

# МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СУМІЩЕНОЇ ТЕПЛОПРОВІДНОСТІ В МІКРОПОРАХ ПОРИСТИХ МАТЕРІАЛІВ

Anatoliy PAVLENKO<sup>1,2</sup>, Hanna KOSHLAK<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Kielce University of Technology, Faculty of Environmental, Geomatic and Energy Engineering

<sup>2</sup>Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas Ivano-Frankivsk, Ukraine

Дослідження присвячено розв'язанню задачі узагальненого теплообміну в пористих матеріалах (ПМ) на основі золи Бурштинської ТЕС. Моделюється процес теплопереносу конвекцією, теплопровідністю і випромінюванням в газовій порожнині з урахуванням теплопровідності стінок. У даній моделі передбачається, що щільність газу залежить від температури. Така залежність враховується в рівнянні конвекції для масових сил. Систему рівнянь можна записати у вигляді [1]:

$$\frac{\partial \vec{V}}{\partial \tau} + (\vec{V} \nabla) \vec{V} = g \Delta \vec{V} - \frac{1}{\rho} \nabla P + g T \beta \quad (1); \quad \text{div} = 0 \quad (2)$$

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} + \vec{V} \nabla T = a \Delta T - \text{div} \vec{q} \quad (3); \quad \text{div} \vec{q} = \frac{\partial q}{\partial x} + \frac{\partial q}{\partial y} + \frac{\partial q}{\partial z} \quad (4)$$

Рівняння теплопровідності стінки  $\frac{\partial T_m}{\partial \tau} = a \left( \frac{\partial^2 T_m}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T_m}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T_m}{\partial z^2} \right) \quad (5);$

$$q_x = -\frac{4\varepsilon\sigma T^3}{3} \frac{\partial T}{\partial x} \quad (6); \quad q_x = -\frac{4\varepsilon\sigma T^3}{3} \frac{\partial T}{\partial x}, \quad (7); \quad q_z = -\frac{4\varepsilon\sigma T^3}{3} \frac{\partial T}{\partial z} \quad (8).$$

Безрозмірні рівняння Буссінеска в змінних «вихор швидкості – функції струму – температура» для даної задачі в газовій порожнині:

$$\frac{\partial \Omega}{\partial \tau} - \sqrt{\frac{\text{Pr}}{\text{Ra}}} \Delta \Omega = \frac{\partial \theta}{\partial X} + \frac{\partial \Psi}{\partial X} \cdot \frac{\partial \Omega}{\partial Y} - \frac{\partial \Psi}{\partial Y} \cdot \frac{\partial \Omega}{\partial X} \quad (9)$$

Розв'язок рівнянь виконано у вигляді керуючих функцій, які характеризують конвективний перенос енергії в виділеному обсязі і біля поверхні з урахуванням розмірів і температури осередку для сумішеного тепло переносу:

$$\theta_{cm1}(x, y, \tau) = \int_0^{\tau} d\tau_0 \int_0^{\frac{2\Delta+X}{X}} \varphi^{cm1}(x, y; 0, \bar{y}; \tau - \tau_0) f_1(0, \bar{y}, \tau_0) d\bar{y} \quad (10)$$

$$f_1(0, \bar{y}, \tau_0) = \text{Bi} \theta_{cm} - \text{Sh}_{cm} \left[ \left( \theta_{cm} + \frac{T_0}{T_{cm} - T_0} \right)^4 - \left( \frac{T_{cm}}{T_{cm} - T_0} \right)^4 \right] \quad (11)$$

Графічне відображення моделі спільної теплопровідності в мікропорах визначає сутність процесу перенесення енергії в замкненому просторі: графіки розподілу температури подібні для пор з однаковими розмірами незалежно від температури стінки; в порі не можуть бути досягнуті значні градієнти температур, збільшення градієнту можливе здебільшого за рахунок фізичних властивостей матеріалу; додавання золи в сировинну суміш дозволила створити ПМ з максимальним термічним опором (градієнтом температури); площа під кривими графіків відображає міру впливу методу передачі енергії (конвекція, або теплопровідність).