УДК 536.3

Семерак М.М. д.т.н., професор, Домінік А.М., Субота А.В. (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, які оточують осередок пожежі. При температурі полум'я понад 600°С нагрів сусідніх будівель зумовлюється в основному випромінюванням. Для запобігання поширення пожежі необхідно дослідити закони зміни теплоти потоків, що ідуть від пожежі до будівель в залежності від температури полум'я, його розмірів, віддалі від осередку пожежі до оточуючих тіл. 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 теплопровідністю, конвекцією і випромінюванням. Із збільшенням температури факела, випромінювання збільшується, оскільки зростає його внутрішня енергія. Залежність випромінювання від температури значно більша, ніж теплопровідності і конвенції. При високих температурах (600°С і більше) поширення тепла променевим теплообміном є переважаючим в порівнянні з конвекцією і теплопровідністю. Важливим є дослідження теплового потоку факелу в необмеженому об'ємі, тобто при горінні будівель і споруд, відкритих складів горючих речовин, резервуарних парків. В цьому випадку передача тепла в напрямку об'єкту внаслідок випромінювання може спричинити в них пожежу або вибух. Випромінювання факелу створює небезпеку також для життя і здоров'я людей, а також утруднює дії пожежних.

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

Газоподібне паливо найкраще згоряє з усіх видів палива. 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 факелу 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 частин сажі. Випромінювання трьохатомних газів має другорядне значення.

Полум'я факелу, яке не світиться, складається із суміші трьохатомних продуктів згоряння: азоту і кисню, які утворюються при коефіцієнті надлишку кисню більшого одиниці. Випромінювальна здатність несвітного 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 факелу разом з трьохатомними газами входять зола, розжарені або горючі частинки речовин, а також сажа і продукти розкладу сажі при високих температурах.

При 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 степені чорноти полум'я і тіл.

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

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

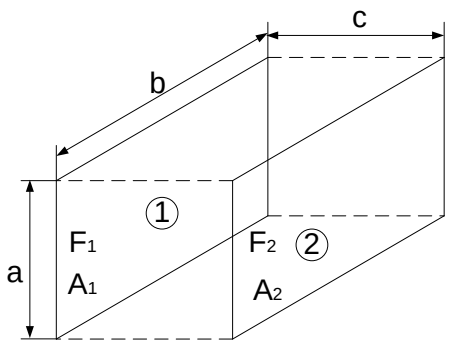

Рис 1. Схема взаємного розташування полум'я пожежі «1» і стінки «2»

Площина полум'я паралельна стінці, його температура T_1, а – стінки T_2. Стінка знаходиться на віддалі с від полум'я. В цьому випадку величина теплового випромінювання, що падає на стінку рівна [1-3].

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

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

$\varepsilon_{пр}$ - узагальнений ступінь чорноти системи полум'я – стінка, який залежить від ступеня чорноти полум'я ε_1, стінки ε_2 і їх взаємного розташування.

Для плоско паралельних стінок $\varepsilon_{пр} = \dfrac{1}{\dfrac{1}{\varepsilon_1} + \dfrac{1}{\varepsilon_2} - 1}$,

$$\varphi_{1-2} = \frac{1}{\pi \cdot X \cdot Y} \left\{ \begin{array}{l} \ln \left(\dfrac{(1+X^2)(1+Y^2)}{1+X^2+Y^2} \right)^{\frac{1}{2}} + X\sqrt{1+Y^2}\, arctg \left(\dfrac{X}{\sqrt{1+Y^2}} \right) + \\ +Y\sqrt{1+X^2}\, arctg \left(\dfrac{Y}{\sqrt{1+X^2}} \right) - X \cdot arctgX - Y \cdot arctgY \end{array} \right\}, \qquad (2)$$

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

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

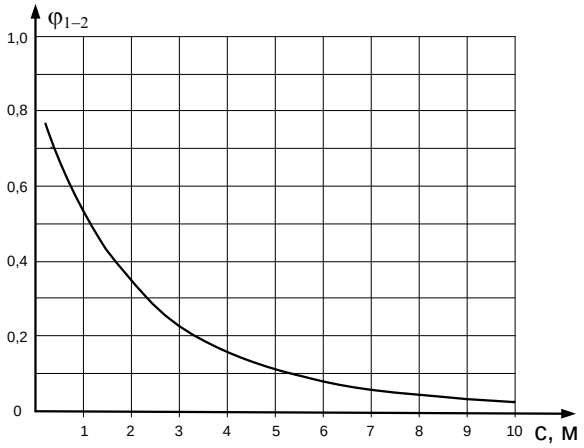

Рис 2. Зміна величини кутового коефіцієнта випромінювання системи полум'я – стінка в залежності від віддалі між стінкою і факелом пожежі.

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

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

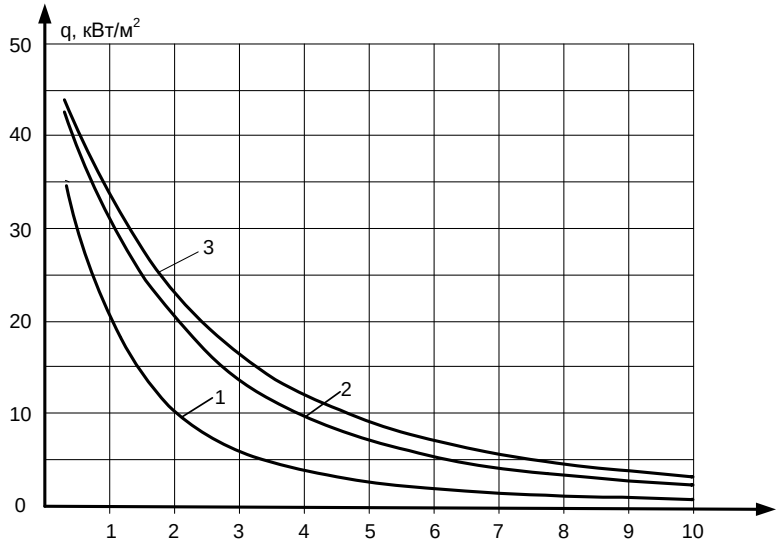

Рис 3 Зміна величини теплового потоку в залежності від віддалі між стінкою і факелом пожежі:

1 - $a = 2$ м $b = 1,8$ м; 2 - $a = 3$ м $b = 4$ м; 3 - $a = 3$ м $b = 6$ м.

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

2. Площина полум'я факелу паралельна прямокутній стінці. Причому нормаль від центру полум'я проходить через кут прямокутника.

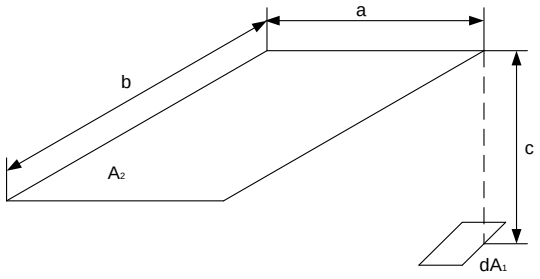

Рис. 4. Схема взаємного розташування полум'я пожежі «1» і стінки «2»

Кутовий коефіцієнт випромінювання розглядуваної системи в цьому випадку рівний:

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

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 в залежності від зміни значення *c*. Результати розрахунків зображені графічно на рис. 5.

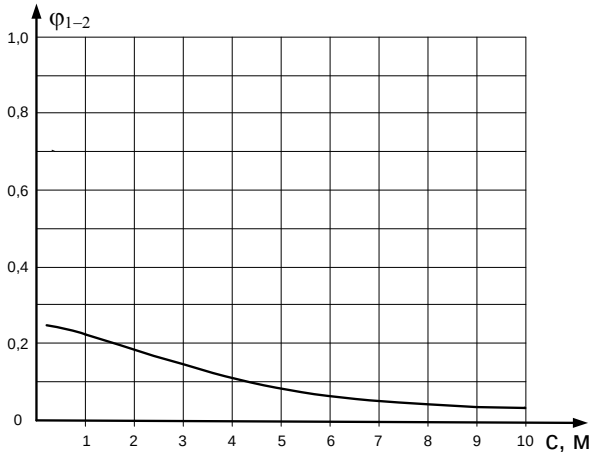

Рис. 5. Зміна величини кутового коефіцієнта випромінювання в залежності від віддалі між стінкою і факелом пожежі.

3. Елементарна смуга dA_1 і прямокутник, площина якого паралельна площині смуги. Смуга розміщена вздовж однієї із сторін прямокутника.

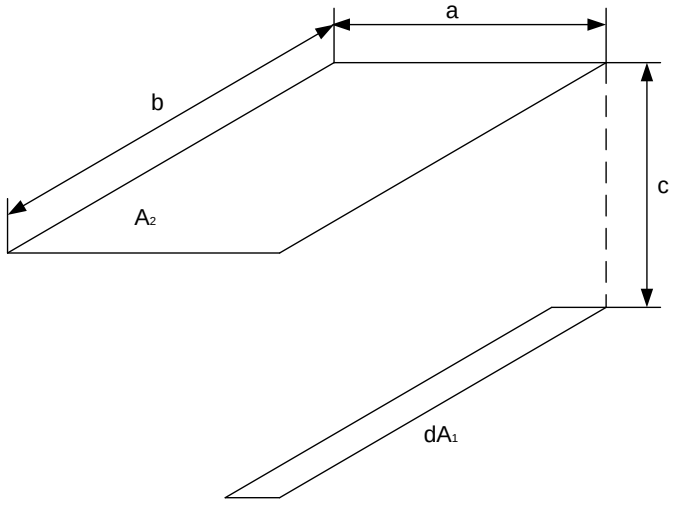

Рис. 6. Схема взаємного розміщення полум'я пожежі «1» і стінки «2»

Кутовий коефіцієнт випромінювання розглядуваної системи в цьому випадку рівний:

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

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 в залежності від зміни значення *c*. Результати зображені графічно на рис. 7.

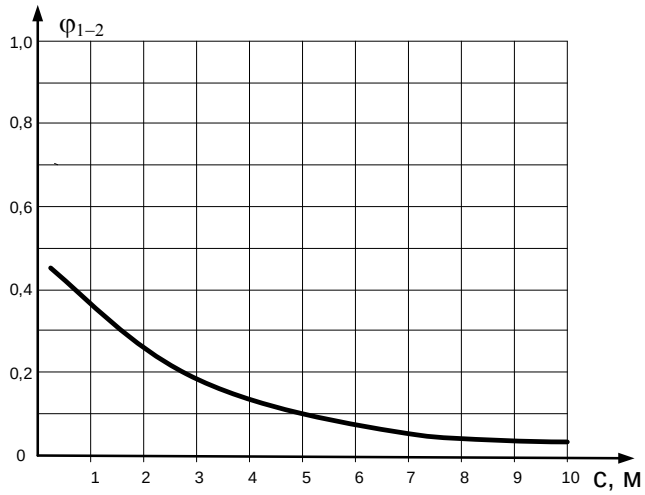

Рис. 7. Зміна величини кутового коефіцієнта випромінювання в залежності від віддалі між стінкою і факелом пожежі

Із аналізу одержаних результатів можна зробити висновки.

Висновки. 1. Знаючи площу і температуру факелу пожежі можна знайти кутовий коефіцієнт випромінювання системи стінка - полум'я і визначити величину теплового потоку в залежності від віддалі між полум'ям і стінкою.

2. При відомому тепловому потоці, що діє на стінку можна знайти температурне поле в залежності від часу і товщини стінки розв'язавши відповідне рівняння теплопровідності [4].

Література

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. Основи теплопередачи. – М.: Мир, 1983.- 512с.

3. Блох А.Г. Основы теплообмена излучением Госэнегоиздат, 1962.

4. Лыков А.В. Теория тепропроводности. М.: Высшая школа, 1967. – 600с.

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

ТЕПЛОВЫЕ ПОТОКИ, ОБУСЛОВЛЕННЫЕ ИЗЛУЧЕНИЯ ФАКЕЛ ПОЖАРА

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

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 обусловливается в основном излучением. Для предотвращения распространения пожара необходимо исследовать законы изменения теплоты потоков, идущих от пожара в здания в зависимости от температуры пламени, его размеров, расстояния от очага пожара к окружающим тел. В работе, на основе законов теплообмена излучением исследована зависимость величины теплового потока пламени от его температуры, размеров и расстояния до ближайших конструкций.

M.M. Semerak, A.M. Dominik, A.B. Subota

THERMAL FLOWS CAUSED WAVES FAKEL FIRE

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

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.