

ОЦІНЮВАННЯ ІНТЕНСИВНОСТІ ТЕПЛООВОГО ПОТОКУ ВІД ПОВЕРХНІ ПОЛУМ'Я

Тепловий потік від поверхні полум'я за законами теплового випромінювання поширюється в просторі, нагріваючи розташовані поруч предмети та людей. Від величини інтенсивності теплового потоку залежать заходи із захисту пожежника: вид захисного одягу, час перебування поблизу осередку пожежі та ін. Тому актуальним завданням є оцінювання цього показника для різних випадків взаємного розміщення поверхні полум'я та поверхні опромінення. У роботі отримано аналітичну залежність інтенсивності теплового потоку від поверхні полум'я у формі прямокутника на поверхню від відстані, висоти і розмірів полум'я.

Ключові слова: теплове випромінювання, полум'я, захист пожежника

А.Д. Кузык, О.М. Трусевич, Т.М. Сало

ОЦЕНКА ИНТЕНСИВНОСТИ ТЕПЛООВОГО ПОТОКА ОТ ПОВЕРХНОСТИ ПЛАМЕНИ

Тепловой поток от поверхности пламени по законам теплового излучения распространяется в пространстве, нагревая расположенные рядом предметы и людей. От величины интенсивности теплового потока зависят меры по защите пожарного: вид защитной одежды, время пребывания вблизи очага пожара и др. Поэтому актуальной задачей является оценка этого показателя для различных случаев взаимного расположения поверхности пламени и поверхности облучения. В работе получена аналитическая зависимость интенсивности теплового потока от поверхности пламени в форме прямоугольника на поверхность от расстояния, высоты и размеров пламени.

Ключевые слова: тепловое излучение, пламя, защита пожарного

А.Д. Кузык, О.М. Trusevych, Т.М. Salo

EVALUATION OF HEAT FLUX FROM THE FLAME SURFACE

The heat flux from the surface of the flame under the laws of thermal radiation is distributed in space and heating nearby objects and people. On the intensity of heat flow depends on precautions to protect firefighters: type of protective clothing, stay near the hearth fire and others. Therefore, an important task is to evaluate this value for different cases of flame surface and exposure surface mutual accommodation. We obtain analytical dependence of the intensity of the heat flux from the surface of the flame in the shape of a rectangle to the surface from a distance, height and flame size.

Keywords: thermal radiation, flames, firefighter protection

Постановка задачі. Життя людини, його збереження та максимальне убезпечення його від різноманітних життєвих небезпек та негараздів є основним завданням кожної держави, що поважає та дбає про своїх громадян. Рятувальник належить до таких професій, представники якої в силу своїх службових обов'язків змушені ризикувати життям і здоров'ям. Статистичні дані свідчать про потребу підвищити рівень безпеки для такої категорії фахівців. Під час виконання службових завдань працівники пожежно-рятувальних служб найбільше зазнають термічних уражень. Як забезпечити належний захист для такої категорії людей, що контактують з вогнем мало не щодня через свою професію? Це і підвищення термостійкості захисного одягу пожежників, розробка різноманітних приладів, що дають змогу визначати безпечну відстань від пожежника до осередку вогню. А це досягається визначенням теплового випромінювання для встановлення безпечної відстані для пожежника.

Теоретичні основи теплового випромінювання описані в [1]. Випромінюванню від поверхонь полум'я пожежі присвячено окремий розділ в [2]. В [3] проаналізовано методи визначення інтенсивності теплового випромінювання під час пожежі та його дію на пожежника. Зазвичай визначення теплового випромінювання моделюється таким чином: випромінювання діє на вертикальну поверхню, а джерело має форму конуса. При цьому інтенсивність теплового потоку залежить від геометричних параметрів джерела та відстані до нього. Для отримання максимальної інтенсивності теплового випромінювання полум'я вважали не у формі конуса, а у формі пластини, яка має форму прямокутника чи трапеції.

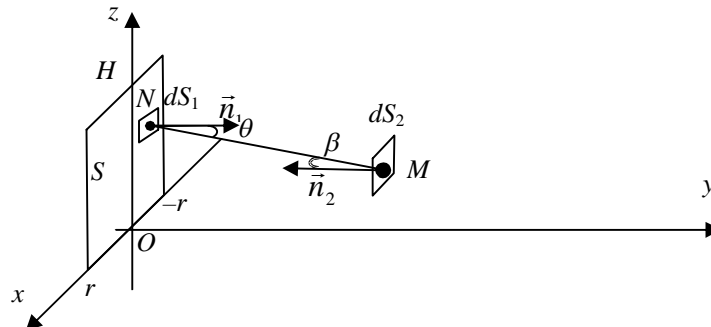


Рисунок 1 – Випромінювання з вертикальної поверхні на вертикальну елементарну поверхню [3]

Інтенсивність теплового потоку визначали з вертикальної поверхні полум'я висотою H , м та шириною $2r$, м на вертикальну елементарну поверхню dS_2 (рис. 1). Елементарна поверхня $dS_1 = dx dz$ розташована на поверхні полум'я на висоті z , м, від горизонтальної поверхні та випромінює тепловий потік на поверхню dS_2 на висоті h , м. Інтенсивність теплового потоку з поверхні полум'я q описується подвійним інтегралом:

$$q = \int_0^H \int_{-r}^r \frac{\varepsilon \sigma T^4}{\pi} \cdot \frac{y_0^2}{(x^2 + y_0^2 + (z-h)^2)^2} dx dz, \quad (1)$$

де $N(x, 0, z)$ – точка поверхні полум'я, $M(0, y_0, h)$ – точка, в якій розташована поверхня dS_2 , T – температура поверхні полум'я, ε – відносна випромінювальна здатність (для поверхонь полум'я $\varepsilon=0,95$), $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}$ Вт/(м² К⁴) – стала Стефана-Больцмана.

Метою роботи є знаходження аналітичним методом інтенсивності теплового потоку залежно від відстані, висоти і розмірів полум'я шляхом обчислення інтегралу (1).

Виклад основного матеріалу. Подвійний інтеграл (1) залежний від параметрів y_0 і h . Інтегруємо його зведенням до повторних та використовуючи заміну:

$$\begin{aligned} q &= \int_0^H \int_{-r}^r \frac{\varepsilon \sigma T^4}{\pi} \cdot \frac{y_0^2}{(x^2 + y_0^2 + (z-h)^2)^2} dx dz = \frac{\varepsilon \sigma y_0^2 T^4}{\pi} \int_0^H \int_{-r}^r \frac{dx dz}{(x^2 + y_0^2 + (z-h)^2)^2} = \\ &= \frac{\varepsilon \sigma y_0^2 T^4}{\pi} \int_{-r}^r dx \int_0^H \frac{d(z-h)}{(x^2 + y_0^2 + (z-h)^2)^2} = \left| \frac{du = dz}{du = dz} \right| = \frac{\varepsilon \sigma y_0^2 T^4}{\pi} \int_{-r}^r dx \int_{-h}^{H-h} \frac{du}{(x^2 + y_0^2 + u^2)^2}. \quad (2) \end{aligned}$$

Перепишемо (2) у вигляді

$$\begin{aligned} &\frac{\varepsilon \sigma y_0^2 T^4}{\pi} \int_{-r}^r dx \int_{-h}^{H-h} \frac{du}{(x^2 + y_0^2 + u^2)^2} = \left| A = x^2 + y_0^2 \right| = \\ &= \frac{\varepsilon \sigma y_0^2 T^4}{\pi} \int_{-r}^r dx \int_{-h}^{H-h} \frac{du}{(A + u^2)^2} = \frac{\varepsilon \sigma y_0^2 T^4}{\pi} \int_{-r}^r \frac{dx}{A} \left(\int_{-h}^{H-h} \frac{du}{A + u^2} - \frac{1}{2} \int_{-h}^{H-h} \frac{ud}{(A + u^2)^2} \right). \end{aligned}$$

В останньому виразі перший інтеграл є табличний, а до другого застосуємо рекурентну формулу. Зробивши зворотню заміну, остаточно маємо:

$$\begin{aligned}
q &= \frac{\varepsilon\sigma y_0^2 T^4}{\pi} \int_{-r}^r \frac{dx}{A} \left(\int_{-h}^{H-h} \frac{du}{A+u^2} - \frac{1}{2} \int_{-h}^{H-h} \frac{ud(A+u^2)}{(A+u^2)^2} \right) = \\
&= \frac{\varepsilon\sigma y_0^2 T^4}{2\pi} \left(\int_{-r}^r \frac{\operatorname{arctg} \frac{H-h}{\sqrt{x^2+y_0^2}}}{\sqrt{(x^2+y_0^2)^3}} dx + \int_{-r}^r \frac{\operatorname{arctg} \frac{h}{\sqrt{x^2+y_0^2}}}{\sqrt{(x^2+y_0^2)^3}} dx + \right. \\
&\quad \left. + (H-h) \int_{-r}^r \frac{dx}{(x^2+y_0^2)(x^2+y_0^2+(H-h)^2)} + h \int_{-r}^r \frac{dx}{(x^2+y_0^2)(x^2+y_0^2+h^2)} \right). \tag{3}
\end{aligned}$$

В результаті отримуємо чотири інтеграли:

$$\begin{aligned}
I_1^* &= \int_{-r}^r \frac{\operatorname{arctg} \frac{H-h}{\sqrt{x^2+y_0^2}}}{\sqrt{(x^2+y_0^2)^3}} dx, \quad I_2^* = \int_{-r}^r \frac{\operatorname{arctg} \frac{h}{\sqrt{x^2+y_0^2}}}{\sqrt{(x^2+y_0^2)^3}} dx, \\
I_3^* &= \int_{-r}^r \frac{dx}{(x^2+y_0^2)(x^2+y_0^2+(H-h)^2)}, \quad I_4^* = \int_{-r}^r \frac{dx}{(x^2+y_0^2)(x^2+y_0^2+h^2)}.
\end{aligned}$$

Знайдемо окремо первісні для кожного інтегралу. Для першого інтегралу первісна

$$\begin{aligned}
I_1 &= \int \frac{\operatorname{arctg} \frac{H-h}{\sqrt{x^2+y_0^2}}}{\sqrt{(x^2+y_0^2)^3}} dx = \frac{-1}{H-h} \int \frac{\operatorname{arctg} \frac{H-h}{\sqrt{x^2+y_0^2}}}{x} d \frac{H-h}{\sqrt{x^2+y_0^2}} = \left| t = \frac{H-h}{\sqrt{x^2+y_0^2}} \right| = \\
&= \frac{-1}{H-h} \int \frac{\operatorname{arctg} t}{\sqrt{\frac{(H-h)^2}{t^2} - y_0^2}} dt = \frac{1}{y_0^2(H-h)} \int \operatorname{arctg} t d \sqrt{(H-h)^2 - t^2 y_0^2}.
\end{aligned}$$

Застосувавши метод інтегрування частинами, отримуємо:

$$\begin{aligned}
\frac{1}{y_0^2(H-h)} \int \operatorname{arctg} t d \sqrt{(H-h)^2 - t^2 y_0^2} &= \frac{1}{y_0^2(H-h)} \left(\sqrt{(H-h)^2 - t^2 y_0^2} \operatorname{arctg} t - \int \frac{\sqrt{(H-h)^2 - t^2 y_0^2}}{1+t^2} dt \right) = \\
&= \frac{1}{y_0^2(H-h)} \left(\sqrt{(H-h)^2 - t^2 y_0^2} \operatorname{arctg} t - y_0 \int \frac{\sqrt{\frac{(H-h)^2}{y_0^2} - t^2}}{1+t^2} dt \right).
\end{aligned}$$

Ввівши наступну нову заміну, одержимо:

$$\frac{1}{y_0^2(H-h)} \left(\sqrt{(H-h)^2 - t^2 y_0^2} \operatorname{arctg} t - y_0 \int \frac{\sqrt{\frac{(H-h)^2}{y_0^2} - t^2}}{1+t^2} dt \right) = \left| \begin{array}{l} t = \frac{H-h}{y_0} \sin w \\ dt = \frac{H-h}{y_0} \cos w dw \end{array} \right| =$$

$$= \frac{1}{y_0^2(H-h)} \left(\sqrt{(H-h)^2 - t^2 y_0^2} \operatorname{arctg} t - y_0 \int \frac{\frac{H-h}{y_0} \sqrt{1-\sin^2 w}}{1 + \left(\frac{H-h}{y_0}\right)^2 \sin^2 w} \frac{H-h}{y_0} \cos w dw \right).$$

Після деяких перетворень та наступної заміни змінних, маємо:

$$\frac{1}{y_0^2(H-h)} \left(\sqrt{(H-h)^2 - t^2 y_0^2} \operatorname{arctg} t - y_0 \int \frac{\frac{H-h}{y_0} \sqrt{1-\sin^2 w}}{1 + \left(\frac{H-h}{y_0}\right)^2 \sin^2 w} \frac{H-h}{y_0} \cos w dw \right) =$$

$$= \frac{1}{y_0^2(H-h)} \left(\sqrt{(H-h)^2 - t^2 y_0^2} \operatorname{arctg} t - \frac{y_0(H-h)^2}{4} \int \frac{1 + \cos 2w}{y_0^2 + \frac{(H-h)^2}{2}(1 - \cos 2w)} d2w \right) =$$

$$= \left| \begin{array}{l} 2w = \operatorname{tg} \frac{p}{2} \\ d(2w) = \frac{2dp}{1+p^2} \end{array} \right| = \frac{1}{y_0^2(H-h)} \left(\sqrt{(H-h)^2 - t^2 y_0^2} \operatorname{arctg} t - \right.$$

$$\left. - \frac{y_0(H-h)^2}{4} \int \frac{1 + \frac{1-p^2}{1+p^2}}{y_0^2 + \frac{(H-h)^2}{2} \left(1 - \frac{1-p^2}{1+p^2}\right)} \frac{2dp}{1+p^2} = \right.$$

$$\left. = \frac{1}{y_0^2(H-h)} \left(\sqrt{(H-h)^2 - t^2 y_0^2} \operatorname{arctg} t - y_0(H-h)^2 \int \frac{dp}{(1+p^2)(p^2(y_0^2 + (H-h)^2) + y_0^2)} \right).$$

Останній інтеграл є інтегралом від дробово-раціональної функції, який знайдемо методом невизначених коефіцієнтів:

$$\frac{1}{(1+p^2)(p^2(y_0^2 + (H-h)^2) + y_0^2)} = \frac{Ap+B}{1+p^2} + \frac{Cp+D}{p^2(y_0^2 + (H-h)^2) + y_0^2},$$

$$1 = (Ap+B)(p^2(y_0^2 + (H-h)^2) + y_0^2) + (Cp+D)(1+p^2),$$

$$1 = p^3(A(y_0^2 + (H-h)^2) + C) + p^2(B(y_0^2 + (H-h)^2) + D) + p(Ay_0^2 + C) + By_0^2 + D,$$

$$p^3 : A(y_0^2 + (H-h)^2) + C = 0,$$

$$p^2 : B(y_0^2 + (H-h)^2) + D = 0,$$

$$p : Ay_0^2 + C = 0,$$

$$p^0 : By_0^2 + D = 1.$$

Розв'язавши систему з чотирьох рівнянь з чотирма невідомими, знайдемо невідомі коефіцієнти: $A = C = 0, B = \frac{-1}{(H-h)^2}, D = 1 + \frac{y_0^2}{(H-h)^2}$. Отримуємо:

$$\int \frac{dp}{(1+p^2)(p^2(y_0^2 + (H-h)^2) + y_0^2)} = \frac{-1}{(H-h)^2} \int \frac{dp}{1+p^2} + \frac{(H-h)^2 + y_0^2}{(H-h)^2} \int \frac{dp}{p^2(y_0^2 + (H-h)^2) + y_0^2} =$$

$$= \frac{-1}{(H-h)^2} \operatorname{arctg} p + \frac{\sqrt{y_0^2 + (H-h)^2}}{y_0(H-h)^2} \operatorname{arctg} \frac{p\sqrt{y_0^2 + (H-h)^2}}{y_0}.$$

Підставивши отриманий результат в I_1 , одержимо:

$$I_1 = \frac{1}{y_0^2(H-h)} \left(\sqrt{(H-h)^2 - t^2 y_0^2} \operatorname{arctg} t - y_0(H-h)^2 \int \frac{dp}{(1+p^2)(p^2(y_0^2 + (H-h)^2) + y_0^2)} \right) =$$

$$= \frac{\sqrt{(H-h)^2 - t^2 y_0^2}}{y_0^2(H-h)} \operatorname{arctg} t + \frac{1}{y_0(H-h)} \operatorname{arctg} p - \frac{\sqrt{y_0^2 + (H-h)^2}}{y_0^2(H-h)} \operatorname{arctg} \frac{p\sqrt{y_0^2 + (H-h)^2}}{y_0}.$$

Аналогічно до інтегралу I_1 знайдемо первісну I_2 для I_2^* , враховуючи, що при відповідних замінах замість $H-h$ братимемо h . Тоді остаточно матимемо:

$$I_2 = \int \frac{\operatorname{arctg} \frac{h}{\sqrt{x^2 + y_0^2}}}{\sqrt{(x^2 + y_0^2)^3}} dx = \frac{\sqrt{h^2 - t^2 y_0^2}}{y_0^2 h} \operatorname{arctg} t + \frac{1}{y_0 h} \operatorname{arctg} p - \frac{\sqrt{y_0^2 + h^2}}{y_0^2 h} \operatorname{arctg} \frac{p\sqrt{y_0^2 + h^2}}{y_0}.$$

Знайдемо інтеграл $I_3 = \int \frac{dx}{(x^2 + y_0^2)(x^2 + y_0^2 + (H-h)^2)}$, який є інтегралом від дробово-раціональної функції, методом невизначених коефіцієнтів:

$$\frac{1}{(y_0^2 + x^2)(x^2 + y_0^2 + (H-h)^2)} = \frac{Ax + B}{y_0^2 + x^2} + \frac{Cx + D}{x^2 + y_0^2 + (H-h)^2},$$

$$1 = (Ax + B)(x^2 + y_0^2 + (H-h)^2) + (Cx + D)(y_0^2 + x^2),$$

$$x^3 : A + C = 0,$$

$$x^2 : B + D = 0,$$

$$x : A(y_0^2 + (H-h)^2) + Cy_0^2 = 0,$$

$$x^0 : B(y_0^2 + (H-h)^2) + Dy_0^2 = 1.$$

Розв'язавши систему рівнянь, знайдемо коефіцієнти:
 $A = C = 0, B = \frac{1}{(H-h)^2}, D = \frac{-1}{(H-h)^2}$. Тоді

$$I_3 = \int \frac{dx}{(x^2 + y_0^2)(x^2 + y_0^2 + (H-h)^2)} = \frac{1}{y_0(H-h)^2} \operatorname{arctg} \frac{x}{y_0} -$$

$$- \frac{1}{(H-h)^2 \sqrt{y_0^2 + (H-h)^2}} \operatorname{arctg} \frac{x}{\sqrt{y_0^2 + (H-h)^2}}.$$

Аналогічно до знаходження I_3 знайдемо інтеграл I_4 :

$$I_4 = \int \frac{dx}{(x^2 + y_0^2)(x^2 + y_0^2 + h^2)} = \frac{1}{y_0 h^2} \operatorname{arctg} \frac{x}{y_0} - \frac{1}{h^2 \sqrt{y_0^2 + h^2}} \operatorname{arctg} \frac{x}{\sqrt{y_0^2 + h^2}}.$$

Використавши в (3) формулу Ньютона-Лейбніца та значення первісних I_1, \dots, I_4 , маємо:

$$\begin{aligned}
 q &= \frac{\varepsilon \sigma y_0^2 T^4}{2\pi} \left(\int_{-r}^r \frac{\operatorname{arctg} \frac{H-h}{\sqrt{x^2+y_0^2}}}{\sqrt{(x^2+y_0^2)^3}} dx + \int_{-r}^r \frac{\operatorname{arctg} \frac{h}{\sqrt{x^2+y_0^2}}}{\sqrt{(x^2+y_0^2)^3}} dx + \right. \\
 &+ (H-h) \int_{-r}^r \frac{dx}{(x^2+y_0^2)(x^2+y_0^2+(H-h)^2)} + h \int_{-r}^r \frac{dx}{(x^2+y_0^2)(x^2+y_0^2+h^2)} \left. \right) = \\
 &= \frac{\varepsilon \sigma y_0^2 T^4}{2\pi} \left(\frac{\sqrt{(H-h)^2-t^2 y_0^2}}{y_0^2(H-h)} \operatorname{arctg} t + \frac{1}{y_0(H-h)} \operatorname{arctg} p - \right. \\
 &- \frac{\sqrt{y_0^2+(H-h)^2}}{y_0^2(H-h)} \operatorname{arctg} \frac{p\sqrt{y_0^2+(H-h)^2}}{y_0} + \frac{\sqrt{h^2-t^2 y_0^2}}{y_0^2 h} \operatorname{arctg} t + \\
 &+ \frac{1}{y_0 h} \operatorname{arctg} p - \frac{\sqrt{y_0^2+h^2}}{y_0^2 h} \operatorname{arctg} \frac{p\sqrt{y_0^2+h^2}}{y_0} + \frac{1}{y_0(H-h)} \operatorname{arctg} \frac{x}{y_0} - \\
 &- \frac{1}{(H-h)\sqrt{y_0^2+(H-h)^2}} \operatorname{arctg} \frac{x}{\sqrt{y_0^2+(H-h)^2}} + \frac{1}{y_0 h} \operatorname{arctg} \frac{x}{y_0} - \\
 &\left. - \frac{1}{h\sqrt{y_0^2+h^2}} \operatorname{arctg} \frac{x}{\sqrt{y_0^2+h^2}} \right) + C.
 \end{aligned}$$

Враховуючи умову парності функції $p = p(x)$, за якою здійснювали заміну, визначені інтеграли від доданків $\frac{1}{y_0(H-h)} \operatorname{arctg} p$, $\frac{\sqrt{y_0^2+(H-h)^2}}{y_0^2(H-h)} \operatorname{arctg} \frac{p\sqrt{y_0^2+(H-h)^2}}{y_0}$, $\frac{1}{y_0 h} \operatorname{arctg} p$ та $\frac{\sqrt{y_0^2+h^2}}{y_0^2 h} \operatorname{arctg} \frac{p\sqrt{y_0^2+h^2}}{y_0}$ на інтервалі $[-r, r]$ дорівнюють нулю. Тому остаточно отримуємо:

$$\begin{aligned}
 q &= \frac{\varepsilon \sigma y_0^2 T^4}{\pi} \left(\frac{r}{y_0^2 \sqrt{r^2+y_0^2}} \operatorname{arctg} \frac{H-h}{\sqrt{r^2+y_0^2}} + \frac{r}{y_0^2 \sqrt{r^2+y_0^2}} \operatorname{arctg} \frac{h}{\sqrt{r^2+y_0^2}} + \frac{1}{y_0(H-h)} \operatorname{arctg} \frac{r}{y_0} - \right. \\
 &- \frac{1}{(H-h)\sqrt{y_0^2+(H-h)^2}} \operatorname{arctg} \frac{r}{\sqrt{y_0^2+(H-h)^2}} + \frac{1}{y_0 h} \operatorname{arctg} \frac{r}{y_0} - \frac{1}{h\sqrt{y_0^2+h^2}} \operatorname{arctg} \frac{r}{\sqrt{y_0^2+h^2}} \left. \right).
 \end{aligned}$$

Інтенсивності теплового потоку від відстані, обчислені за отриманою аналітичною залежністю порівняли з отриманими чисельним інтегруванням (1) для полум'я висотою $H = 3$ м і шириною $2r = 1$ м, температура якого $T = 1200$ К на висотах $h = 0,5$ м, 1 м і $1,5$ м (рис. 2). Як видно з рис. 2, значення інтенсивності теплового потоку, обчислені за аналітичною залежністю і за чисельним інтегруванням, практично збігаються.

Отримана залежність, зокрема, дає можливість визначити відстань, на якій пожежник може безпечно перебувати в тепловідбивному костюмі поблизу полум'я (інтенсивність теплового потоку не перевищує 7 кВт/м²), а також гранично допустиме значення для тепловідбивного костюма (40 кВт/м²).

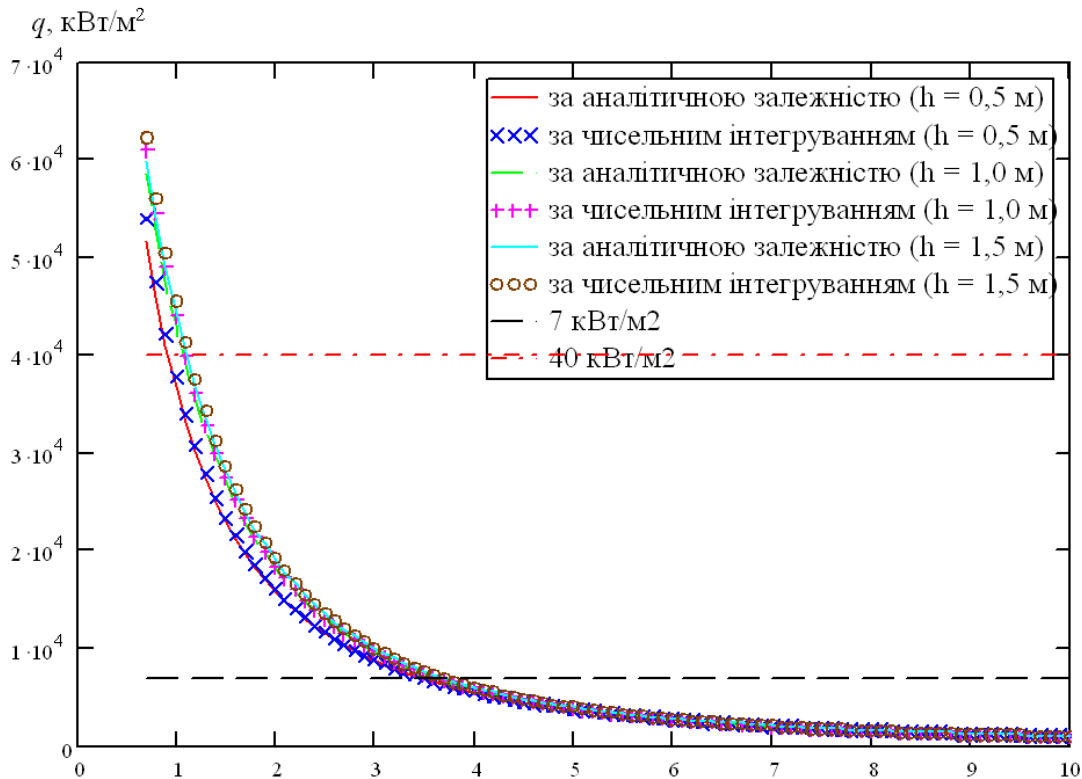


Рисунок 2 – Залежності інтенсивності теплового потоку з поверхні полум'я висотою 3 м і шириною 1 м від відстані до елементарної поверхні для різних висот h її розміщення

Висновки. Отримана аналітичним методом залежність інтенсивності теплового потоку від поверхні полум'я у вигляді прямокутника на вертикальну елементарну поверхню дає змогу визначати цей показник для різних значень висоти $h \in (0; H)$ та відстані до поверхні полум'я y_0 , а також його асимптотику, застосовуючи залежність для встановлення безпечних відстаней до полум'я.

Список літератури

1. Зигель Р. Теплообмен излучением / Р. Зигель, Дж. Хауэлл. – М. : Мир, 1975. – 934 с.
2. Драйздейл Д. Введение в динамику пожаров / Д. Драйздейл. – М. : Стройиздат, 1990. – 424 с.
3. Ковалишин Вол. В. Визначення коефіцієнта безпечної роботи для різного типу захисного одягу пожежників / Вол. В. Ковалишин, А. Д. Кузик, В. В. Ковалишин // Вісник Львівського державного університету безпеки життєдіяльності : Зб. наукових праць. – Львів: ЛДУБЖД, 2014. – № 9. – С. 143-149.

References

1. Zigel R. Teploobmen izlucheniem / R. Zigel, Dg. Hauell. – M. : Mir, 1975. – 934 s.
2. Draizdeil D. Vvedenie v dinamiku pozharov / D. Draizdeil. – M. : Strojizdat, 1990. – 424 s.
3. Kovalishin Vol. V. Vznachennya koefitsienta bezpechnoi rodoty dlya riznogo tipu zahisnogo odyagu pozhezhnikov / Vol. V. Kovalishin, A. D. Kuzik, V. V. Kovalishin // Visnik Lvivskogo derzhavnogo universitetu bezpeky zhittediyalnosty: Zb. Naukovih prats. – Lviv: LDUBGD, 2014. – № 9. – S. 143-149.

