

**М.І. Погожих**, д-р техн. наук, проф. (*ХДУХТ, Харків*)  
**М.С. Синскоп**, д-р техн. наук, проф. (*ХДУХТ, Харків*)  
**А.О. Пак**, канд. техн. наук, доц. (*ХДУХТ, Харків*)

## СТРУКТУРА РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧ ТЕОРІЇ СУШІННЯ КАПІЛЯРНО-ПОРИСТИХ ТІЛ СКЛАДНОЇ ФОРМИ

Огляд літератури за зазначеною темою показує, що всебічно досліджені розв'язки задач лише для таких форм тіл, для яких використовуються інтегральні перетворення (необмежена пластина, циліндр, куля, прямокутник). В той же час такі практичні форми капілярно-пористих тіл, як півкуля (або інші частини кулі), зрізаний конус, полий циліндр скінченої довжини, похила призма та ін. не стають предметом аналітичних досліджень. Це зумовлено тим, що будь-який метод повинен враховувати, як аналітичну, так і геометричну інформацію задачі. В роботі пропонується метод R-функцій для розв'язання задач тепломасопереносу. За допомогою цього методу будуються структури розв'язку початково-крайових задач, які точно враховують межові умови для області довільної форми та містять невизначені компоненти. Розглянемо в просторі  $Ox_1x_2x_3$  капілярно-пористе тіло  $\Omega$  з межею  $\partial\Omega$ . В області  $\Omega$  маємо безрозмірну систему рівнянь:

$$\begin{aligned} \frac{\partial T(x, Fo)}{\partial Fo} &= (1 + Ko^* PnLu) \Delta T - Ko^* Lu \Delta U, \\ \frac{\partial U(x, Fo)}{\partial Fo} &= Lu \Delta U - Lu Pn \Delta T. \end{aligned} \quad (1)$$

При наступних межових (третього роду) і початкових умовах:

$$\begin{aligned} \frac{\partial T(x, Fo)}{\partial n} + \beta_{11} T(x, Fo) + \beta_{12} U(x, Fo) &= q_1, \quad x \in \partial\Omega, \\ \frac{\partial U(x, Fo)}{\partial n} + \beta_{21} U(x, Fo) + \beta_{22} T(x, Fo) &= q_2, \quad x \in \partial\Omega, \\ T(x, Fo) = U(x, Fo) = 0, \quad Fo = 0. \end{aligned} \quad (2)$$

Рівності (1), (2) записані в безрозмірних величинах:  
 $x = (x_1, x_2, x_3)$ ,  $x_i = \frac{\bar{x}_i}{R}$  ( $i = 1, 2, 3$ ),  $Fo = \frac{a\bar{\tau}}{R^2}$ ,  $\tau \in [0, \tau_0]$ ,  $U = \frac{U_0 - \bar{U}}{U_0}$ ,

$$T = \frac{T_0 - \bar{T}}{T_0} \quad (\text{рискою відмічені розмірні величини}), \quad \beta_{11} = Bi_q, \\ \beta_{12} = 1(1 - \varepsilon)Bi_m KoLu, \quad \beta_{21} = (1 - (1 - \varepsilon)KoLuPn)Bi_m, \quad \beta_{22} = Bi_q Pn, \\ q_1 = Bi_q - (1 - \varepsilon)KoLuBi_m, \quad q_2 = Bi_m Pn + (1 - (1 - \varepsilon)KoLuPn)Bi_m.$$

Побудуємо структурні формули для компонент  $T(x, Fo)$ ,  $U(x, Fo)$  нестационарної крайової задачі (1), (2) таким чином, щоб межові умови (2) задовольнялись точно.

Нехай  $\omega(x) = 0$  – нормалізоване до першого порядку ( $|\nabla \omega(x)| = 1$ ) рівняння межі  $\partial\Omega$  області  $\Omega$ , яке будується за допомогою R-функцій. Умова нормалізованості лівої частини рівняння дозволяє записати диференціальний оператор:

$$D_1 = \frac{\partial \omega}{\partial x_1} \frac{\partial}{\partial x_1} + \frac{\partial \omega}{\partial x_2} \frac{\partial}{\partial x_2} + \frac{\partial \omega}{\partial x_3} \frac{\partial}{\partial x_3}, \quad (3)$$

який визначений в області  $\Omega$ , а на  $\partial\Omega$  співпадає з похідною за напрямком нормалі  $\frac{\partial}{\partial n}$ . Коефіцієнти  $\frac{\partial \omega}{\partial x_i}$  ( $i = 1, 2, 3$ ) оператора (3) збігаються на

$$\partial\Omega \text{ з напрямними косинусами нормалі } \cos(n, x_i) = \left. \frac{\partial \omega}{\partial x_i} \right|_{\partial\Omega} \quad (i = 1, 2, 3).$$

Межові умови (2), які визначені на  $\partial\Omega$ , продовжимо в  $\Omega$  за допомогою оператора  $D_1$ :

$$D_1 T + \beta_{11} T + \beta_{12} U = q_1 + \omega \xi_0, \quad D_1 U + \beta_{21} U + \beta_{22} T = q_2 + \omega \eta_0. \quad (4)$$

Вирази (4) визначені в  $\Omega \cup \partial\Omega$ , а  $\xi_0, \eta_0$  – довільні функції. Структуру розв'язку будемо представляти функціями:

$$T = \Phi_1 + \omega \Phi_2, \quad U = \Psi_1 + \omega \Psi_2, \quad (5)$$

де  $\Phi_i, \Psi_i$  ( $i = 1, 2$ ) – довільні функції. Підставимо (5) в (4). З урахуванням формули  $D_1 \omega = 1 + O(\omega^2)$  та об'єднання довільних функцій, що містять множник  $\omega$ , одержимо:

$$D_1 \Phi_1 + \Phi_2 + \beta_{11} \Phi_1 + \beta_{12} \Psi_1 = q_1 + \omega \xi_1, \\ D_1 \Psi_1 + \Psi_2 + \beta_{21} \Psi_1 + \beta_{22} \Phi_1 = q_2 + \omega \eta_1, \quad (6)$$

де  $\xi_1, \eta_1$  – нові довільні функції. Виразимо  $\Phi_2, \Psi_2$  із (6) та підставимо в (5). Одержимо структуру розв'язку:

$$\begin{aligned} T &= \Phi_1 - \omega D_1 \Phi_1 - \beta_{11} \omega \Phi_1 - \beta_{12} \omega \Psi_1 + \alpha q_1, \\ U &= \Psi_1 - \omega D_1 \Psi_1 - \beta_{21} \omega \Phi_1 - \beta_{22} \omega \Psi_1 + \alpha q_2. \end{aligned} \quad (7)$$

У формулах (7)  $\Phi_1, \Psi_1$  – невизначені компоненти, незалежно від вибору яких, межові умови (2) задовольняються точно. Свободою у виборі функцій  $\Phi_1, \Psi_1$  можна скористатися для задовільнення системи диференціальних рівнянь (1) варіаційним або проєкційним методами.

**М.І. Погожих**, д-р техн. наук, проф. (*ХДУХТ, Харків*)

**М.А. Чеканов**, канд. техн. наук, доц. (*ХДУХТ, Харків*)

## **ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ХАРЧОВИХ ВИРОБНИЦТВ**

Розвиток сучасних харчових виробництв неможливий без створення нового устаткування та оптимізації існуючих технологічних процесів. Для забезпечення енергоефективності процесів використовується системний підхід, який містить у собі такі заходи: визначення, вимірювання, аналіз, покращення та управління.

Під час дослідження енергоефективності існуючого устаткування спочатку необхідно провести вимірювання процесних характеристик (температура, тиск, об'єм, витрата та ін.), визначити основного споживача енергії та характер її споживання. За сукупністю цих дій можна визначити ефективність витрати енергії та напрям модернізації для забезпечення оптимізації існуючих технологічних процесів.

Заходи, які вживаються для збільшення енергоефективності поділяють на активні та пасивні. До пасивних належить заміна застарілих пристроїв новими з більшим коефіцієнтом корисної дії, з низьким енергоспоживанням, більшим ресурсом роботи, покращеною тепловою ізоляцією устаткування тощо. До активних заходів належить насамперед забезпечення автоматичного контролю та алгоритму управління процесом. Для цього використовують сучасні комп'ютерні та мікропроцесорні системи керування устаткованими датчиками з оберненим зв'язком та аналого-цифровими та цифро-аналоговими перетворювачами, оскільки сьогодні вони стали одним із найбільш дешевих, швидких та безпечних способів збирання та обробки інформації, з її подальшим використанням. Постійний розвиток