

# Моделювання процесу теплопереносу в багат шаровій плоскій конструкції з урахуванням руйнування довільного шару

Р.М. Тацій

кафедра прикладної математики і механіки  
Львівський державний університет безпеки  
життєдіяльності  
Львів, Україна

М.Ф. Стасюк

кафедра прикладної математики і механіки  
Львівський державний університет безпеки  
життєдіяльності  
Львів, Україна  
marta\_stasiuk@yahoo.com

О.Ю. Пазен

кафедра прикладної математики і механіки  
Львівський державний університет безпеки життєдіяльності  
Львів, Україна  
opazen@gmail.com

## Modelling of heat transfer in multilayer flat design given arbitrary destruction layer

R. Tatsiy

Department of Applied Mathematics and Mechanics  
Lviv State University of Life Safety  
Lviv, Ukraine

M. Stasiuk

Department of Applied Mathematics and Mechanics  
Lviv State University of Life Safety  
Lviv, Ukraine  
marta\_stasiuk@yahoo.com

O. Pazen

Department of Applied Mathematics and Mechanics  
Lviv State University of Life Safety  
Lviv, Ukraine  
opazen@gmail.com

*Анотація*—Запропоновано та обґрунтовано схему дослідження розподілу нестационарного температурного поля по товщині багат шарової плоскої конструкції з можливістю руйнування довільного шару конструкції. В основі даної схеми покладено прямий метод дослідження крайових задач теплопровідності з кусково-неперервними коефіцієнтами та стаціонарною неоднорідністю.

*Abstract*—A scheme for research and proved unsteady temperature field distribution on the thickness of the flat multilayer structures with the possibility of random destruction layer construction. At the heart of the scheme put direct method

of investigating boundary value problems of heat conduction with piecewise continuous coefficients and stationary heterogeneity.

*Ключові слова*—теплопровідність, прямий метод, багат шарова конструкція

*Keywords*— thermal conductivity, direct method, multilayer design

## I. ВСТУП

Моделювання процесу поширення нестационарного температурного поля по товщині багат шарових плоских конструкцій, у пожежній справі, часто використовують для встановлення межі вогнестійкості будівельних конструкцій. На основі натурних випробувань досліджено, що межа вогнестійкості шаруватих конструкцій за граничним станом втрати теплоізолювальної здатності рівна і вище сумі меж вогнестійкості окремих її елементів [1]. Збільшення кількості шарів конструкції не зменшує її межі вогнестійкості за граничним станом втрати теплоізолювальної здатності. А якщо багат шарова конструкція складається з шару (або групи шарів), які під час нагрівання руйнуються? Прикладом цього може бути шар пінопласту, який досить часто використовується у будівництві в якості утеплювача, але при цьому руйнується при температурі близькій до 100<sup>0</sup>С.

Оскільки натурні випробування займають багато часу та фінансових витрат, автори вважають, що сьогодні аналітичні розрахунки межі вогнестійкості більш практичні.

Для досягнення даного результату необхідно вирішувати послідовність задач про розподіл нестационарного температурного поля у багат шарових плоских конструкціях зі зменшенням кількості шарів. Такий підхід фактично являє собою модифікований та автоматизований метод власних функцій та метод Фур'є [2].

## II. МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ

У даній роботі запропоновано методику встановлення межі вогнестійкості за граничним станом втрати теплоізолювальної здатності багат шарових будівельних конструкцій з урахуванням руйнування довільного шару.

Алгоритм методики такий:

1. Першим етапом є введення початкових даних.

2. Наступним кроком є розрахунок поширення нестационарного температурного поля по товщині багат шарової плоскої конструкції за допомогою ЕОМ, який подано у вигляді формули [3]

$$t(x, \tau) = \frac{\alpha_0 \alpha_n}{\Delta} \left( \psi_0(\tau) \sigma_n + \frac{\psi_n(\tau)}{\alpha_0} + \frac{\psi_0(\tau)}{\alpha_n} + (\psi_n(\tau) - \psi_0(\tau)) \left( \frac{x - x_i}{\lambda_i} + \sigma_i \right) \right) + \sum_{k=1}^{\infty} \left[ f_k \cdot e^{-\alpha_k \tau} - \int_0^{\tau} e^{-\alpha_k(\tau-s)} u_k(s) ds \right] \cdot X_k(x, \omega_k).$$

3. З заданим інтервалом часу, оператор перевіряє два основних показника розподілу нестационарного температурного поля по товщині багат шарової конструкції, а саме:

- втрату теплоізолювальної здатності конструкції;
- можливість руйнування довільного шару конструкції.

Така процедура повторюється до втрати теплоізолювальної здатності конструкції, або руйнування

довільного шару (групи шарів).

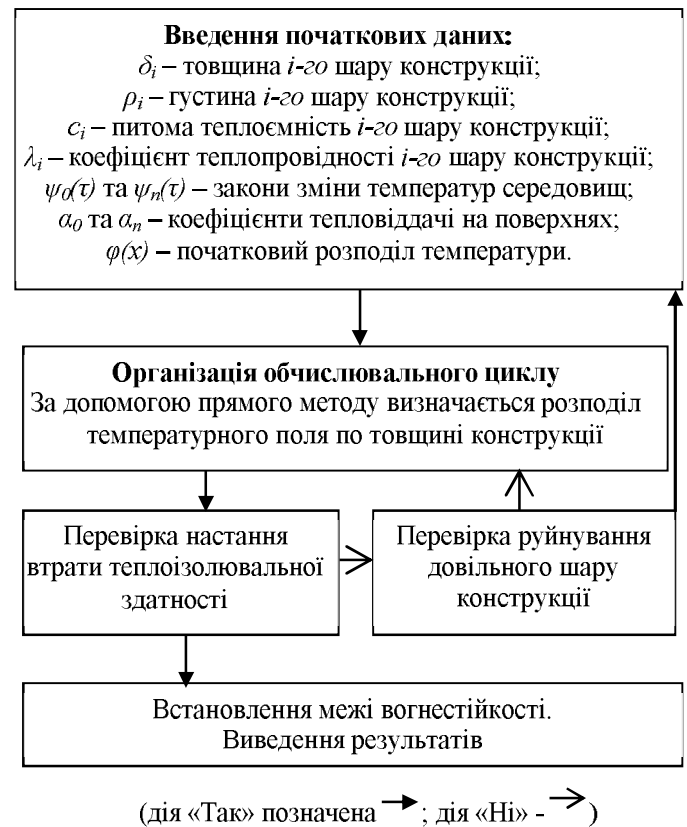


Рис. 1. Алгоритм обчислення втрати теплоізолювальної здатності з урахуванням руйнування довільного шару

4.1 Якщо конструкція не втратила своєї теплоізолювальної здатності, а вплив температури призвів до руйнування довільного шару конструкції, розрахунки припиняються, та фіксується час  $\tau_0$ . Далі проводиться постановка нової задачі розрахунку розподілу нестационарного температурного поля багат шарової конструкції без урахування зруйнованого шару (групи шарів). Вводяться нові початкові дані. Знову проводять розрахунок і оператор перевіряє показники втрати теплоізолювальної здатності та руйнування довільного шару конструкції. Якщо ж вплив температури знову призвів до руйнування довільного шару (групи шарів) конструкції, то розрахунок припиняється та фіксується час  $\tau_1$ . Така процедура продовжується до втрати теплоізолювальної здатності конструкції. Загальним часом втрати теплоізолювальної здатності є сума всіх фіксованих значень часу, тобто  $\tau = \tau_0 + \tau_1 + \dots + \tau_n$ , де  $\tau_n$  час втрати теплоізолювальної здатності.

4.2. Якщо ж відбувається втрата теплоізолювальної здатності багат шарової конструкції без руйнування довільного шару (групи шарів), розрахунок припиняється.

5. Результати розрахунку виводяться у вигляді явних формул розподілу нестационарного температурного поля для кожного з шарів конструкції. За допомогою даних формул результат можна вивести у вигляді табличних даних, графічних залежностей (об'ємних графіків, анімацій, тощо) зміни температури по товщині конструкції

в залежності від часу.

Реалізація даної схеми заснована на застосуванні отриманого авторами прямого методу розв'язку крайових задач теорій теплопровідності для багат шарових плоских конструкцій.

### III. МОДЕЛЬНА ЗАДАЧА

У якості модельної задачі досліджено вплив руйнування довільного шару будівельної конструкції на час вогнестійкості (втрати теплоізолювальної здатності) будівельної конструкції, яка складається з вапняної штукатурки, пінопласту, цегляної кладки та вапняної штукатурки [3]. У початковий момент часу температура стінки постійна і дорівнює  $25^{\circ}\text{C}$ .

Одна із зовнішніх поверхонь нагрівається шляхом конвекційного теплообміну з навколишнім середовищем, температура якого змінюється за законом  $t_c(\tau) = 3451g(8\tau + 1) + 25$ . Коефіцієнт теплообміну зі сторони поверхні, що обігривається, становить  $\alpha_0 = 25 \text{ Вт/м}^2\text{К}$ , а з поверхні, що не обігривається –  $\alpha_0 = 4 \text{ Вт/м}^2\text{К}$ . Необхідно визначити розподіл нестационарного температурного поля по товщині цієї конструкції та знайти час, за який температура поверхні, що не обігривається, досягне  $180^{\circ}\text{C}$  (критична температура втрати теплоізолювальної здатності).

Оскільки другий шар конструкції складається з пінопласту, то існує загроза його руйнації, коли температура на межі першого і другого шару підніметься до  $100^{\circ}\text{C}$ . Тому проведено два різні розрахунки розподілу нестационарного температурного поля (без урахування руйнування шару пінопласту, та з урахуванням руйнування шару пінопласту та, як наслідок, шару штукатурки).

Використавши запропонований алгоритм дослідження розподілу нестационарного температурного поля по товщині конструкції без урахування руйнування шару пінопласту, отримуємо розв'язок цієї задачі у вигляді графіку, що представлений на рис. 2.

Дослідимо тепер поширення нестационарного температурного поля по товщині конструкції з урахуванням руйнування другого шару. Проводячи відповідні розрахунки, одержимо графік зміни температури на поверхні, що не обігривається у вигляді графіку (рис. 2).

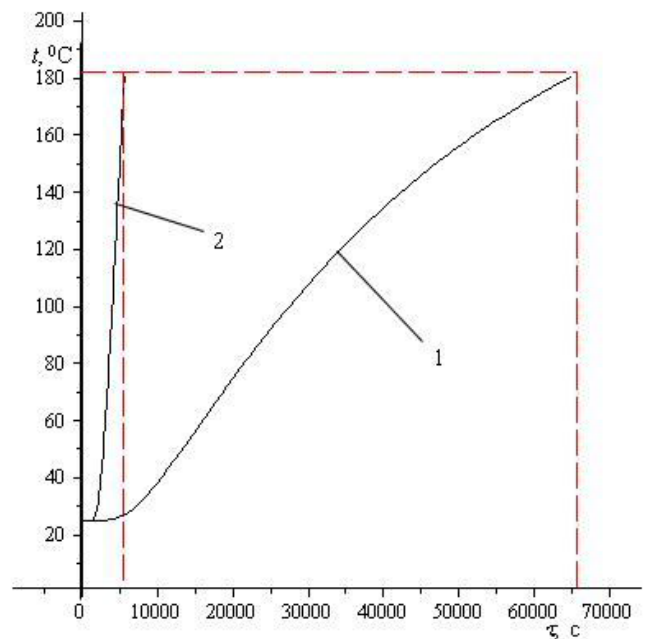


Рис. 2. Графік зміни температури зі сторони поверхні, що не обігривається: 1 – без урахування руйнування шару пінопласту; 2 – з урахуванням руйнування шару пінопласту.

### ВИСНОВКИ

Важливість урахування руйнування одного чи декількох шарів є досить суттєвою. Проведені теоретичні дослідження у вигляді модельної задачі чотиришарової конструкції (штукатурка – пінопласт – цегляна кладка – штукатурка) показали, що неврахування фактору руйнування довільного шару може призвести до помилкового визначення межі вогнестійкості. Теплоізолювальна здатність такої конструкції без урахування руйнації шару пінопласту становить 18 годин, а з урахуванням руйнування – 94 хв. У розглянутому випадку, час критичного прогріву реально зменшується приблизно у 11 раз.

### ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] Милованов А. Ф. Огнестойкость железобетонных конструкций, М.: Стройиздат, 1986. – 224 с.
- [2] Тацій Р. М. Загальна третя крайова задача для рівняння теплопровідності з кусково-сталими коефіцієнтами та внутрішніми джерелами тепла / Р. М. Тацій, Т. І. Ушак, О. Ю. Пазен // Пожежна безпека: Зб. наук. пр. – Львів: ЛДУ БЖД, 2015. – № 27. – С. 120-126.
- [3] Семерак М. М. Теплоизолирующая способность многослойных строительных конструкций с учётом разрушения произвольного слоя / М. М. Семерак, Р. М. Тацій, О. Ю. Пазен // Вестник Кокшетауского технического института Министерства по чрезвычайным ситуациям республики Казахстан: Сб. науч. тр. – Кокшетау: КТИ КЧС МВД РК, 2015. – № 4 (20). – С. 8–17.