

*В. І. Желяк, канд. техн. наук, доцент, О. В. Лазаренко, канд. техн. наук, О.О. Яготин
(Львівський державний університет безпеки життєдіяльності)*

ОЦІНЮВАННЯ ВПЛИВУ СПОСОБІВ ПЕРЕНОСУ ТЕПЛОТИ ВІД ВОГНИЩА ПОЖЕЖІ ЧЕРЕЗ ВОДЯНУ ЗАВІСУ

Проведено аналітичний аналіз домінуючого способу теплопередачі, який необхідно враховувати під час проведення теоретичних розрахунків та планування експериментальних досліджень, при вивченні процесів теплопереносу через водяну завісу від пожеж класів А та В на відкритих місцевостях. В процесі аналітичного аналізу процесу теплопередачі встановлено, що переважна кількість теплової енергії буде передаватися завдяки променевому теплообміну, а не завдяки конвекції.

Ключові слова: пожежа на відкритій місцевості, промениста теплопередача, конвекція, водяна завіса

Відомо, що теплопередача є складним процесом, в якому виділяють три елементарних способи переносу теплоти: теплопровідність, конвекція і теплове випромінювання.

Горіння пожежі супроводжується високими температурами, внаслідок яких теплопередача в основному відбувається шляхом теплового випромінювання. Вже при температурі 800 °С теплообмін між тілами здійснюється практично лише завдяки випромінюванню, так як частина конвективного тепла при цьому не є значною (оскільки конвективна теплопередача це передача за рахунок зміни нагрітих та холодних мас повітря).

Випромінювання тепла полум'ям та продуктами згорання в умовах пожежі представляє собою процес перетворення тепла в енергію електромагнітних хвиль. Здатністю поглинатися тілами і перетворюватися в теплову енергію характеризуються світлові та інфрачервоні промені, що мають довжину хвилі відповідно 0,4-0,78 та 0,78-1000 мкм.

Показано [1, 2], що теплопередача від осередку пожежі до навколишнього середовища відбувається переважно внаслідок процесів променистої теплопередачі та конвективного теплообміну.

В роботах [3, 4] проаналізовано процеси екранування конвективної та променистої складової теплового потоку вертикальною водяною завісою плоско-паралельної форми.

Зокрема в [3] показано, що при конвективному способі теплопередачі температура повітря за водяною завісою визначається згідно із співвідношенням:

$$T_{П\text{вих}}(h) = T_{B0} + (T_{П\text{ex}} - T_{B0}) \cdot e^{-\frac{\Delta}{\delta_x \cdot e^{\delta_h}}}, \quad (1)$$

де: $\delta_x = \frac{C_{П\rho_{П}\vartheta_{П}}}{\pi d^2 n \alpha}$ і $\delta_h = \frac{C_{B\rho_B\vartheta_B d}}{6\alpha}$ постійні величини, $T_{П\text{вих}}(y)$, $T_{П\text{ex}}$ – температура повітря за та перед завісою, °K; T_{B0} – початкова температура води на виході з розсіювальної щілини, °K;

Δ – товщина завіси, мм; h – відстань від розсіювальної щілини, м; $C_{П}$ і $\rho_{П}$ – питома теплоємність, Дж/кг·°C та густина повітря, кг/м³; C_B і ρ_B – питома теплоємність, Дж/кг·°C; та густина води, кг/м³, $\vartheta_{П}$ і ϑ_B – швидкість потоку повітря від осередку пожежі та води у водяній завісі, м/с; d – діаметр крапель води у водяній завісі, мм; n – концентрація водяних крапель у водяній завісі; α – коефіцієнт теплообміну між краплинами води та повітрям, Вт/м²·К.

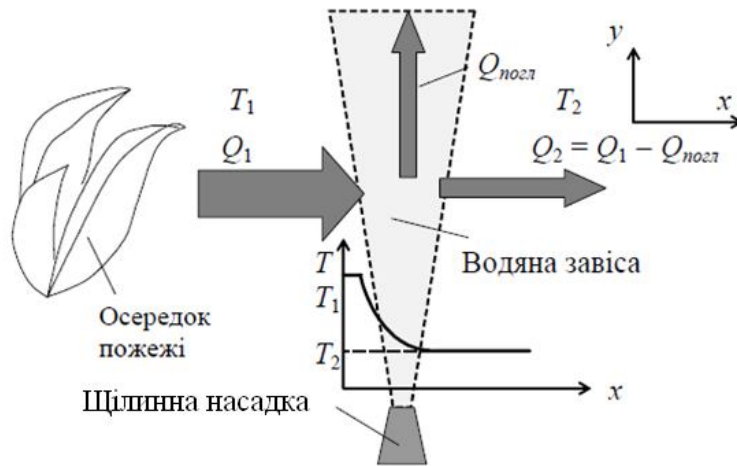


Рис.1. Екранування конвективного теплового потоку

Оцінимо, яка частина теплового потоку проходить через водяну завісу при конвективному теплообміні, під час горіння на відкритій місцевості речовин класів А та В. Для цього визначимо потужність теплового потоку перед завісою та за нею. Потужність теплового потоку, який потрапляє на завісу, визначиться як відношення енергії $Q_{K\text{ex}}$, кВт/м², яка потрапляє на водяну завісу завдяки конвективному теплообміну, до проміжку часу Δt , упродовж якого вона потрапляє:

$$P_{K\text{ex}} = \frac{Q_{K\text{ex}}}{\Delta t} = \frac{C_{\text{п}} m_{\text{п}} T_{\text{пex}}}{\Delta t} = \frac{C_{\text{п}} \rho_{\text{п}} \Delta x \Delta h z T_{\text{пex}}}{\Delta t} = C_{\text{п}} \rho_{\text{п}} T_{\text{пex}} \vartheta_{\text{п}} \Delta h z, \quad (2)$$

де z – ширина поверхні теплообміну повітря з завісою, м; $C_{\text{п}}$ – питома теплоємність повітря, Дж/кг·°С; $\rho_{\text{п}}$ – густина повітря, кг/м³; $T_{\text{пex}}$ – температура потоку повітря від осередку пожежі перед завісою, °К; $\vartheta_{\text{п}}$ – середня швидкість потоку повітря від осередку пожежі до водяної завіси, м/с; Δh - висота досліджуваного елемента завіси, м.

Оскільки температура водяної завіси внаслідок нагрівання змінюється вздовж її довжини, визначимо питому потужність, яка потрапляє на одиницю висоти водяної завіси:

$$p_{K\text{ex}} = \frac{P_{K\text{ex}}}{\Delta h} = C_{\text{п}} \rho_{\text{п}} T_{\text{пex}} \vartheta_{\text{п}} z. \quad (3)$$

Аналогічно можна визначити питому потужність потоку за завісою:

$$p_{K\text{вих}} = C_{\text{п}} \rho_{\text{п}} T_{\text{пвих}} \vartheta_{\text{п}} z \quad (4)$$

$T_{\text{пвих}}$ – температура потоку повітря за завісою, К.

Очевидно, що частина теплового потоку, який проходить крізь водяну завісу визначається як:

$$\xi_{K\text{т}} = \frac{P_{K\text{вих заг}}}{P_{K\text{ex заг}}} \quad (5)$$

де: $P_{K\text{вих заг}}$ і $P_{K\text{ex заг}}$ – загальні потужності теплових потоків перед та за завісою, кВт/м².

Величини $P_{K\text{вих заг}}$ і $P_{K\text{ex заг}}$ визначимо як:

$$P_{K_{\text{ex заг}}} = \int_0^H p_{K_{\text{ex}}} dh = \int_0^H C_{\Pi} \rho_{\Pi} T_{\Pi_{\text{ex}}} \vartheta_{\Pi} z dh, \quad (6)$$

$$P_{K_{\text{вих заг}}} = \int_0^H p_{K_{\text{вих}}} dh = \int_0^H C_{\Pi} \rho_{\Pi} T_{\Pi_{\text{вих}}} \vartheta_{\Pi} z dh, \quad (7)$$

де H – висота водяної завіси, м.

Враховуючи (1.1), вираз (1.7) можна записати так:

$$P_{K_{\text{вих заг}}} = \int_0^H C_{\Pi} \rho_{\Pi} T_{\Pi_{\text{вих}}} \vartheta_{\Pi} z dh = \int_0^H C_{\Pi} \rho_{\Pi} \vartheta_{\Pi} z (T_{B0} + (T_{\Pi_{\text{ex}}} - T_{B0}) \cdot e^{-\frac{\Delta}{\delta_x} e^{\frac{h}{\delta_h}}}) dh, \quad (8)$$

Підставивши отримані співвідношення (6, 8) у (5), отримаємо:

$$\begin{aligned} \xi_{Km} &= \frac{P_{K_{\text{вих заг}}}}{P_{K_{\text{ex заг}}}} = \frac{\int_0^H C_{\Pi} \rho_{\Pi} T_{\Pi_{\text{вих}}} \vartheta_{\Pi} z dh}{\int_0^H C_{\Pi} \rho_{\Pi} T_{\Pi_{\text{ex}}} \vartheta_{\Pi} z dh} = \\ &= \frac{\int_0^H C_{\Pi} \rho_{\Pi} \vartheta_{\Pi} z \left(T_{B0} + (T_{\Pi_{\text{ex}}} - T_{B0}) \cdot e^{-\frac{\Delta}{\delta_x} e^{\frac{h}{\delta_h}}} \right) dh}{\int_0^H C_{\Pi} \rho_{\Pi} T_{\Pi_{\text{ex}}} \vartheta_{\Pi} z dh}, \end{aligned} \quad (9)$$

Вважаючи величини C_{Π} , ρ_{Π} , ϑ_{Π} , z і $T_{\Pi_{\text{вих}}}$ незмінними вздовж висоти завіси, отримаємо:

$$\begin{aligned} \xi_{Km} &= \frac{\int_0^H C_{\Pi} \rho_{\Pi} \vartheta_{\Pi} z \left(T_{B0} + (T_{\Pi_{\text{ex}}} - T_{B0}) \cdot e^{-\frac{\Delta}{\delta_x} e^{\frac{h}{\delta_h}}} \right) dh}{\int_0^H C_{\Pi} \rho_{\Pi} T_{\Pi_{\text{ex}}} \vartheta_{\Pi} z dh} = \\ &= \frac{\int_0^H \left(T_{B0} + (T_{\Pi_{\text{ex}}} - T_{B0}) \cdot e^{-\frac{\Delta}{\delta_x} e^{\frac{h}{\delta_h}}} \right) dh}{H \cdot T_{\Pi_{\text{ex}}}} \end{aligned} \quad (10)$$

або перепишемо рівняння (10) таким чином:

$$\xi_{Km} = \frac{1}{H} \int_0^H \left(\frac{T_{B0}}{T_{Пex}} + \left(\frac{T_{Пex}}{T_{Пex}} - \frac{T_{B0}}{T_{Пex}} \right) \cdot e^{-\frac{\Delta}{\delta_x} e^{\frac{h}{h}}} \right) dh =$$

$$= \frac{1}{H} \int_0^H \left(\frac{T_{B0}}{T_{Пex}} + \left(1 - \frac{T_{B0}}{T_{Пex}} \right) \cdot e^{-\frac{\Delta}{\pi d^2 n \alpha} \frac{C_{ПР} \rho_{П} \vartheta_{П}}{C_{ВР} \rho_{В} \vartheta_{В} d} e^{\frac{h}{6\alpha}}} \right) dh, \quad (11)$$

Отже, як слідує з (11), частка потоку, що проходить через водяну завісу залежить від багатьох параметрів, однак лише два з них $T_{Пex}$ і $\vartheta_{П}$ залежать від параметрів осередку пожежі.

Величина $T_{Пex}$ є термодинамічною характеристикою осередку пожежі, яка визначає кількість теплоти, що виділяється в процесі горіння.

В той же час, величина $\vartheta_{П}$ визначається тепловим потоком від вогнища пожежі, який виникає внаслідок різниці густини нагрітого та холодного повітря в гравітаційному полі [1]. При нагріванні повітря вогнищем пожежі його густина стає меншою ніж при температурі навколишнього середовища внаслідок чого на частинки повітря діє сила Архімеда [1]:

$$F_A = g(\rho_n - \rho) = g\rho_n\beta(T - T_n), \quad (12)$$

де: g – прискорення вільного падіння, м/с; β – коефіцієнт об'ємного розширення повітря, T_n і T – температури повітря біля поверхні завіси та осередку пожежі, $^{\circ}K$; ρ_n і ρ – густина повітря, кг/м³, при температурі T_n і T .

За умови відсутності повітряних потоків в горизонтальній площині, як слідує з (12), – рух повітря у відкритому просторі відбуватиметься лише у вертикальному напрямі. Оскільки напрям та швидкість руху повітряних мас в горизонтальній площині спрогнозувати на певний момент часу неможливо, це не було враховано в математичній моделі, тому швидкість повітря в горизонтальному напрямі дорівнює нулю.

Отже, теплопередача способом конвекції у відкритому середовищі переважно відбувається у вертикальному від пожежі напрямі. В той же час у всіх інших напрямках тепловий потік, очевидно, поширюється завдяки тепловому випромінюванню від осередку пожежі, що необхідно враховувати при оцінці захисних властивостей водяної завіси.

Список літератури

1. **Михеев М. А.**, Михеева И. М. Основы теплопередачи. Изд. 2-е, стереотип. М., «Энергия», 1977. 344 с.
2. **Теплопередача** при пожаре. Под ред. П.Блэкшера. - М.: Стройиздат, 1981. - 164 с.
3. **Виноградов А.Г.** Конвективный теплообмен розпиленої води з повітрям // Пожежна безпека: теорія і практика №1, 2008, с.26-32.
4. **Виноградов А.Г.** Аналіз процесу екранування теплового випромінювання водяною завісою // Пожежна безпека: теорія і практика №1, 2008, с.20-25.
5. **Башкирцев М.П.**, Бубырь Н.Ф., Минаев Н.А., Ончуков Д.Н. Основы пожарной теплофизики. – М.: Стройиздат, 1984. - 200 с.
6. **Д. Эйзенберг**, В. Кауцман Структура и свойства воды Л.: Гидрометеиздат, 1975, 280 с.
7. **Захаренко Д.М.** Проблемы раннего обнаружения очагов пожаров, тления взрывов угольной пыли / Д.М. Захаренко, С.М. Ермаков // Сибирский вестник пожарной безопасности, №4, 2000, с. 36-47.

В. И. Желяк, А.В. Лазаренко, А.А. Яготын

ОЦЕНИВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СПОСОБОВ ПЕРЕНОСА ТЕПЛОТЫ ОТ ОЧАГА ПОЖАРА ЧЕРЕЗ ВОДЯНУЮ ЗАВЕСУ

Проведен аналитический анализ доминирующего способа теплопередачи, который необходимо учитывать при проведении теоретических расчетов и планировании экспериментальных исследований, при анализе теплопереноса через водяную завесу от пожаров классов А и В на открытых местностях. В процессе аналитического анализа процесса теплопередачи установлено, что подавляющее количество тепловой энергии будет передаваться за счет лучевого теплообмена, а не за счет конвекции.

Ключевые слова: пожар на открытой местности, лучистая теплопередача, конвекция, водяная завеса

V.I. Zhelyak, O.V. Lazarenko, O.O. Yagotin

DEFINITION OF WAYS HEAT TRANSFER FROM THE FIRE THROUGH WATER SCREEN

The analytical analysis of the dominant mode of heat transfer that must be taken into account in the theoretical calculations and planning of experimental research in the study of the processes of heat transfer through the water curtain fire classes A and B in the open. In the process of analytical heat transfer analysis that the overwhelming amount of heat energy is transferred by radiation heat transfer, and not by convection.

Key words: fire in the open, radiant heat transfer, convection, water curtain

