

**В.Й. Лабай<sup>1</sup>, В.І. Гудим<sup>2,3</sup>, А.Ф. Гаврилюк<sup>2</sup>**<sup>1</sup>Національний університет “Львівська політехніка”,  
кафедра теплогазопостачання і вентиляції,<sup>2</sup>Львівський державний університет безпеки життєдіяльності,  
кафедра електротехніки, промислової та пожежної автоматики,<sup>3</sup>Краківська політехніка, кафедра електричних систем та обладнання

## **ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ШЛЯХИ ЗМЕНШЕННЯ ТЕПЛООВОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ ПІД ЧАС ПОЖЕЖ**

© Лабай В.Й., Гудим В.І., Гаврилюк А.Ф., 2013

Розглянуто променевий тепловий потік, який присутній під час пожежі, та проаналізовано чинники факела полум'я, від яких цей тепловий потік залежить. Експериментальними дослідженнями встановлено залежності зміни променевого теплового потоку з відстанню, а також вплив параметрів середовища, в якому відбувається променевий теплообмін, на величину енергії випромінювання полум'я. На основі досліджень визначено та уточнено значення коефіцієнта послаблення енергії випромінювання полум'я дрібнорозпиленою водою.

**Ключові слова:** пожежа, полум'я, тепловий потік, інтенсивність теплового потоку, температура.

The materials of the article the radial heat flow, which is present in a fire, and analyzed factors flame from which the heat flow is dependent. Based on experimental studies installing dependence heat flux changes with distance, and the influence of environmental parameters in which the radial heat transfer on the intensity of radiation energy flame. Based on the studies identified and specified coefficient weakening energy radiation flame small water spray.

**Key words:** fire, flame, heat flow, intensity heat flow, temperature.

### **Постановка проблеми**

Під час пожеж визначальним є променевий тепловий потік від відкритого полум'я, який нагріває навколишні предмети та конструкції об'єктів, внаслідок чого відбувається розвиток пожеж. Встановлення залежності між енергією випромінювання (поверхневою густиною потоку інтегрального випромінювання) полум'я, віддалю та середовищем, в якому розвивається пожежа, та виявити фактори, які впливають на променевий тепловий потік, дасть змогу зменшити його вплив на рятувальників та забезпечити безпечні відстані, які б унеможливили подальший розвиток пожежі.

### **Аналіз останніх досліджень та публікацій**

Стационарне (усталене) температурне поле залежить від відстані до полум'я та послаблюючого середовища (дрібнорозпиленої води).

Інтенсивність розвитку пожежі та її гасіння залежить від енергії променевого теплового потоку факела полум'я пожежі. Тому дуже важливо знайти зв'язок між початковою енергією випромінювання полум'я, температурою поверхні навколишніх предметів, а також параметрами середовища, в якому променевий тепловий потік поширюється від полум'я, щоб формувати умови, які б дали змогу послабити цей потік, відповідно і температуру у навколишньому середовищі, де відбувається пожежа.

Цьому приділяється мало уваги і застосовується переважно зв'язок [1–3, 5] між температурою та енергією випромінювання, при цьому невідомо, як залежить температура предметів на певній відстані від температури полум'я та середовища, в якому відбувається пожежа.

У [4] наведено зв'язок між початковою енергією випромінювання та відстанню від джерела випромінювання до опромінюваних предметів, проте при цьому було прийнято ряд певних припущень, серед яких:

- променевий тепловий потік поширюється прямолінійно в однорідному, ізотропному середовищі і максимально – до нормалі до поверхні полум'я;
- відсутність руху повітряних мас;
- сталий тиск та відносна вологість атмосферного повітря за межами процесу горіння;
- енергією випромінювання від навколишніх предметів нехтуємо;
- поверхня полум'я вважається гладкою і плоскою.

Вказані припущення вочевидь є обґрунтованими і призводять до певної похибки. Тому для отримання аналітичної залежності результуючої густини променевого потоку від початкової енергії випромінювання необхідно визначити температуру полум'я та відстань від полум'я. Разом з тим доцільно виконати експериментальні дослідження цього температурного поля ( $t = f(r, \tau)$ ) для різних середовищ (повітря): з димом, відносною вологістю, промисловими газами. Це дозволить уточнити зв'язок температури на поверхні полум'я і температури на поверхні предметів на конкретній відстані від полум'я. Тому такі вимірювання є важливі як з практичних, так і з теоретичних міркувань і повинні бути виконані з високою точністю.

### Мета роботи

Отримання аналітичної залежності результуючої густини променевого теплового потоку від початкової енергії випромінювання полум'я. Разом з тим доцільно експериментально дослідити це температурне поле ( $t = f(r, \tau)$ ) для різних середовищ (повітря): з димом, різною відносною вологістю та різними промисловими газами.

### Виклад основного матеріалу

Для розв'язання поставленої задачі було виконано експериментальні дослідження в лабораторних умовах. Джерелом променевого теплового потоку було модельне вогнище пожежі, створене горінням 16 кг дубової деревини, складеної в штабель. Густину променевого потоку, створену початковою енергією випромінювання полум'я, та густина результуючого променевого потоку визначали пристроєм ВТП-01 з робочим діапазоном від 0 до 50 кВт/м<sup>2</sup>, а температуру визначали регулятор-вимірювачем температур РТ-0102 та термоперетворювачами ТХА. Під час виконання експериментів визначалась залежність густини результуючого променевого потоку з відстанню від джерела випромінювання (рис. 1) та температури в різних точках простору (рис. 2).

Експериментальні дослідження показали, що густину променевого потоку (тобто, результуюча густина променевого теплового потоку) різко зменшується за збільшення відстані від джерела випромінювання, а також під час введення у простір дрібнорозпиленої води (рис. 1). Променевий потік впливає на температуру поверхні навколишніх предметів та будівель, яка, своєю чергою, призводить до їх самозаймання. В процесі дослідження вимірювали значення температури на відстані від 0,5 до 1,5 м від джерела променевого теплового потоку з середньою початковою енергією випромінювання  $E_0 = 14$  кВт/м<sup>2</sup>, а температура на поверхні полум'я досягала 550–650 °С.

За результатами вимірювань отримано залежність густини променевого потоку в точках простору, розміщених на вищевказаних відстанях від джерела, графік якої наведено на рис. 1. Звідки видно, що густина потоку випромінювання різко послаблюється з відстанню.

Крива 1 (рис. 1) відображає залежність густини променевого потоку випромінювання полум'я від відстані у середовищі незволоженого і чистого повітря, а криві 2 та 3 показують залежність зміни результуючої густини від віддалі на третій та шостій хвилинах після введення дрібнорозпиленої води у середовище між полум'ям та об'єктом на віддалі 0,15–0,35 м від полум'я. Уведення в простір між полум'ям та об'єктом дрібнорозпиленої води послаблює результуючу густину потоку випромінювання в 2–2,2 разу.

Крім досліджень густини променевого потоку, виміряно температуру опромінених предметів залежно від часу початку горіння факела полум'я у точках, нормально віддалених за нормаллю від поверхні джерела на відстані від 0,5 до 1,5 м, графічну залежність якої наведено на рис. 2.

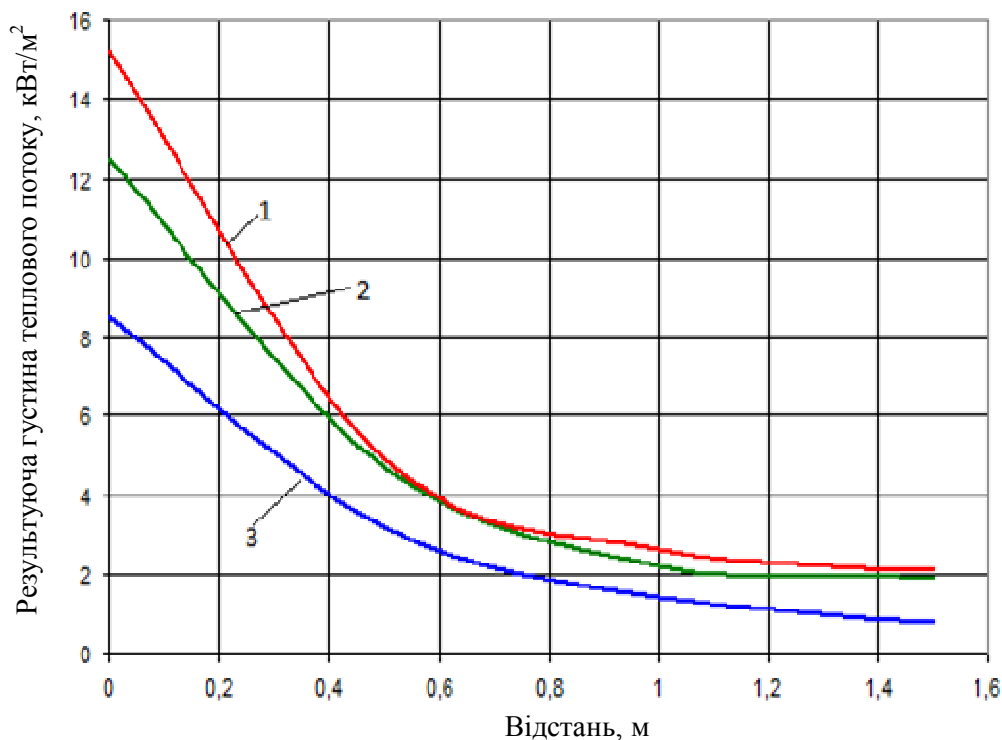


Рис. 1. Залежність результуючої густини променевого теплового потоку від відстані

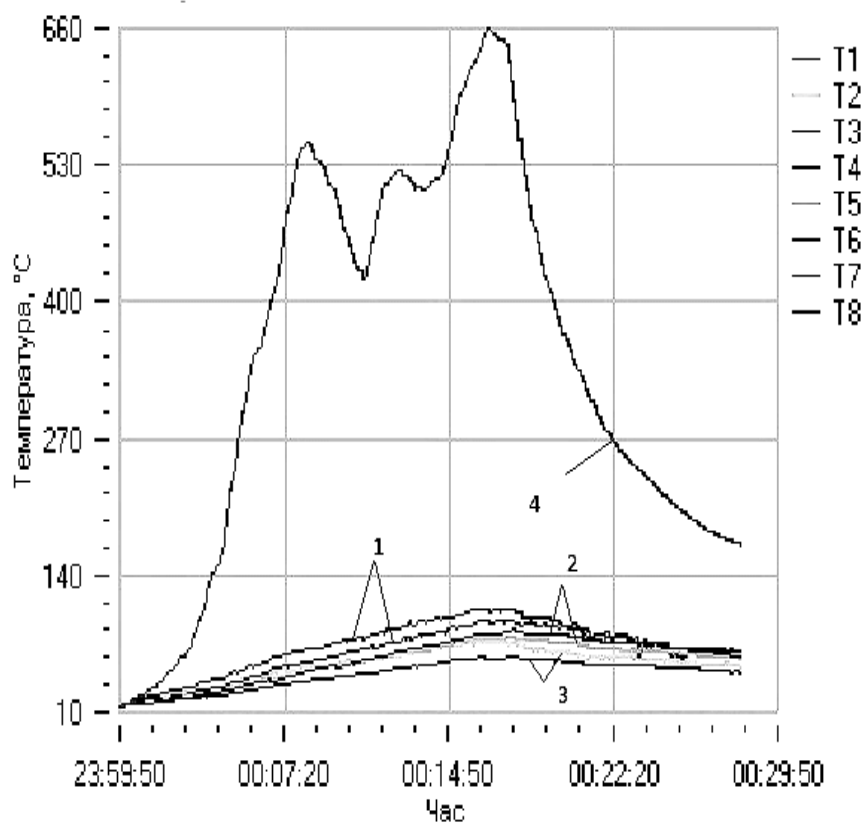


Рис. 2. Зміна температури в часі на різній відстані від полум'я пожежі

У кожній точці, в якій вимірювалася температура, було встановлено по дві термопари ТХА з метою отримання точніших результатів. Внаслідок вимірювань отримано сімейство температурних кривих залежно від часу експерименту, який тривав 30 хв, починаючи від моменту підпалу і до суттєвого послаблення теплових характеристик полум'я.

На рис. 2 криві 1 характеризують зміну температури у точках простору на відстані 0,5 м від джерела випромінювання, а криві 2 та 3 відповідно на відстані 1 та 1,5 м. Крива 4 відповідає температурі на поверхні модельного полум'я.

На 15 хвилині під час інтенсивного горіння та максимальної початкової енергії випромінювання полум'я у простір між полум'ям та точками, з яких фіксувалася температура, було введено дрібнорозпилену воду. Температура, що замірялася термометрами, після введення дрібнорозпиленої води зменшилася, але не так інтенсивно, як густина променевого потоку, що пояснюється акумуляцією теплоти в приміщенні, де проводився дослід. Тому введення дрібнорозпиленої води призводить не лише до зменшення густини променевого теплового потоку в точках простору, але й температури в цих точках.

У літературі [4] наведено функціональну залежність результуючої густини променевого теплового потоку  $q$ , Вт/м<sup>2</sup> від початкової енергії випромінювання полум'я  $E_{поч} = E_0$ , та інших величин, які характеризують даний процес:

$$q = \frac{E_0 e^{-\beta r} \Phi F}{\pi r^2}, \quad (1)$$

де  $q$  – результуючого густини променевого теплового потоку, Вт/м<sup>2</sup>;  $\beta$  – коефіцієнт послаблення густини результуючого теплового потоку певним середовищем, м<sup>-1</sup>;  $r$  – відстань від випромінювальної поверхні до об'єкта, що опромінюється, м;  $F$  – площа випромінювальної поверхні факела в напрямку об'єкта, м<sup>2</sup>;  $\Phi$  – коефіцієнт опромінення.

Проте у цьому виразі присутній коефіцієнт послаблення  $\beta$ , який потребує уточнення.

Початкову енергію випромінювання полум'я  $E_0$  визначали згідно з законом Стефана–Больцмана:

$$E_0 = \varepsilon_{\Phi} \sigma T_{\Phi}^4; \quad (2)$$

де  $\varepsilon_{\Phi}$  – ступінь чорноти факела;  $\sigma$  – стала Стефана–Больцмана ( $5,67 \cdot 10^8$  Вт/(м<sup>2</sup> · К<sup>4</sup>));  $T_{\Phi}$  – середня абсолютна температура поверхні факела, К.

Підставивши (2) в (1), отримаємо:

$$q = \frac{\varepsilon_{\Phi} \sigma T_{\Phi}^4 e^{-\beta r} \Phi F}{\pi r^2}. \quad (3)$$

Вираз (3) дозволяє оцінювати результуючу густину променевого теплового потоку з врахуванням як геометричних параметрів полум'я, так і відстані до опроміненого предмета з врахуванням послаблюючих властивостей середовища.

Під час проходження променевого теплового потоку через середовище він послаблюється внаслідок поглинання та розсіювання. Атмосферне повітря, в якому міститься пил і водяна пара в завислому стані, а також промислові гази, є послаблювачами густини теплового потоку. При цьому коефіцієнт послаблення становить  $\beta = 0,2 \dots 0,3$  Коефіцієнт послаблення дрібнорозпиленої води становить  $\beta = 3$ . Однак для інших середовищ, які можуть мати характеристики, відмінні від раніше згаданих, значення  $\beta$  вимагає уточнення. В зв'язку з цим нами виконано експериментальне дослідження в лабораторних умовах, на підставі яких було отримано уточнене значення коефіцієнта  $\beta$ .

Графічна залежність результуючої густини теплового потоку від відстані за різних значень значень  $\beta$  подана на рис. 3.

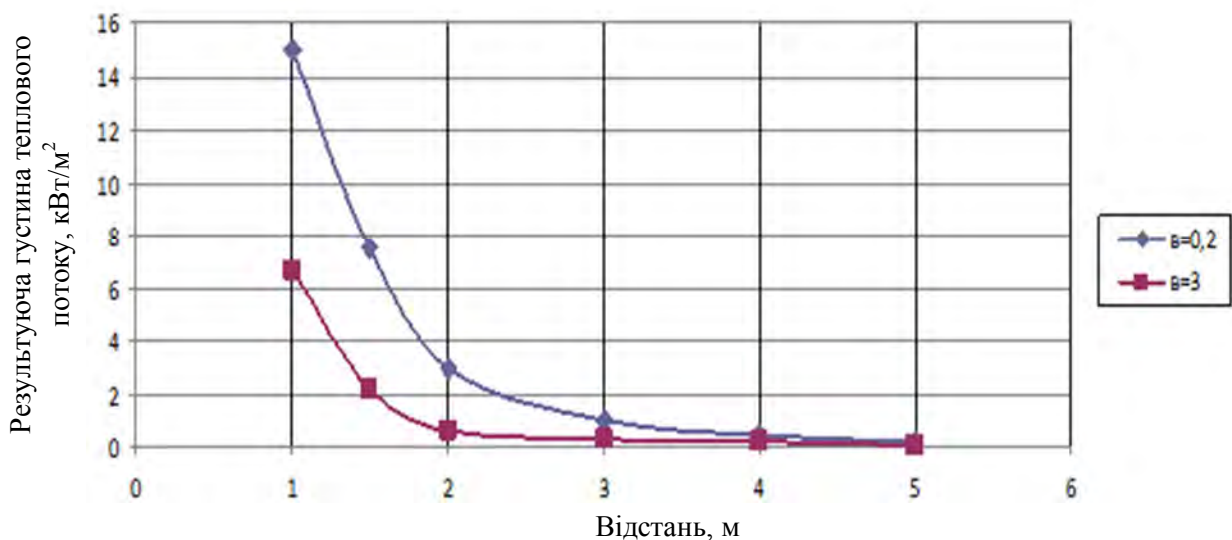


Рис. 3. Залежність результуючої густини теплового потоку від відстані за різних значень  $b$

Енергія випромінювання різко збільшується із збільшенням температури джерела випромінювання. З графіка, зображеного на рис. 4, видно, як коефіцієнт послаблення променевого теплового потоку певним середовищем різко послаблює енергію випромінювання.

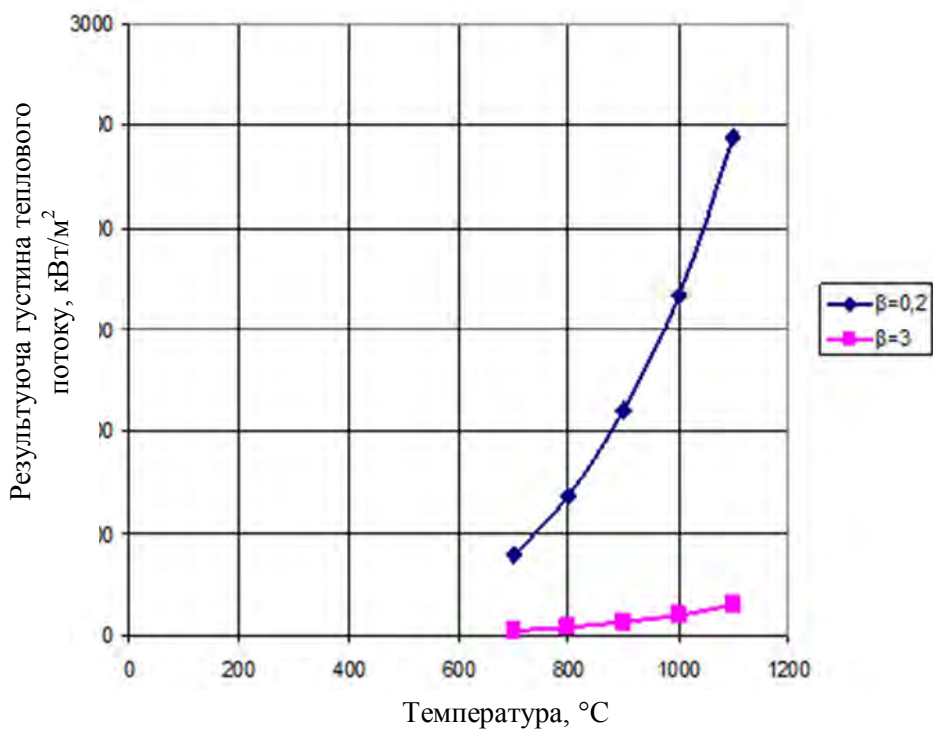


Рис. 4. Залежність теплового потоку від температури факела на відстані 1 м за різних значень  $b$

На рис. 5 зображено зміну температури поверхні опромінених об'єктів від відстані до джерела енергії променевого теплового потоку ( модельного полум'я ), температура на поверхні якого 1000 °C.

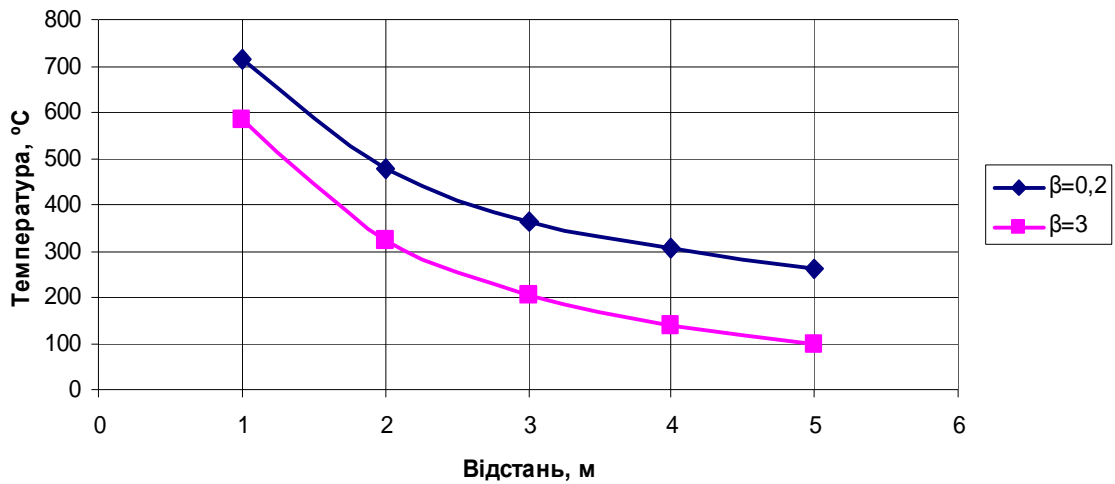


Рис 5. Залежність зміни температури об'єкта, від відстані до полум'я з температурою 1000 °C

### Висновки

Під час виконання експериментальних досліджень було встановлено, що результуюча густина променевого теплового потоку за збільшення відстані від джерела випромінювання зменшується за експоненціальним законом.

Встановлено, що середовище, в якому відбувається випромінювання, істотно впливає на променевий тепловий потік і на значення температури в точках простору, які піддаються опроміненню. Зокрема дрібнодисперсна вода зменшує опромінення об'єкта з коефіцієнтом послаблення  $\beta = 2-2,2$  рази, що підтверджено експериментально. При цьому результуюча густина теплового потоку двократно послаблюється завдяки введенню в простір, де відбувається променевий теплообмін, дрібнодисперсної води. Тому доцільно використовувати розпилені струмені води для захисту суміжних об'єктів від samozаймання, а також особовий склад.

1. Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С. Теплопередача. – М.: Энергия, 1975. – 485 с.
2. Башкирцев М.П., Бубырь Н.Ф., НМинаев.А., Ончуков Д.Н. Основы пожарной теплофизики. – М.: Стройздат, 1984. – 198 с.
3. Величко Л.Д., Лозинський Р.Я., Семерак М.М Термодинаміка і теплопередача в пожежній справі. – Львів: Сполом, 2011. – 502 с.
4. Кимстач И.Ф., Девлишев П.П., Евтюшкин Н.М. Пожарная тактика. – М.: Стройздат, 1984. – 500 с.
5. Ромашенко П.Н., Бубырь Н.Ф., Башкирцев М.П. Теплопередача в пожаром деле. – М.: Стройздат, 1969. – 424 с.