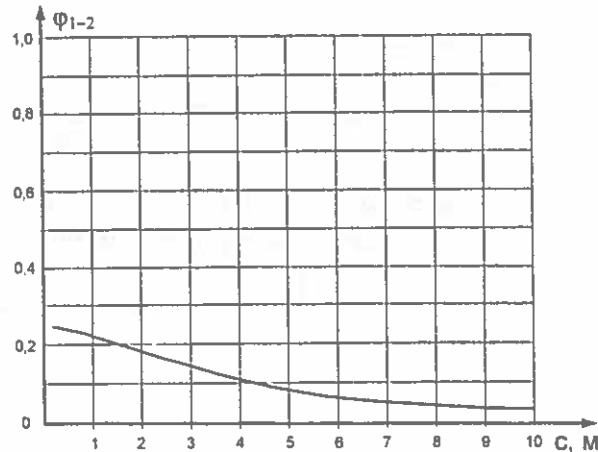


Рис. 5. Зміна величини кутового коефіцієнта випромінювання в залежності від віддалі між стінкою і факелом пожежі

3. Елементарна смуга dA_1 і прямокутник, площа якого паралельна до площини смуги. Смуга розміщена вздовж однієї із сторін прямокутника.

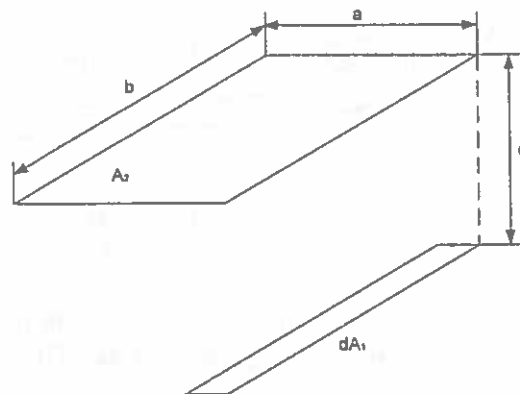


Рис. 6. Схема взаємного розміщення полум'я пожежі «1» і стінки «2»

Кутовий коефіцієнт випромінювання розглядуваної системи в цьому випадку дорівнює:

$$\varphi_{1-2} = \frac{1}{\pi \cdot Y} \left\{ \sqrt{1+Y^2} \operatorname{arctg} \frac{X}{\sqrt{1+Y^2}} - \operatorname{arctg} X + \frac{XY}{\sqrt{1+X^2}} \operatorname{arctg} \frac{Y}{\sqrt{1+X^2}} \right\}, \quad (4)$$

де $X = \frac{a}{c}$, $Y = \frac{b}{c}$.

За формулою (4) проведено розрахунок величини φ_{1-2} при $a = 3$ м $b = 4$ м залежно від зміни значення c . Результати зображені графічно на рис. 7.

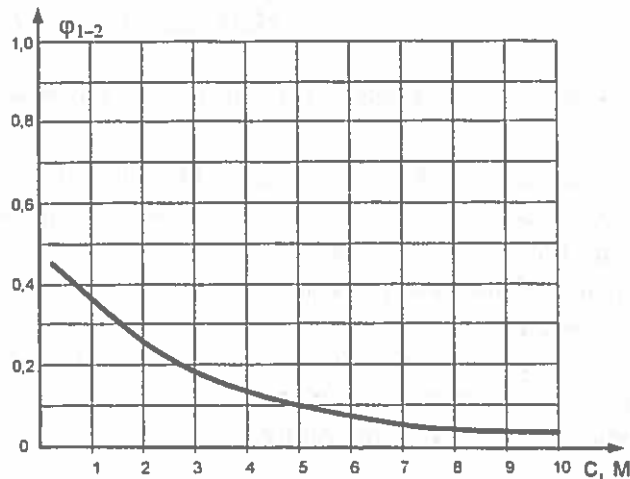


Рис. 7. Зміна величини кутового коефіцієнта випромінювання залежно від віддалі між стіною і факелом пожежі

Із аналізу одержаних результатів можна зробити висновки.

Висновки

1. Знаючи площу і температуру факела пожежі можна знайти кутовий коефіцієнт випромінювання системи стіна-полум'я і визначити величину теплового потоку залежно від віддалі між полум'ям і стінкою.

2. Знаючи величину теплового потоку, що діє на стіну, можна знайти температурне поле залежно від часу і товщини стіни, розв'язавши відповідне рівняння теплопровідності [4].

Список літератури:

1. Романенко П.Н. Теплопередача в пожарном деле. /Романенко П.Н., Бубырь Н.Ф., Башкирцев М.П. М.: ВШ МВД СССР, 1969. – 425с.
2. Крейт Ф., Блэк У. Основы теплопередачи. – М.: Мир, 1983. – 512с.
3. Блох А.Г. Основы теплообмена излучением Госэнегоиздат, 1962.
4. Лыков А.В. Теория теплопроводности. М.: Высшая школа, 1967. – 600с.

М.М. Семерак, А.М. Доминик, А.В. Субота

ТЕПЛОВЫЕ ПОТОКИ, ОБУСЛОВЛЕННЫЕ ИЗЛУЧЕНИЕМ ФАКЕЛА ПОЖАРА

Горения на пожарах сопровождается выделением большого количества тепла, значительная часть которого передается в здания и сооружения, окружающие очаг пожара. При температуре пламени более 600 °С нагрев соседних зданий обуславливается в основном излучением. Для предотвращения распространения пожара необходимо исследовать законы изменения теплоты потоков, идущих от пожара к зданиям в зависимости от температуры пламени, его размеров, расстояния от очага пожара к окружающим телам. В работе, на основе законов теплообмена излучением, исследована зависимость величины теплового потока пламени от его температуры, размеров и расстояния до ближайших конструкций.

Ключевые слова: пожар, излучение, тепловые потоки, температура.

THERMAL FLOWS CAUSED BY FIRE FAKEL WAVES

Burning of fire accompanied by a large amount of heat, much of which is transferred to buildings and structures that surround the cell fires. When the flame temperature over 600 ° C heating of adjacent buildings are mainly caused by radiation. To prevent the spread of fire is necessary to study the law of change of heat flows that go from fire to buildings, depending on the temperature of the flame, its size, distance from the center of the fire to surrounding bodies. In this paper, based on the laws of radiation heat transfer was studied dependence of the heat flux from the flame its temperature, size and distance to the nearest structures.

Key words: fire, radiation, heat flow, temperature.

