



УДК 517.955;519.673

А. Я. Бомба, І. М. Присяжнюк, О. В. Присяжнюк

**Асимптотичний метод розв'язання одного класу
модельних сингулярно збурених задач процесу
масопереносу в різнопористих середовищах**

(Представлено членом-кореспондентом НАН України С. І. Ляшком)

Побудовано алгоритм асимптотичного розвитку розв'язків одного класу модельних нелінійних сингулярно збурених крайових задач однокомпонентного конвективно-адсорбційно-дифузійного масопереносу в різнопористих середовищах. Наведено результати комп'ютерних розрахунків.

У зв'язку з інтенсивним науково-технічного прогресом однією із важливих проблем стає ефективно впровадження надсучасних нанотехнологій і наноматеріалів. Це, в свою чергу, вимагає розробки і застосування нових методів і підходів до моделювання процесів масопереносу в неоднорідних нанопористих середовищах з метою дослідження їхньої внутрішньої кінетики. Так, зокрема, задачі моделювання процесів адсорбції в мікропористих цеолітних катализаторах використовуються в технологіях сепарації та очищення газів в хімічній та нафтопереробній галузях, в інженерній екології тощо. Каталітичне середовище, в якому протікає процес, виражається у вигляді системи мікропористих частинок та системи міжчастинкових порожнин (макропор) і відповідно до цього перенос розглядається як складна система, що враховує взаємозв'язки між внутрішніми градієнтами концентрацій всередині частинок та зовнішніми градієнтами міжчастинкового простору. В роботах [1–3] розглянуто проблеми математичного моделювання масопереносу різної природи в однорідних і неоднорідних пористих середовищах без урахування внутрішньої структури пористих частинок. У [4–7] для врахування впливу дифузійного масопереносу на макрорівні використано лінійні і нелінійні моделі, які побудовані на частковому врахуванні дифузії в частинках або на інтегральному підході і не враховують структуру середовища. На сьогодні вченими розроблено чимало підходів до моделювання процесів масопереносу в пористих каталітичних середовищах, які дозволяють достатньою мірою враховувати вплив масопереносу на рівні частинок.

© А. Я. Бомба, І. М. Присяжнюк, О. В. Присяжнюк, 2013

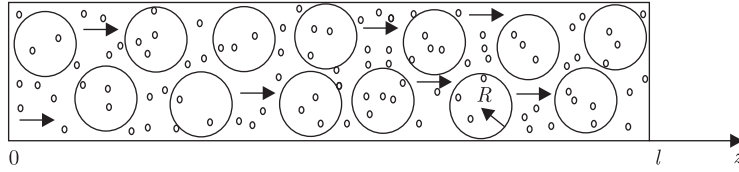


Рис. 1

Зокрема в [8, 9] розглянуто масоперенос забрудненої речовини в кристалічних середовищах частинок мікропористої структури. Актуальним є питання математичного моделювання процесів масопереносу в різнопористих середовищах у випадку превалювання одних складових процесу над іншими, що приводить до появи малого параметра при відповідних членах рівняння. В даній роботі змодельовано сингулярно збурений процес однокомпонентної конвективної дифузії в наносередовищі з урахуванням масообміну між мікропористими частинками та міжчастинковим простором [9].

Постановка задачі. Розглянемо математичну модель однокомпонентного конвективно-адсорбційно-дифузійного масопереносу в наносередовищі частинок мікропористої структури (рис. 1) у вигляді системи диференціальних рівнянь вигляду

$$\sigma_1 \frac{\partial c}{\partial t} = \varepsilon D_* \frac{\partial^2 c}{\partial z^2} - v(z) \frac{\partial c}{\partial z} - \varepsilon D_*^* \left(\frac{\partial q}{\partial r} \right) \Big|_{r=R}, \quad (1)$$

$$\sigma_2 \frac{\partial q}{\partial t} = \varepsilon D^* \left(\frac{\partial^2 q}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial q}{\partial r} \right) \quad (2)$$

при початкових та крайових умовах:

$$c(t, z)|_{t=0} = 0, \quad q(t, r, z)|_{t=0} = 0, \quad (3)$$

$$c(t, z)|_{z=0} = c_*(t), \quad q(t, r, z)|_{r=R} = kc(t, z), \quad (4)$$

$$\frac{\partial c(t, z)}{\partial z} \Big|_{z=l} = 0, \quad \frac{\partial q(t, r, z)}{\partial r} \Big|_{r=0} = 0, \quad (5)$$

де l — товщина наносередовища (довжина фільтра); R — радіус наночастинки; $v(z)$ — швидкість конвективного перенесення. Рівняння (1) описує масоперенос у міжчастинковому просторі і містить у правій частині функцію впливу дифузії в пористих частинках на дифузійний перенос у міжчастинковому просторі. В (2) відображено внутрішньочастинковий масоперенос з поточною концентрацією $q(t, r, z)$, що пов'язана з концентрацією в міжчастинковому просторі $c(t, z)$ другою з крайових умов (4) — умовою рівноваги на поверхні частинок, де $k > 0$ — константа адсорбційної рівноваги. Тут σ_1, σ_2 — коефіцієнти пористості відповідно макро- та мікросередовища.

Коефіцієнти εD^* та εD_* характеризують швидкість протікання процесів дифузійного масопереносу в міжчастинковому просторі та в порах частинок відповідно, а коефіцієнт εD_*^* — вплив внутрішньочастинкового дифузійного переносу на міжчастинковий; ε — малий параметр ($v(z) > v_* \gg \varepsilon > 0$). Вважаємо, що всі функції, які фігурують в умовах (3)–(5), є досить гладкими та узгодженими між собою вздовж ребер та кутових точок даної області. Зауважимо, що питання ідентифікації параметрів задач дифузії в нанопористому середовищі досліджено, зокрема, в [10].

Асимптотичне наближення розв'язку задачі шукаємо у вигляді асимптотичних рядів

$$c(t, z) = c_0(t, z) + \varepsilon c_1(t, z) + \dots + \varepsilon^n c_n(t, z) + \Pi_0(t, \xi) + \varepsilon \Pi_1(t, \xi) + \dots + \varepsilon^{n+1} \Pi_{n+1}(t, \xi) + R_n^1(t, z, \varepsilon), \quad (6)$$

$$q(t, r, z) = q_0(t, r, z) + \varepsilon q_1(t, r, z) + \dots + \varepsilon^n q_n(t, r, z) + F_0(t, \bar{r}, z) + \varepsilon^{1/2} F_{1/2}(t, \bar{r}, z) + \varepsilon^1 F_1(t, \bar{r}, z) + \dots + \varepsilon^{j/2} F_{j/2}(t, \bar{r}, z) + \dots + \varepsilon^{n+1} F_{n+1}(t, \bar{r}, z) + R_n^2(t, r, z, \varepsilon), \quad (7)$$

де $c_i(t, z)$, $q_i(t, r, z)$ ($i = \overline{0, n}$) — члени відповідних регулярних частин асимптотики; $\Pi_p(t, \xi)$ ($p = \overline{0, n+1}$), $F_{j/2}(t, \bar{r}, z)$ ($j = \overline{0, 2(n+1)}$) — функції типу пограничного шару в околі $z = l$ та $r = R$, $\xi = (l - z)\varepsilon^{-1}$ і $\bar{r} = (R - r)\varepsilon^{-1/2}$ — відповідні регуляризуючі перетворення; R_n^1 , R_n^2 — залишкові члени.

Підставляючи (6), (7) в (1)–(5) та прирівнявши коефіцієнти при однакових степенях ε [5], отримуємо для кожного $i = \overline{0, n}$ такі задачі:

$$\begin{cases} \sigma_2 q_i t(t, r, z) = g_i(t, r, z), \\ q_i(0, r, z) = h_i(r, z), \end{cases}$$

де $g_0(t, r, z) = 0$, $h_0(r, z) = 0$, $g_i(t, r, z) = D^*(q_{i-1rr}(t, r, z) - 2q_{i-1r}(t, r, z)/r)$, $h_i(r, z) = 0$ ($i = \overline{1, n}$);

$$\begin{cases} v(z)c_i z(t, z) + \sigma_1 c_i t(t, z) = u_i(t, z), \\ c_i(0, z) = w_i^1(z), \quad c_i(t, 0) = w_i^2(t), \end{cases}$$

якщо $i \neq 0$, то $u_i(t, z) = D_* c_{i-1zz}(t, z) - D_*^*(q_{i-1r}(t, R, z) + F_{i-1r}(t, R, z) + \varepsilon^{1/2} F_{i-(1/2)r}(t, R, z))$, $w_i^1(z) = 0$, $w_i^2(t) = 0$, $u_0(t, z) = 0$, $w_0^1(z) = c_0^0(z)$, $w_0^2(t) = c_*(t)$;

$$\begin{cases} D_* \Pi_{i\xi\xi}(t, \xi) + v(z)\Pi_{i\xi}(t, \xi) = \mu_i(t, \xi), \\ \Pi_i(t, 0) = v_i(t), \Pi_i(t, \xi)|_{\xi \rightarrow \infty} \rightarrow 0, \end{cases}$$

$\mu_0(t, \xi) = 0$, $\mu_i(t, \xi) = \sigma_1 \Pi_{i-1t}(t, \xi) + v'(l)\xi \Pi_{i-1\xi}(t, \xi) - (1/2)v''(l)\xi^2 \Pi_{i-2\xi}(t, \xi) + \dots + (-1)^i \times v^{(i)}(l)\xi^i \Pi_{0\xi}(t, \xi)$ при $i = \overline{1, n+1}$, $v_i(t) = -c_i(t, l)$ при $i = \overline{0, n}$, $v_{n+1}(t) = 0$;

$$\begin{cases} \sigma_2 F_{it}(t, \bar{r}, z) = D^* F_{i\bar{r}\bar{r}}(t, \bar{r}, z) + \gamma_i(t, \bar{r}, z), \\ F_i(0, \bar{r}, z) = 0, \quad F_i(t, 0, z) = \lambda_i(t, z), \quad F_{i\bar{r}}(t, \bar{r}, z)|_{\bar{r} \rightarrow \infty} = 0, \end{cases}$$

$\gamma_0(t, \bar{r}, z) = 0$, $\gamma_i(t, \bar{r}, z) = -D^* \sum_{m=1}^{2i} \frac{2\bar{r}^{m-1}}{R^m} F_{i-\frac{m}{2}\bar{r}}(t, \bar{r}, z)$ при $i = \overline{1, n+1}$, $\lambda_i(t, z) = k(c_i(t, z) + \Pi_i(t, z))$ при $i = \overline{0, n}$, $\lambda_{n+1}(t, z) = k(\Pi_{n+1}(t, z))$;

$$\begin{cases} \sigma_2 F_{i+\frac{1}{2}t}(t, \bar{r}, z) = D^* F_{i+\frac{1}{2}\bar{r}\bar{r}}(t, \bar{r}, z) - \sum_{m=1}^{2i+1} \frac{2\bar{r}^{m+1}}{R^m} F_{i-\frac{m}{2}\bar{r}}(t, \bar{r}, z), \\ F_{i+\frac{1}{2}}(0, \bar{r}, z) = 0, F_{i+\frac{1}{2}}(t, 0, z) = 0, \quad F_{i+\frac{1}{2}\bar{r}}(t, \bar{r}, z)|_{\bar{r} \rightarrow \infty} = 0. \end{cases}$$

Так, наприклад, при $n = 1$ отримуємо:

$$q_i(t, r, z) = 0, \quad i = \overline{0, 1};$$

$$c_0(t, z) = \begin{cases} c_* \left(\sigma_1 \left(\frac{t}{\sigma_1} - f(z) \right) \right), & t \geq \sigma_1 f(z), \\ 0, & t < \sigma_1 f(z), \end{cases}$$

$$c_1(t, z) = \begin{cases} \int_0^z \frac{u_1(\sigma_1((t/\sigma_1) - f(z) + f(\tilde{z})), \tilde{z})}{v(\tilde{z})} d\tilde{z}, & t \geq \sigma_1 f(z), \\ \frac{1}{\sigma_1} \int_0^t u_1 \left(\tilde{t}, f^{-1} \left(\frac{\tilde{t}}{\sigma_1} - \frac{t}{\sigma_1} + f(z) \right) \right) d\tilde{t}, & t < \sigma_1 f(z), \end{cases}$$

$f(z) = \int_0^z \frac{d\tilde{z}}{v(\tilde{z})}$, $f^{-1}(z)$ – функція, обернена до функції $f(z)$ стосовно змінної z ;

$$\Pi_0(t, \xi) = D_* c_{0\xi}(t, l) v^{-1}(l) e^{-\frac{v(l)}{D_*} \xi},$$

$$\Pi_1(t, \xi) = v^{-1}(l) e^{-\frac{v(l)}{D_*} \xi} \left(v'(l) c_{0\xi}(t, l) \left(\frac{\xi^2}{2D_*} + \frac{\xi}{v(l)} + \frac{D_*}{v^2(l)} \right) - \sigma_1 v^{-1}(l) c_{0\xi t}(t, l) \left(\xi + \frac{D_*}{v(l)} \right) \right),$$

$$\Pi_2(t, \xi) = \xi^4 e^{-\frac{v(l)}{D_*} \xi} s_1 + \xi^3 e^{-\frac{v(l)}{D_*} \xi} s_2 + \xi^2 e^{-\frac{v(l)}{D_*} \xi} s_3 + \xi e^{-\frac{v(l)}{D_*} \xi} s_4 + s_5,$$

де

$$s_1 = \frac{(v'(l))^2}{v(l) D_*^3} c_{0\xi}, \quad s_2 = \left(\frac{v'(l)}{2v(l) D_*} - \frac{\sigma_1}{3v(l) D_*} - 1 \right) \frac{v'(l)}{v(l) D_*} c_{0\xi} - \frac{\sigma_1 v'(l)}{6v^2(l) D_*^2} c_{0\xi t},$$

$$s_3 = \left(\frac{3v'(l)}{v(l) D_*} - 1 \right) \frac{v'(l)}{2v(l)^2} c_{0\xi} - \frac{2\sigma_1 v'(l)}{v^3(l) D_*} c_{0\xi t} + \frac{\sigma_1^2}{2v^3(l) D_*} c_{0\xi t t},$$

$$s_4 = \left(-\frac{3v'(l)}{v(l) D_*} - 1 \right) \frac{v'(l)}{v(l)^3} c_{0\xi} - \frac{5\sigma_1 v'(l)}{v^4(l)} c_{0\xi t} + \left(\frac{1}{v(l)} - 1 \right) \frac{\sigma_1^2}{v^3(l)} c_{0\xi t t},$$

$$s_5 = -\left(\frac{3}{v(l)} + D_* \right) \frac{v'(l) D_*}{v(l)^4} c_{0\xi} e^{-\frac{v(l)}{D_*} \xi} - \frac{5\sigma_1 v'(l) D_*}{v^5(l)} c_{0\xi t} e^{-\frac{v(l)}{D_*} \xi} + \left(\frac{1}{v(l)} - 1 \right) \frac{\sigma_1^2 D_*}{v^4(l)} c_{0\xi t t} e^{-\frac{v(l)}{D_*} \xi} +$$

$$+ \frac{D_*}{v(l) D_*} \left(\int_0^\xi F_{1\bar{r}}(t, 0, z) d\xi - e^{-\frac{v(l)}{D_*} \xi} \int_0^\xi F_{1\bar{r}}(t, 0, z) e^{\frac{v(l)}{D_*} \xi} d\xi \right).$$

Поправки $F_{j/2}(t, \bar{r}, z)$ ($j = \overline{0, 4}$) шукаємо числовими методами, використовуючи неявну різницеву схему:

$$\eta = 0, \dots, M, \quad z_\eta = \frac{\eta l}{M}, \quad \rho = 0, \dots, N, \quad \bar{r}_\rho = \frac{\rho R}{N}, \quad d = 0, \dots, K, \quad t_d = \frac{dT}{K},$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \sigma_2 \frac{F_{j/2}(t_{d+1}, \bar{r}_\rho, z_\eta) - F_{j/2}(t_d, \bar{r}_\rho, z_\eta)}{\tau} = \\ = D_*^* \frac{F_{j/2}(t_{d+1}, \bar{r}_{\rho+1}, z_\eta) - 2F_{j/2}(t_{d+1}, \bar{r}_\rho, z_\eta) + F_{j/2}(t_{d+1}, \bar{r}_{\rho-1}, z_\eta)}{h^2} + \\ + \gamma_{j/2}(t_{d+1}, \bar{r}_\rho, z_\eta), \\ \rho = 1, \dots, N-1, \quad d = 0, \dots, K-1, \quad \eta = 0, \dots, M, \\ F_{j/2}(t_0, \bar{r}_\rho, z_\eta) = 0, \quad F_{j/2}(t_{d+1}, \bar{r}_0, z_\eta) = \lambda_{j/2}(t_{d+1}, z_\eta), \\ F_{j/2}(t_{d+1}, \bar{r}_N, z_\eta) - F_{j/2}(t_{d+1}, \bar{r}_{N-1}, z_\eta) = 0, \end{array} \right.$$

де $\tau = t_1 - t_0$, $h = (r_1 - r_0)\varepsilon^{-1/2}$, $\lambda_0(t, z) = k(c_0(t, z) + \Pi_0(t, z))$, $\lambda_{1/2}(t, z) = \lambda_{3/2}(t, z) = 0$, $\lambda_1(t, z) = k(c_1(t, z) + \Pi_1(t, z))$, $\lambda_2(t, z) = k\Pi_2(t, z)$, $\gamma_0(t, \bar{r}, z) = 0$, $\gamma_{j/2}(t, \bar{r}, z) = -\sum_{m=1}^j \frac{2D_*^* \bar{r}^{m-1}}{R^m} F_{1-\frac{m}{2}\bar{r}}(t, \bar{r}, z)$ ($j = \overline{1, 4}$).

Для оцінки залишкових членів маємо задачу:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sigma_1 R_{nt}^1(t, z, \varepsilon) = \varepsilon D_* R_{nzz}^1(t, z, \varepsilon) - v(z) R_{nz}^1(t, z, \varepsilon) + \varepsilon^{n+1} b_1(t, z, \xi, r, \bar{r}, \varepsilon), \\ \sigma_2 R_{nt}^2(t, r, z, \varepsilon) = \varepsilon D_* \left(R_{nrr}^2(t, r, z, \varepsilon) + \frac{2}{r} R_{nr}^2(t, r, z, \varepsilon) \right) + \varepsilon^{n+1} b_2(t, r, z, \bar{r}, \varepsilon), \\ R_n^1(t, 0, \varepsilon) = 0, \quad R_n^1(0, z, \varepsilon) = O(\varepsilon^{n+1}), \quad \left. \frac{\partial R_n^1}{\partial z} \right|_{z=l} = O(\varepsilon^{n+1}), \\ \left. \frac{\partial R_n^2}{\partial r} \right|_{r=0} = O(\varepsilon^{n+1}), \quad R_n^2(t, R, z, \varepsilon) = k R_n^1(t, z, \varepsilon), \quad R_n^2(0, r, z, \varepsilon) = O(\varepsilon^{n+1}), \end{array} \right.$$

де $b_1(t, z, \xi, r, \bar{r}, \varepsilon)$ та $b_2(t, r, z, \bar{r}, \varepsilon)$ — відомі функції, які є сумою добутків уже відомих членів рядів (6), (7), а також коефіцієнтів при ε розкладу функції $v(l - \varepsilon\xi)$ в ряд Тейлора в околі $z = l$. Вимагаючи достатньої гладкості та узгодженості початкових і граничних умов [7], на основі принципу типу максимуму для рівнянь в частинних похідних приходимо до справедливості такого твердження:

$$R_n^1(t, z, \varepsilon) = O(\varepsilon^{n+1}), \quad R_n^2(t, r, z, \varepsilon) = O(\varepsilon^{n+1}).$$

Наведемо результати числового експерименту при $n = 1$, $l = 1$, $N = 50$, $R = 10^{-5}$, $M = 20$, $T = 2$, $K = 100$, $\varepsilon = 10^{-10}$, $D_* = 1$, $D_*^* = 1$, $D_*^* = 0,3$, $\sigma_1 = 0,7$, $\sigma_2 = 0,8$, $v(z) = 1$, $k = 0,8$, $c_*(t) = \begin{cases} (0,01 \cos((15t + \pi) + 0,01))/2, & t \leq \pi/15, \\ 0,01, & t > \pi/15. \end{cases}$

На рис. 2, а зображено розподіл концентрації забруднюючої речовини в мікропорі в моменти часу $t = 0,5$, $t = 0,6$, $t = 0,8$, $t = 1$, $t = 1,8$ (криві 1–5 відповідно) з координатою $z = 0,2$. Ці ж результати відображено на рис. 2, б при $z = 0,6$.

Вплив коефіцієнта масообміну D_*^* на розподіл концентрації забруднюючої речовини в міжчастинковому просторі показано на рис. 3, а. Так, крива 1 відображає регулярну частину $c_0(t)$, крива 2 — $c_0(t) + \varepsilon c_1(t)$ при $D_*^* = 0,3$, крива 3 — $c_0(t) + \varepsilon c_1(t)$ при $D_*^* = 0,5$ та крива 4 — $c_0(t) + \varepsilon c_1(t)$ при $D_*^* = 0,9$ в момент часу $t = 1,6$. На рис. 3, б зображено розподіл концентрації забруднюючої речовини в мікропорі з координатою $z = 0,2$ в момент часу $t = 0,5$ при $k_1 = 0,8$, $k_2 = 0,6$, $k_3 = 0,4$, $k_4 = 0,2$ (криві 1–4 відповідно).

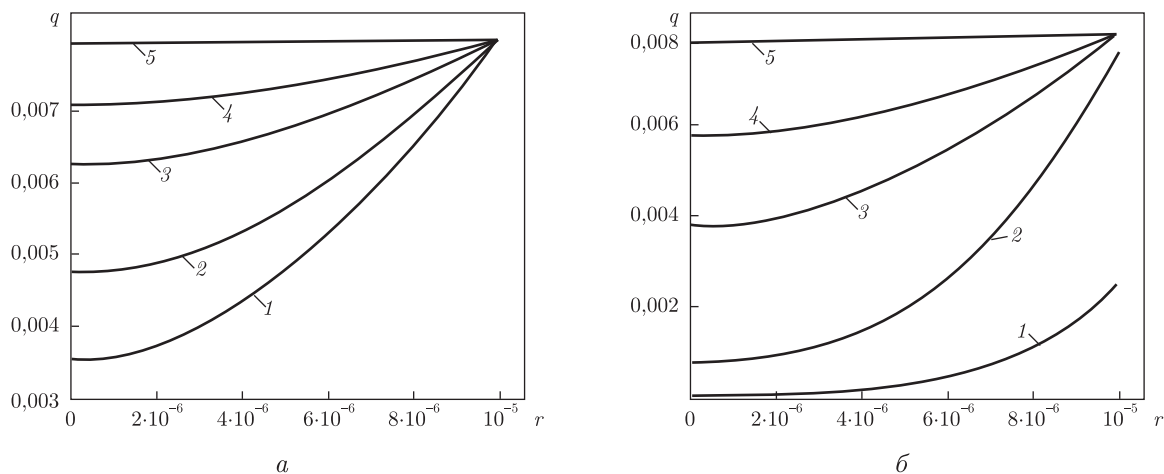


Рис. 2

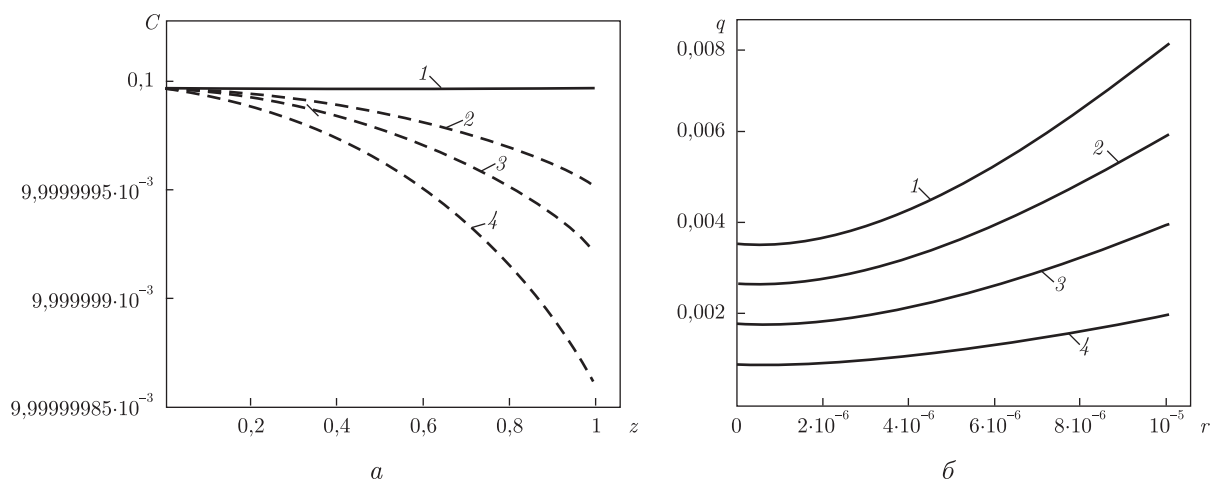


Рис. 3

На закінчення відзначимо, що, незважаючи на малу швидкість протікання процесів дифузійного масопереносу в порах частинок, з часом він досить суттєво впливає на розподіл концентрації в самій частинці, а отже, можливим є використання розглянутого наносередовища для часткового очищення певної речовини від забруднень. Також відзначимо ефективність використання асимптотичного методу розв'язання такого роду задач, оскільки це дало змогу розщепити складний процес на складові і дослідити кожен з них окремо. Розроблений вище підхід можна застосувати при розв'язанні відповідних плоских та просторових задач. В перспективі дослідження такого роду процесів у випадку, коли коефіцієнт, що характеризує вплив внутрішньочастинкового переносу на міжчастинковий, не є малим.

1. Ляшко И. И., Демченко Л. И., Мистецкий Г. Е. Численное решение задач тепло- и массопереноса в пористых средах. – Киев: Наук. думка, 1991. – 264 с.
2. Булавацький В. М., Кривонос Ю. Г., Скопецький В. В. Некласичні математичні моделі процесів тепло- та масопереносу – Київ: Наук. думка, 2005. – 282 с.
3. Бомба А. Я. Об асимптотическом методе приближенного решения одной задачи массопереноса при фильтрации в пористой среде // Укр. мат. журн. – 1982. – 4, № 4. – С. 493–496.

4. *Петрик М. Р.* Математична модель процесу фільтраційного масопереносу неоднорідних середовищ у сферично-конічних необмежених каналах // *Нелинейные задачи математ. физики и их применение: Сб. науч. тр.* – Киев: Изд. Ин-та математики НАН Украины, 1999. – С. 184–188.
5. *Бомба А. Я., Барановський С. В., Присяжнюк І. М.* Нелінійні сингулярно збурені задачі типу “конвекція–дифузія”. – Рівне: НУВГП, 2008. – 254 с.
6. *Власюк А. П., Самсонюк В. О., Зінько П. М.* Чисельне моделювання процесу переносу сольових розчинів в основах гідротехнічних об’єктів // *Вісн. “Кібернетика”.* – 2002. – Вип. 3. – С. 30–34.
7. *Burak Ya., Chaplia Ye., Chernukha O.* Problems of mechanothermodiffusive processes modelling and optimization in manyphases continuum systems // *II Szkola Geomechaniki (miedz. konf.).* – Gliwice: Polit. Slaska, 1995. – P. 343–351.
8. *Chen N. Y., Degnan T. F., Smith M. C.* Molecular transport and reaction in zeolites: design and application of shape selective catalysis. – Weinheim, New York: V. C. H., 1994.
9. *Петрик М. Р., Фрессард Ж., Михалик Д. М.* Моделирование и анализ концентрационных полей нелинейной конкурентивной двухкомпонентной диффузии в среде нанопористых частиц // *Пробл. управления и информатики.* – 2009. – № 4. – С. 73–83.
10. *Сергиенко І. В., Дейнека В. С.* Идентификация градиентными методами параметров задач диффузии вещества в нанопористой среде // *Там же.* – 2010. – № 6. – С. 5–18.

Рівненський державний гуманітарний університет

Надійшло до редакції 07.06.2012

А. Я. Бомба, І. М. Присяжнюк, Е. В. Присяжнюк

Асимптотический метод решения одного класса модельных сингулярно возмущенных задач процессов массопереноса в разнородных средах

Построен алгоритм асимптотического развития решений одного класса модельных нелинейных сингулярно возмущенных краевых задач однокомпонентного конвективно-адсорбционно-диффузионного массопереноса в разнородных средах. Приведены результаты компьютерных расчетов.

A. J. Bomba, I. M. Prisyazhnyuk, O. V. Prisyazhnyuk

An asymptotic method of solution of a class of model singularly perturbed problems of mass transfer processes in heteroporous environments

The algorithm of the asymptotic expansion of solutions of a class of model nonlinear singularly perturbed boundary-value problems of the one-component convection-diffusion-adsorption mass transfer in heteroporous environments is constructed. The results of computer calculations are described.