

## ІНФОРМАЦІЙНІ МОДЕЛІ ПРОЦЕСІВ ПЕРЕНЕСЕННЯ В ГЕТЕРОГЕННИХ СЕРЕДОВИЩАХ

Д.т.н. І. В. Прокопович, М. О. Духаніна, В. В. Добровольська, І. А. Саух

Одеський національний політехнічний університет

Україна, Одеса

marianna.dukhanina@gmail.com

*Здійснено дослідження провідності у зернистому середовищі для процесу переносу теплоти. Запропоновано інформаційні моделі перенесення в гетерогенних середовищах у вигляді двох взаємопроникних полімерних сіток. Теплопровідність середовища визначали за інтегральною характеристикою структур першого та другого порядку його моделі.*

*Ключові слова: гетерогенні матеріали, провідність, інтегральна характеристика.*

Значна частина сучасних машинобудівних деталей виробляється з гетерогенних матеріалів, деякі властивості яких (наприклад, характеристики проникнення) не можуть бути із відповідною точністю обчислені як інтегральна характеристика матеріалів, які входять до композиту в цілому. Тому проблема пошуку більш точних моделей такого обчислення є вельме актуальною задачею.

Характерною особливістю зернистих систем є безперервний контакт між зернами, або, іншими словами, існування при будь-яких значеннях пористості нескінченного кластера. Зернисті матеріали можна розділити на два класи: монодисперсні, зернисті матеріали з близькими за розміром (ізомерними) частками і полідисперсні зернисті системи, розміри зерен яких відрізняються більш, ніж на порядок.

Дослідження процесу перенесення в зернистих матеріалах проводиться давно і запропоновано різні моделі і методи розрахунку коефіцієнта провідності. Найбільш повний опис структури таких матеріалів наведено в, де запропоновано дві схеми розрахунку теплопровідності зернистої системи [1].

У цих схемах зернисті структури розглядаються у вигляді двох взаємопроникних полімерних сіток: каркасу, утвореного хаотичною, але відносно щільною системою, зерна якої постійно контактують (структура першого порядку) і просторової мережі більш великих порожнин, що пронизують каркас (структура другого порядку).

В роботі здійснено дослідження провідності у зернистому середовищі для процесу переносу теплоти. Для цього процес перенесення розділяли на два етапи: спочатку встановлювали ефективну теплопровідність каркасу  $\lambda_K$ , а потім – теплопровідність всієї системи  $\lambda$ . Відношення теплопровідності системи до теплопровідності каркасу для взаємопроникних полімерних компонентів визначали за формулою:

$$\lambda/\lambda_K = c_K^2 + (1 - c_K)^2 v_K + 2v_K c_K (1 - c_K)/(v_K c_K + 1 - c_K), \quad (1)$$

де  $v_K = \lambda_{22}/\lambda_K$ ;  $c_K = \Delta/L = c(m_{22})$  та визначається з графіку.

Тут  $\lambda_{22}$  – провідність крупних пор, пронизують каркас, а пористість структури другого порядку:

$$m_{22} = \frac{m_2 - m_{2K}}{1 - m_{2K}}, \quad (2)$$

де  $m_2$  – об'ємна концентрація пор в зернистій системі;  $m_{2K}$  – пористість каркаса.

При розрахунках теплопровідності всієї системи був використаний метод елементарної комірки; невідомою величиною в (1) є теплопровідність каркаса  $\lambda_K$ . Для її розрахунку зручно використовувати метод усередненого елемента.

Як відомо, в порах існує молекулярне і променисте перенесення тепла. Тому провідність крупних пор є їх суммою

$$\lambda_{22} = \lambda_{22M} + \lambda_{22Л}, \quad (3)$$

величина якої залежить не тільки від фізичних властивостей газу, але і від геометричних і фізичних параметрів самої пори.

Молекулярна складова може бути обчислена за формулою, в якій невизначеним є розмір великих пустот  $\delta_2$ . У першому наближенні його можна прийняти рівним відстані між брусами у каркасі. Наближена оцінка  $\delta_2$  визначається як:

$$\delta_2 = 3d(c_K^{-1} - 1), \quad (4)$$

де  $d$  – середній діаметр зерна.

На основі формули (4) отримуємо молекулярну складову теплопровідності?

$$\lambda_{22M} = \lambda_{\Gamma} \left[ 1 + \frac{Bc_K}{3Hd(1-c_K)} \right]^{-1}. \quad (5)$$

Для оцінки променистої складової теплопровідності  $\lambda_{22Л}$  у великих наскрізних порах весь шар зернистого матеріалу розглядали як напівпрозоре ізотропне середовище. Невизначеним параметром тут є коефіцієнт ослаблення випромінювання  $\beta$ .

Для зернистих матеріалів  $d > 0,1$  мм за рахунок поглинання і розсіювання випромінювання на поверхнях коефіцієнт ослаблення випромінювання  $\beta$  становить:

$$\beta = \frac{4}{3d} c_K^2 (1 - c_K) (2 - \epsilon) = \beta(m_2).$$

Приймаючи  $(16/3)n^2_{\text{пр}}\sigma \approx 0,3$ , отримуємо значення [1]:

$$\lambda_{22Л} \approx 0,3 \left( \frac{T}{100} \right)^3 \frac{Yd}{c_K^2 (1 - c_K) (2 - \epsilon)}, \quad (6)$$

де  $Y = f(\tau, \epsilon)$ ;  $\tau = \beta l_{\text{СЛ}} = \tau(m_2)$ .

В цій формулі  $l_{\text{СЛ}}$  – товщина шару засипки.

Зокрема, для зернистих систем з пористістю  $m_2 < 0,95$   $Y \approx 1$ .

Друга схема розрахунку провідності зернистої системи запропонована М. А. Єремєєвим і цілком базується на формулах, отриманих з моделі усередненого елемента.

Розрахунки за обома схемами призводять до приблизно однакових чисельних результатів.

В ряді випадків формули можуть бути істотно спрощені. Так, наприклад, для вільної засипки з розміром зерен  $d > 0,1$  мм при тиску газу-наповнювача понад  $1,33 \cdot 10^4$  Па можна знехтувати впливом мікросороткостей і вважати зерна гладкими ( $h_{\text{Ш}}=0$ ) і жорсткими ( $\nu_1=\nu_2=0$ ). Тоді вираз для провідності  $\Lambda$  приймає вигляд

$$\frac{\Lambda}{\Lambda_1} y_4^2 \approx \left[ \frac{D}{y_3^2} + \frac{2\nu_{\Gamma}}{1-\nu_{\Gamma}} \left( D - 1 - W \ln \frac{W-D}{W-1} \right)^{-1} \right]^{-1} + \nu_{2\text{СЛ}} E \quad (7)$$

При розрахунках може виявитися корисною емпірична залежність між середнім діаметром частинок і пористістю зернистої системи у стані вільної засипки.

#### ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА

1. Дульнев Г.Н., Новиков В.В. Процессы переноса в неоднородных средах. Санкт-Петербург: Энергоатомиздат, 1991.

Prokopovich Igor, Dukhanina Marianna, Dobrovolska Victoria, Saukh Igor.  
**Information model of transfer processes in heterogeneous environments**

*Conductivity in a granular medium for the heat transfer process is studied. Information transport models in heterogeneous media in the form of two interpenetrating polymer networks are proposed. The thermal conductivity of the medium was determined from the integral characteristic of the structures of the first and second order of the model.*

*Keywords: heterogeneous materials, conductivity, an integral characteristic.*