

*Е.М.Гуліда, д.т.н., професор, О.О.Карабин к.ф.-м.н., О.О.Смотр
(Львівський державний університет безпеки життєдіяльності)*

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПОЧАТКОВОЇ СТАДІЇ ПОЖЕЖІ В ПРИМІЩЕННІ НА ОСНОВІ РІВНЯНЬ ТЕПЛООБМІНУ

На основі аналізу існуючих підходів до побудови математичних моделей поширення пожежі в приміщенні побудовано температурне поле в приміщенні із врахуванням трьох видів теплопередачі: теплопровідності, конвекції та теплового випромінювання.

Для вирішення багатьох питань пожежної безпеки (оцінка вогнестійкості будівельних конструкцій в умовах пожежі; забезпечення захисту працюючих на промислових або інших підприємствах від надзвичайних ситуацій, які можуть виникнути в процесі пожежі; евакуація людей; експертиза пожежі; планування засобів гасіння тощо) необхідним є знання закономірностей процесу розвитку пожежі в приміщенні.

Під час будь-якої пожежі наявні три види теплообміну: теплопровідність, конвективний теплообмін та теплове випромінювання, однак, на тому чи іншому етапі розвитку пожежі або на певній її ділянці переважає лише один вид теплообміну. Теплопровідність визначає інтенсивність теплових потоків в твердих матеріалах. Вона відіграє важливу роль в задачах, пов'язаних із спалахуванням і поширенням полум'я по поверхні твердих горючих матеріалів, а також в задачах, пов'язаних з вогнестійкістю, коли необхідно визначити теплові потоки в стінах приміщення і елементах конструкцій. Конвективний теплообмін відбувається між газом (рідиною) і твердим тілом. Він пов'язаний із рухом рідкого середовища (наприклад, процес охолодження палаючого предмета потоком холодного повітря). Цей вид теплообміну присутній у всіх стадіях розвитку пожежі, але особливу роль він відіграє на її початковому етапі, коли рівень теплового випромінювання ще не є високим.

Теплове випромінювання, на відміну від теплопровідності та конвективного теплообміну, не вимагає наявності проміжного середовища між джерелом і поглиначем тепла. Перенесення енергії в цьому випадку здійснюється за допомогою електромагнітних хвиль.

Випромінювання переходить в основний вид передачі тепла, якщо діаметр вогнища пожежі перевищує 0,3 м [1], [2], [3] і визначає ріст і поширення пожежі в приміщенні. Саме внаслідок теплового випромінювання відбувається нагрівання віддалених від пожежі об'єктів до температури спалахування. Переважна частина випромінювання здійснюється дрібними частинками кіптяви, яка утворюється майже у всіх дифузних полум'ях. Це є причиною їх жовтого світіння.

В роботі [4] розглянуто розв'язок нестационарної задачі теплопровідності методом Фур'є для прямокутного паралелепіпеда і побудовано температурне поле для різних варіантів розміщення вогнища пожежі. В роботі [5] розв'язано нестационарну задачу теплопровідності скінченним різницевим методом з метою побудови температурного поля середовища. Результати цієї роботи використані для знаходження температурного поля підлоги приміщення, яка виготовлена із соснового паркету та цегляних стін приміщення, що покриті штукатуркою. В роботі [6] розглянуто модель процесу поширення пожежі із врахуванням конвективного теплообміну.

Метою цієї роботи є побудова температурного поля в приміщенні із врахуванням трьох видів теплообміну: теплопровідності, конвекції та теплового випромінювання.

Розглянемо процес поширення пожежі в приміщенні із підлогою, яка виготовлена із соснового паркету та цегляними стінами, що покриті штукатуркою. Розв'язавши скінченним різницевим методом [3] одновимірне рівняння теплопровідності

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = \frac{\lambda}{c\rho} \left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} \right), \quad (1)$$

з початковими умовами, які визначені експериментальним шляхом [4], отримано залежності температури від часу та температури від відстані L від вогнища пожежі, та у вигляді графічних залежностей зображені на рис. 1, рис.2.

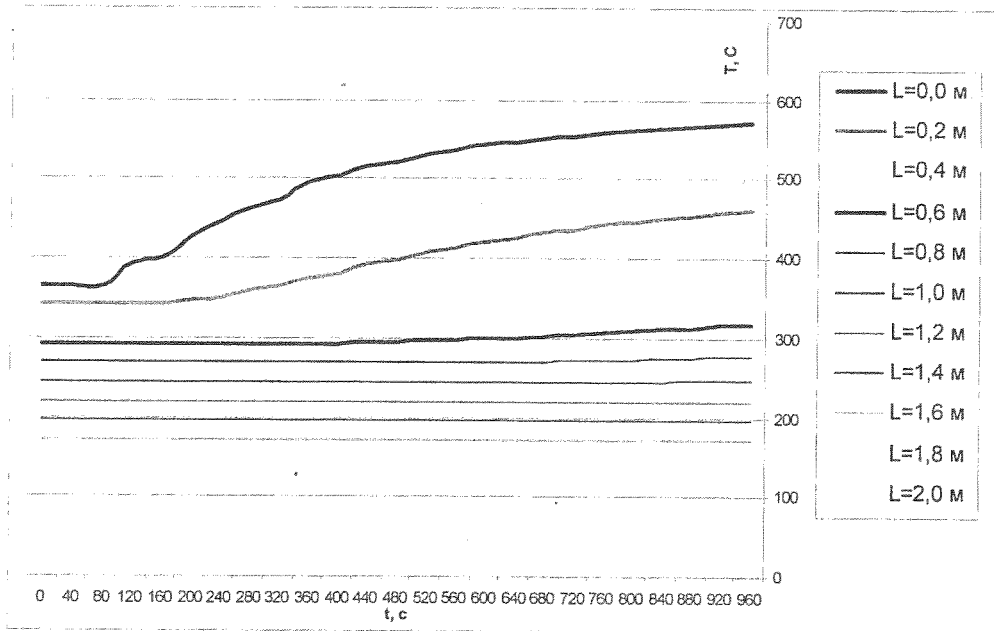


Рис. 1. Залежність температури в стінах приміщення від часу (кожна крива побудована із врахуванням відповідної відстані від вогнища пожежі)

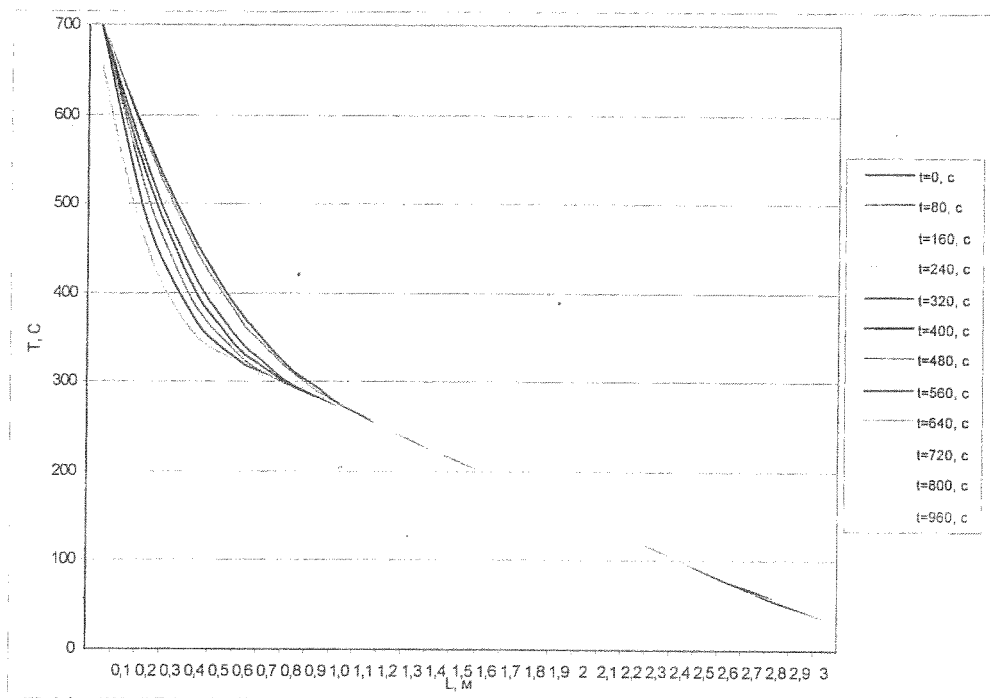


Рис. 2. Залежність температури від відстані до вогнища пожежі (кожна крива відповідає певному моменту часу від початку пожежі)

Отримані залежності дозволяють встановити середню швидкість поширення тепла від вогнища пожежі вздовж стін та підлоги із врахуванням лише теплопровідності матеріалу. Обчислена швидкість дорівнює, приблизно 5 м/год, що складає близько 4% загальної швидкості поширення пожежі.

Швидкість поширення пожежі в напрямку осі Ox із врахуванням конвективного теплообміну є результатом розв'язку рівняння

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = \frac{\lambda}{\rho \cdot c_p} \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} \quad (2)$$

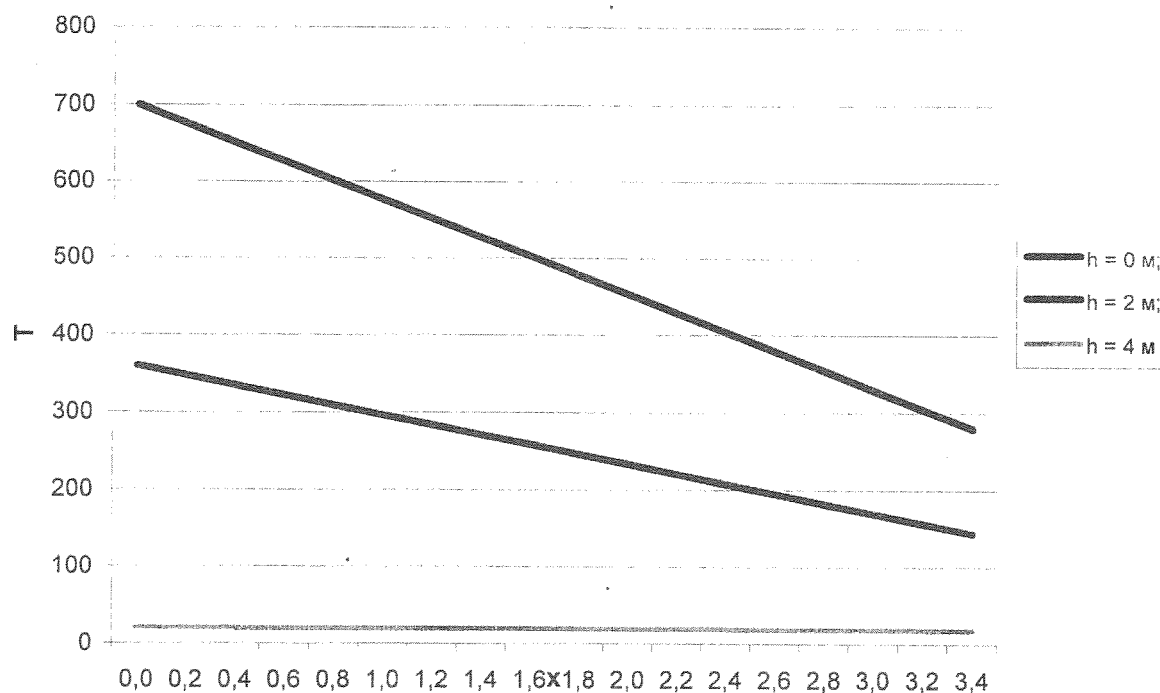


Рис.3. Залежність температури середовища (повітря) від відстані x до вогнища пожежі за рахунок конвективного теплообміну

На основі цього обчислено швидкість поширення пожежі за рахунок конвективного теплообміну, що дорівнює приблизно 24 м/год., що становить близько 22% загальної швидкості поширення пожежі.

Густину теплового потоку q між стінами приміщення за рахунок теплового випромінювання визначено із залежності

$$q = \frac{C_0 \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right]}{\frac{1}{A_1} + \frac{1}{A_2} - 1}, \quad (3)$$

де A_1 і A_2 - поглинальні здатності стін приміщення, C_0 - стала Больцмана.

Із знайденої густини теплового потоку отримано перепад температур в середовищі

$$T''^4 - T'^4 = 0,8q \frac{3\bar{\alpha}x}{4},$$

де $\alpha = \frac{0,45}{l}$, l - товщина шару середовища та розподіл температури в приміщенні (табл. 1)

Розподіл температури в процесі теплового випромінювання

Висота, h (м)	Час τ , с							
	0	4	8	12	16	20	24	28
	Температура $t_{m,h+i}$ ($^{\circ}\text{C}$) на відстані x (м) від вогнища пожежі							
	0,0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4
0	700.0	659.9	616.2	567.6	511.8	444.4	355.2	203.6
1	530.0	479.2	418.2	338.5	210.5	-	-	-
2	360.0	286.2	161.6	-	-	-	-	-

Обчислена швидкість поширення пожежі за рахунок теплового випромінювання дорівнює 82,5 м./год, що складає, приблизно, 74% загальної швидкості.

Враховавши швидкості поширення пожежі із врахуванням трьох видів теплообміну та коефіцієнт затримки спалаху, отримуємо температурне поле в приміщенні із врахуванням часу його розповсюдження у секундах, а також, із врахуванням того, що вогнище пожежі знаходиться в центрі приміщення (рис. 3).

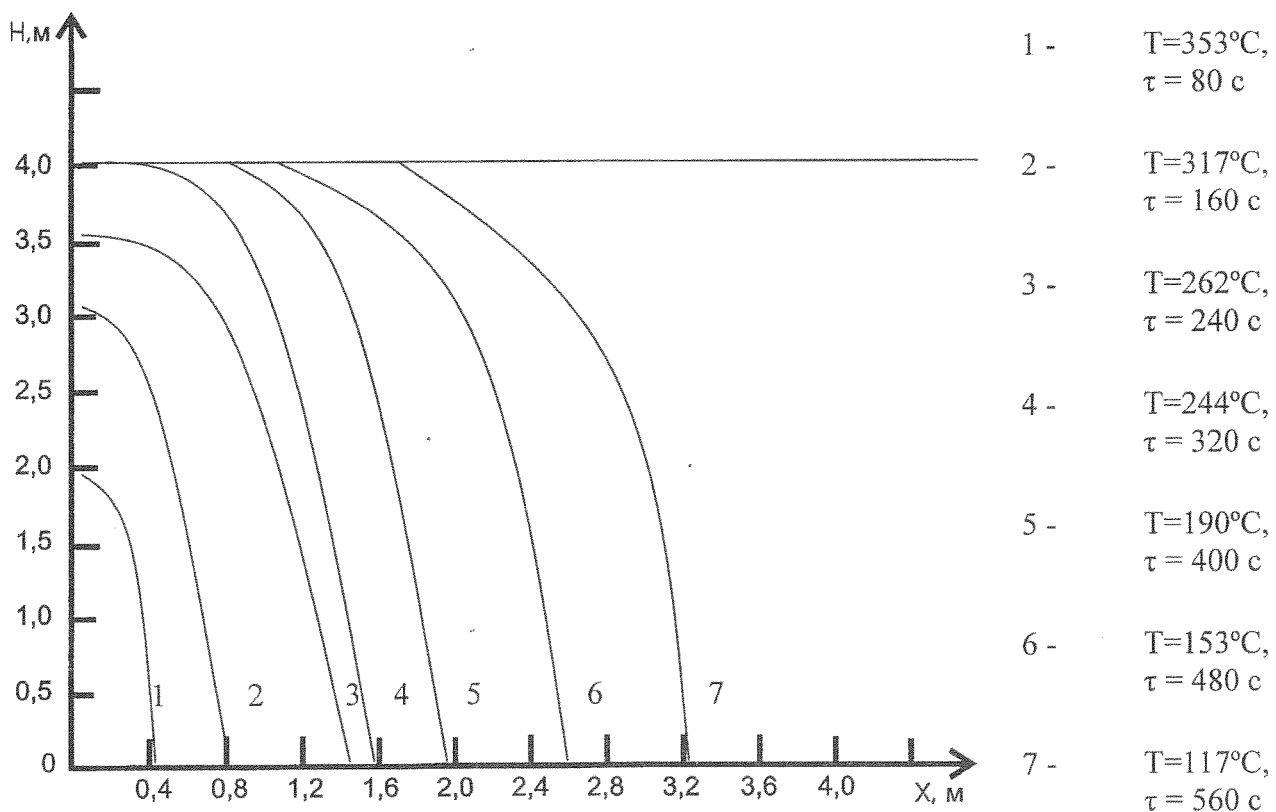


Рис. 4. Температурне поле в приміщенні

Оскільки складова, що відповідає теплопровідності, сумарної швидкості поширення пожежі, не значна, порівняно із складовими теплового випромінювання та конвекції, майже подібну картину температурного поля отримаємо і для випадку, якщо джерело виникнення пожежі знаходиться біля стіни приміщення.

Отримані результати показують, що близько 3-5% сумарної швидкості поширення пожежі становить складова, яка відповідає теплопровідності, приблизно 20-24 % становить складова, що відповідає за конвективний теплообмін та майже 71-77% - складова, що відповідає тепловому випромінюванню.

Із розподілу температурного поля в приміщенні видно, що температура 353°C, яка є температурою самоспалахування соснової деревини, пошириться на відстань 4м за 800с, що спричинить утворення нових осередків вогнищ.

ЛІТЕРАТУРА

1. Драйздейл Д. Введение в динамику пожаров.-М.: Стройиздат, 1990.- 424 с.
2. Алексащенко А.А., Кошмаров Ю.А. Теплоперенос при пожаре - М.: Стройиздат, 1982.-175 с.
3. Лыков А.В. Теория теплопроводности. –М.: Высшая школа, 1967.-599 с.
4. Ольшанский В.П., Тригуб В.В. Нестационарное температурное поле трехмерного массива насыпи, порожденное сферическим очагом // Проблемы пожарной безопасности. Сб науч. тр. АПБ Украины, Вып. 12 – Харьков: Фолио, 2002.- С.144-149.
5. Гуліда Е.М., Карабин О.О., Смотров О.О. Математична модель поширення лісових пожеж // Пожежна безпека. - 2005. –№ 6. -С.7-12.
6. Гуліда Е.М., Карабин О.О., Смотров О.О. Математична модель поширення лісових пожеж з урахуванням конвективного теплообміну // Пожежна безпека. 2005. –№ 7. – С.48-53.

УДК 621.314:539.377

*М.М.Семерак д.т.н., професор, В.І.Гудим, д.т.н., доцент, О.М Коваль
(Львівський державний університет безпеки життєдіяльності)*

ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЖИМІВ НАГРІВАННЯ ПРОВІДНИКІВ ЕЛЕКТРИЧНИМ СТРУМОМ

Шляхом математичного моделювання процесів тепловідведення у системі провідник електричного струму – електроізоляція, отримано залежності величин нагрівання провідника електричним струмом, які мають практичне застосування для промислових і побутових електричних мереж

Актуальність задачі. Однією із причин виникнення пожеж у побутових та громадських приміщеннях є нагрівання провідників електричних мереж струмами перевантаження або короткого замикання, які здатні за лічені секунди нагріти їх до небезпечних температур [1]. У довідковій літературі для проєктантів наведені за температурним режимом допустимі значення струмів, які є безпечними для таких мереж, однак часто трапляються випадки струмових перевантажень електричних мереж, які за даних умов теж можуть не нагрівати провідники до критичних температур [2]. Тому задача оцінки розподілу температури ізольованого провідника є важливою і актуальною, особливо для експлуатації та технічної експертизи.

Мета роботи. Задача полягає в тому, щоб отримати узагальнений вираз на основі розв'язання системи диференційних рівнянь теплового балансу з електричним джерелом нагрівання, який дозволив би виконати аналіз розподілу температури в системі провідник ізоляція, використовувати теплофізичні характеристики провідника та ізоляції.

Постановка задачі та її розв'язання. Під час протікання електричного струму величиною I у провіднику довжиною l і з поперечним перерізом, що має опір електричний

$R_e = \rho \frac{l}{S}$ впродовж часу, τ виділяється тепло рівне $Q = I^2 R_e \tau$, яке нагріває провідник і