УДК 519.86:681.3.06

В.М. Мількевич, аспір.
Державний агроекологічний університет

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ МАСОПЕРЕНОСУ З ВРАХУВАННЯМ ГЛОБАЛЬНОЇ СТРУКТУРИ ГРАНИЧНОЇ ПОВЕРХНІ

(Представлено д.ф.-м.н., проф. Михайленком В.В.)

В даній роботі отримана математична модель, яка описує процеси масопереносу на неоднорідній області з врахуванням глобальної структури граничної поверхні; описана структура області масопереносу і теоретичне обґрунтування розв'язку задачі масопереносу на граничній поверхні з глобальною неоднорідністю.

В роботах [1] і [2] було визначено основні задачі математичного моделювання процесів масопереносу у великих природних системах, що мають значну просторову неоднорідність, таких, як природний ландшафт. В роботі [2] розглядається математична модель, яка враховує локальну неоднорідність граничної поверхні в області масопереносу. Там же вказано на стан питання математичного моделювання процесів масопереносу в даних областях масопереносу. Загалом, аналіз літературних джерел засвідчує відсутність в науковій літературі робіт, що стосувалися б розробки питання математичного моделювання процесів масопереносу в областях із глобальною неоднорідністю граничної поверхні.

Завданням даної роботи є: описати структуру області масопереносу; отримати математичну модель процесів масопереносу з врахуванням глобальної структури граничної поверхні.

Об′єктом дослідження є процеси масопереносу на неоднорідній граничній поверхні.

Результати досліджень.

Розглянемо область масопереносу $D\times[0,T]$. Опишемо глобальну і локальну структури $D\times[0,T]$. В області масопереносу визначена деяка множина $\Omega\in G$ значень функцій, визначених в $D\times[0,T]$ так, що кожному елементу ω_i множини Ω відповідає кінечна кількість значень функцій, визначених в $D\times[0,T]$, де G – гранична поверхня в $D\times[0,T]$.

Як властивість області масопереносу існує множина $P\in G$, визначена на Ω так, що згідно із законом f кожному елементу ω_i множини Ω ставиться у відповідність елемент p_i множини P, $f:\Omega\rightarrow P$.

Визначимо $\Omega\subset D=L_x\times L_y\times L_z$ як множину, відповідну просторовій частині області масопереносу. Елементи ω_i множини Ω визначають об′єм тривимірної просторової частини D в області $D\times[0,T]$. Кожен елемент ω_i з набором значень функцій, визначених в $D\times[0,T]$, можна охарактеризувати як параметр локальної структури просторової частини області масопереносу.

Визначимо множину P як множину векторів переносу кількості маси $P=V\cdot s$, де V – швидкість, s - кількість речовини.

Визначимо операцію просторового усереднення в D наступним чином:

$$\overline{(*)}=\frac{1}{D}\int_D(*)\,dD\,. \qquad (1)$$

Використаємо (1) на множині P і представимо реальне значення будь-якого елемента з P в наступному вигляді:

$$p=\overline{p}+\delta p\,,$$

де $\overline{p}$ – середнє значення вектора переносу кількості маси множини P на Ω;

p – істинне значення;

δp – деяке відхилення істинного значення від середнього.

Використаємо (1) для P таким чином, щоб отримати два типи усереднених характеристик: $\overline{p}_0$ – усереднення на D в точці 0, яка є центром області D; $\overline{p}_i$ – усереднення на деякій підобласті $D_i\subset D$ в точці i, яка є центром D_i. Відповідно матимемо дві характеристики відхилень δp_0 і δp_i. Визначимо деякий масштаб усереднення числом $M\geq 0$.

Визначення 1. Область D називається глобально-однорідною, якщо виконується умова:

$$\left|\overline{p}_i-\frac{\overline{p}_i^2}{\overline{p}_0}\right|\le M+m\ ;\qquad m=\begin{cases}0,-p_i\ne p_0,\\-(1+M),-p_i=p_0.\end{cases}\tag{2}$$

Згідно з (2) умову глобальної структури в D визначає множина P, яка належить граничній поверхні G. Тому, говорячи про глобальну однорідність (чи неоднорідність) в D, будемо мати на увазі її визначеність на множині G.

Твердження 1. Для всякої глобально-неоднорідної області D можна підібрати таке M, що з D можна виділити n підобластей D_i, для яких виконується умова (2).

Твердження 1 потребує доведення. Тому покажемо спочатку, що з D можна завжди утворити хоча б одну глобально-однорідну область $D'\le D$.

Розглянемо точку $p_0\in P\subset D$ і деякий її окіл δ, що містить точку $p_i\in\delta$. Використаємо операцію усереднення (1) в околі точки p_0 і отримаємо: $p_i=\overline{p}_0+\delta p_0$. Перепишемо цей вираз для відхилення $\delta p_0=p_i-\overline{p}_0$ і перетворимо до вигляду $\left|\delta p_0\cdot\frac{p_i}{\overline{p}_0}\right|=\left|(p_i-\overline{p}_0)\frac{p_i}{\overline{p}_0}\right|$.

Покладемо $\left|\delta p_0\cdot\frac{p_i}{\overline{p}_0}+\Delta\right|=M,\ \Delta=0$, тоді матимемо $\left|p_i-\frac{p_i^2}{\overline{p}_0}\right|=M$. Якщо покласти $\Delta\ge 0$, то $\left|p_i-\frac{p_i^2}{\overline{p}_0}\right|\le M$. Таким чином, отримано умову глобальної однорідності в околі точки p_0 при умові $-p_i\ne p_0$, тобто δ є глобально-однорідною областю.

Цей результат прямо узагальнюється на область D, попередньо прийнявши, що до уваги береться той вектор $p_i\in D$, при якому δp_0 є максимальним.

Таким чином, будь-яку глобально-неоднорідну область D можна перетворити в одну глобально-однорідну область з відповідним значенням $M=\left|\delta p_{0\max}\cdot\frac{p_i}{\overline{p}_0}+\Delta\right|$.

Покажемо тепер, що всяка глобально-однорідна область $D'(D,M)$, отримана з D шляхом введення масштабу M, може бути перетворена на n глобально-однорідних підобластей шляхом зменшення масштабу M.

Розіб′ємо область $D'(D,\,M)$ довільно на дві частини так, щоб $\delta p_{0\max}>\delta p_{01\max}>\delta p_{02\max}$ та щоб підобласть $D_i\in D$, в якій p_i обумовлює максимальне значення δp_0, належала будь-якій одній з двох підобластей $D_1',\ D_2'\in D'$.

Використаємо операцію усереднення в D_1' і D_2'. Тоді для кожної підобласті в D' матимемо: $\overline{p}_{01},\overline{p}_{02},\overline{p}_{i1},\overline{p}_{i2}$, для яких виконується умова $\delta p_{01\max}$ на D_1' і $\delta p_{02\max}$ – на D_2'.

Перетворимо D_1' і D_2' на глобально-однорідні області шляхом введення масштабів:

$$M_1=\left|\delta p_{01\max}\cdot\frac{p_{i1}}{\overline{p}_{01}}+\Delta\right|;$$

$$M_2=\left|\delta p_{02\max}\cdot\frac{p_{i2}}{\overline{p}_{02}}+\Delta\right|.$$

Очевидно, що $M>M_1,\,M_2$. Нехай $M_1>M_2$ і $M_1-M_2=\Delta_{12}$. Тоді на D утворяться дві глобально-однорідні області $D_1'(D,\,M_2^*)$ і $D_2'(D,\,M_2^*)$, де $M_2^*=\left|\delta p_{02\max}\cdot\frac{p_{i2}}{\overline{p}_{02}}+\Delta_{12}\right|$.

Аналогічно, отримаємо на D $n>2$ глобально-однорідних підобластей. Отже, твердження 1 доведено.

Нехай $D_n'(D,\,M_n)$ — глобально-однорідна область в D. Тоді існування в $D\times[0,T]$ за умовою відображення f обумовлює існування множини $\Omega_n'\subset\Omega\in D$ так, що на $D_n'(D,\,M_n)$ $f^{-1}:p_n'\to\Omega_n'$.

Введемо просторове усереднення на множині Ω:

$$\overline{\omega}=\frac{1}{\Omega}\int_{\Omega}\omega\,d\Omega.\tag{3}$$

Використаємо (3) на Ω_n', матимемо: $\omega_i=\overline{\omega}_0+\delta\omega$.

Визначення 2. Область $D_n'\left(D,\, M_n\right)$ називається локально-однорідною, якщо виконується умова:

$$\left|\delta\omega\right| \le M^{\Omega}, \tag{4}$$

в іншому випадку область називається локально-неоднорідною. M^{Ω} – деякий масштаб усереднення на Ω.

Твердження 2. Для всякої локально-неоднорідної області $D_n'\left(D,\, M_n\right)$ можна підібрати таке M^{Ω}, що з $D_n'\left(D, M_n\right)$ можна виділити *n* підобластей, для яких виконується умова (4).

Дане твердження доводиться аналогічно твердженню 1.

Визначимо основні задачі масопереносу на $D\times\left[0,T\right]$.

1. Визначити кількість речовини, що виноситься з D, тобто знайти

$$s_D\left(T\right)\in\Gamma_D, \tag{5}$$

де Γ_D – границя області D.

2. Визначити кількість речовини, що виноситься з деякої підобласті $D'\subset D$, тобто знайти

$$s_{D'}\left(T\right)\in\Gamma_{D'}, \tag{6}$$

де $\Gamma_{D'}$ – границя області D'.

Розглянемо структуру відображення $f:\Omega\to P$. У тривіальному випадку для глобально-однорідної області $D_n'\left(D,\, M_n\right)$ структуру f можна представити: $f=\left\{L\right\}$, тобто

$$\Omega\xrightarrow{L}P, \tag{7}$$

де L – деякий оператор масопереносу, який в $D_n'\left(D,\, M_n\right)$ визначає рівняння:

$$L\cdot s=0, \tag{8}$$

$$s\big|_{T=0}=0. \tag{9}$$

Для глобально-неоднорідної області відображення (7) і задача (8)–(9) виконуються лише при звуженні L на деяку підобласть в D, для якої виконується умова (2). Це обумовлено тим, що задача (8)–(9) розв′язується на множині, де векторні лінії потоку паралельні і не перетинаються. Глобально-неоднорідна область обумовлює невиконання цієї умови, тоді як в $D_n'\left(D,\, M_n\right)$ ця умова виконується.

Визначення 3. Відбиттям на $D\times\left[0,\, T\right]$ (рис. 1) будемо називати множину відображень:

$$\mathrm{E}=\left\{\varepsilon_{\Omega}\left(\omega_i\right)=h_i,\ \varepsilon_H\left(h_i\right)=\omega_{i+1}:\Omega,H\in G;\ h_i\in H\right\}. \tag{10}$$

Відбиття E визначає впорядковану множину K на граничній поверхні G.

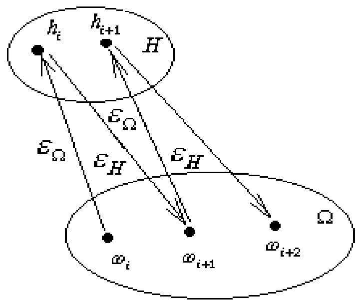

Рис. 1. Відбиття в області D

Твердження 3. Структура відображення f в глобально-неоднорідній області D визначається: $f=\left\{\mathrm{E},L\right\}$, тобто пара $\left(\mathrm{E},L\right)$ визначає множину P в D.

Доведемо дане твердження. Нехай необхідно визначити множину P в D, використовуючи оператор L. Оскільки в D не виконується умова (2), оператор L не можна безпосередньо використовувати в D, тому використаємо оператор L для будь-якої однієї векторної траєкторії $\mathrm{K}_i\in D$. В результаті отримаємо деяку підмножину $P_i'\subset P\in D$.

Для визначення P необхідно визначити всі $P_i'\in D$. Для цього визначимо всі $\mathrm{K}_i\in D$ і розв′яжемо для кожного K_i задачу (8)–(9). Оскільки кожна множина K_i визначається множиною відображень E_i, то для визначення P в D необхідно розв′язати відповідну кількість задач:

$$\left[L\left(\mathrm{E}_i\right)\right]\cdot s = 0,$$

$$s_i\Big|_{T=0,\ \omega_i\in\Omega} = 0.$$

Тому є справедливим твердження, що пара $\left(\mathrm{E}, L\right)$ визначає множину P в D, отже, твердження доведено.

Розширимо поняття глобальної структури області D введенням понять про екстремальну і термінальну множини на граничній поверхні в D.

Визначення 4. Екстремальна множина в D визначається як:

$$ext\left(G\right) = \left\{\Omega_i^{ext} \subset \Omega \in G : \varepsilon_H^{-1}\left(\omega_i\right) = h_i,\ \varepsilon_\Omega^{-1}\left(h_i\right) = \omega_i\right\}. \tag{11}$$

Визначення 5. Термінальна множина в D визначається як:

$$ter\left(G\right) = \left\{\Omega_i^{ter} \subset \Omega \in G : \varepsilon_\Omega\left(\omega_i\right) = h_i,\ \varepsilon_H\left(h_i\right) = \omega_i\right\}. \tag{12}$$

З врахуванням (10), (11), (12) і твердження 3 розв′язок задач (5) і (6) можна представити наступним чином:

1. Кількість речовини, яка виноситься з D, визначається:

$$s_D = \sum_{i=1}^{ter(G)} s_i, \tag{13}$$

де $s_i \in ter\left(G\right)$ є розв′язком рівняння $\left[L\left(\mathrm{E}_i\right)\right]\cdot s = 0$. Тут відбиття E_i визначає одиничну векторну траєкторію, вздовж якої розв′язується рівняння $L\cdot s = 0$.

2. Початкові та граничні умови лежать на множині $ext\left(G\right)$; розв′язок задачі – на множині $ter\left(G\right)$.

3. $ext\left(G\right),\ ter\left(G\right) \in \Gamma_D$.

Відмітимо особливості розв′язку (13) для задачі (6). Якщо для задачі (5) $ter\left(G\right)$ і $ext\left(G\right)$ завжди належать границі Γ_D замкненої області D, то для будь-якої підобласті $D' \subset D$ така умова не виконується обов′язково, хоча формально можна визначити множину $ter\left(G\right)$ для $\Gamma_{D'} \in D'_n\left(D, M_n\right)$. Для визначення початкових умов задачі (6) необхідно розв′язати рівняння $\left[L\left(\mathrm{E}_i\right)\right]\cdot s = 0$, розв′язок якого належить границі області $D'_n\left(D, M_n\right)$, а початкові та граничні умови даного рівняння належать множині $ext\left(G\right) \not\subset D'_n\left(D, M_n\right)$, яка певним чином розподілена на G в області D.

В такому представленні розв′язок задач (5) і (6) є нераціональним, оскільки кількість N рівнянь $\left[L\left(\mathrm{E}_i\right)\right]\cdot s = 0$, $\left(i = 1,\ 2,\ \ldots N\right)$, які визначають всі розв′язки на множині $ter\left(G\right)$, може бути нескінченно великою. Тому розв′язок задач (5), (6) необхідно доповнити.

Твердження 4. Для глобально-неоднорідної області D із визначеним на ній масштабом M_n можна визначити кінечну кількість Q відображень у E:

$$Q\left(\mathrm{E}\right) = C_\mathrm{E},\ \left(C_\mathrm{E} = 2,\ 3,\ \ldots N\right).$$

Наведемо доведення даного твердження, використовуючи (2) і твердження 1.

Нехай масштаб M_n в області D визначає n глобально-однорідних областей $D'_{n_i}\left(D, M_n\right)$, $\left(i = 1,\ 2,\ 3,\ \ldots\ n\right)$; E визначає впорядковану множину $\mathrm{K} \in G$ в D. Тоді, якщо K' – деяка підмножина в K, то є справедливим, що $\mathrm{K}' \subset D'_{n_i}\left(D, M_n\right)$.

Визначимо таку множину відображень E_{ω_i}, яка включає деяку точку $\omega_i \in \Omega$. Пара $\left(\Omega,\ M_n\right)$ визначає певну кількість q розбиттів множини $\mathrm{K} = \left\{\mathrm{K}'_i\right\}$, причому $q = 1,\ 2,\ 3,\ \ldots\ n$. Тоді визначене кінечне число C' областей $D'_{n_i}\left(D, M_n\right)$, які включають E_{ω_i}:

$$C' = n - m,\ \left(m = 1,\ 2,\ \ldots\ n-1\right).$$

Введемо характерний лінійний розмір ΔL_x в $D'_{n_i}\left(D, M_n\right)$. Визначимо для $\mathrm{K}'_i \subset D'_{n_i}\left(D, M_n\right)$ точку ω_b – початок відображень в $\mathrm{E}_i \in D'_{n_i}\left(D, M_n\right)$, та ω_e – кінець таких відображень в межах $D'_{n_i}\left(D,\ M_n\right)$. Тоді з врахуванням (2) і похибки від введеного масштабу на D можна записати:

$$\mathrm{K}'_i\left(\omega_b, \omega_e\right) = \mathrm{K}'_i\left(\omega_b + \Delta L_x, \omega_e\right),$$

де в даному випадку ΔL_x визначає будь-яку точку ω_i вздовж усередненого вектора:

$P_{D'_{n_i}} \in D'_{n_i}\left(D, M_n\right)$.

Тоді кількість C'' відображень в межах $D'_{n_i}\left(D, M_n\right)$ визначається характерним лінійним розміром ΔL_x. Звідси можна записати:

$$C_{\mathrm{E}} = \sum_{i=1}^{n-m} C''_i .$$

У загальному випадку, при рівних об′ємах множини K'_i, можна записати:

$$C_{\mathrm{E}} = \left(n-m\right)C'' .$$

Таким чином, дане твердження є доведеним.

Твердження 5. Для глобально-неоднорідної області D із визначеним на ній масштабом M_n можна визначити кінечну кількість Q розв′язків $s_i \in ter\left(G\right)$:

$$Q\left(L\left(\mathrm{E}_i\right)\right) = C_{L(\mathrm{E}_i)},\ \left(C_{L(\mathrm{E}_i)} = 1,\ 2,\ \ldots N\right).$$

Для доведення твердження 5 дещо розширимо поняття про структуру в D. Нехай $\mathrm{K}'_i\left(\omega_b, \omega_e\right)$ – одинична векторна траєкторія на G, створена відбиттям E_i. Точка ω_b – початок відображень в E_i, $\omega_b \in ext\left(G\right) \subset \Gamma_{D'_1}$, $D'_1 \subseteq D$; точка ω_e – кінець таких відображень в E_i, $\omega_e \in ter\left(G\right) \subset \Gamma_{D'_2}$, $D'_2 \subseteq D$.

Визначення 6. Пучком в D будемо називати множину K_δ, яка визначається:

$$\mathrm{K}_\delta = \cup \mathrm{K}'_i = \left\{\mathrm{K}'_i\left(\omega_{b_i},\ \omega_{e_i}\right),\ i = 1,\ 2,\ \ldots N_\delta : \mathrm{K}'_i\left(\omega_{b_i},\ \omega_{e_i}\right) = \mathrm{K}'_i\left(\omega_{b_i} + \delta_\omega,\ \omega_{e_i} + \delta_\omega\right)\right\},$$

де N_δ – точка множини $ter\left(G\right)$ і $ext\left(G\right)$, яка належить околу δ_ω точки ω_i;

i – індекс, який визначає будь-яку точку ω_i, що лежить в околі δ_ω;

$\omega_b + \delta_\omega$ – точка початку відображень в E_i, що лежить на відстані δ_ω від точки ω_b, $\omega_b + \delta_\omega \in ext\left(G\right)$;

$\omega_e + \delta_\omega$ – точка кінця відображень в E_i, що лежить на відстані δ_ω від точки ω_e, $\omega_e + \delta_\omega \in ter\left(G\right)$.

Визначення 7. Спряженою множиною в D будемо називати такі підмножини $ext\left(G\right)^* \subseteq ext\left(G\right)$, $ter\left(G\right)^* \subseteq ter\left(G\right)$, які містяться в одному пучку:

$$\left[ext\left(G\right)^*, ter\left(G\right)^*\right] \in \mathrm{K}_{\delta_i} .$$

Твердження 6. В глобально-неоднорідній області D із введеним на ній масштабом M_n завжди існує хоча б один пучок:

$$\mathrm{K}_\delta\big|_D \geq 1 .$$

Доведення даного твердження базується на результатах доведення твердження 1. Для всякої глобально-неоднорідної області D можна підібрати таке M_n, що утвориться хоча б одна глобально-однорідна область $D'_{n_i}\left(D, M_n\right)$. Тоді в $D'_{n_i}\left(D, M_n\right)$ буде існувати хоча б одна спряжена множина $\left[ext\left(G\right)^*,\ ter\left(G\right)^*\right] \subseteq \left(ext\left(G\right),\ ter\left(G\right)\right)$, тобто $\mathrm{K}_\delta\big|_{D'_1} \geq 1$. Якщо M_n утворює дві глобально-однорідні області в D, то $\mathrm{K}_\delta\big|_{D'_1, D'_2} \geq 2$. Аналогічним чином, змінюючи M_n, змінюється кількість K_δ.

Можна також стверджувати, що при відсутності масштабу на D, $\mathrm{K}_\delta \to \infty$.

Доведемо твердження 5, використовуючи визначення 6, 7, і твердження 6. Для доведення справедливості $Q\left(L\left(\mathrm{E}_i\right)\right) = C_{L(\mathrm{E}_i)}$ достатньо довести, що кількість спряжених множин в D є кінечною. Введемо характерний лінійний розмір $\Delta L_y = \delta_\omega$ в $ter\left(G\right)$ і $ext\left(G\right)$. В найпростішому випадку $Q\left(\left[ext\left(G\right)^*,\ ter\left(G\right)^*\right]\right) \geq 1$, із збільшенням кількості глобально-однорідних областей в D, збільшується і кількість спряжених множин. Але, згідно з твердженням 1, введення масштабу в D обумовлює утворення злічимої кількості областей $D'_{n_i}\left(D, M_n\right)$, отже, відповідно будемо мати і злічиму кількість спряжених множин. Це обумовлює кінечну кількість розв′язків $s_i \in ter\left(G\right)$, яка визначається парою $\left(\Delta L_y, M_n\right)$. Отже, твердження 5 доведено.

Таким чином, доповнення до розв′язку задачі масопереносу в глобально-неоднорідній області полягає в тому, що рівняння $L \cdot s = 0$ розв′язується не для кожної векторної траєкторії K_i', а для кожного пучка K_{δ_i}, $Q\left(K_i'\right) >> Q\left(K_{\delta_i}\right)$. Кількість пучків $Q\left(K_{\delta_i}\right)$ є скінченною і злічимою і визначається парою $\left(\Delta L_y, M_n\right)$. Множина вхідних параметрів, що визначається на множині Ω, також скінченна і обмежена парою $\left(\Delta L_x, M^{\Omega}\right)$.

Висновки: отримана математична модель процесів масопереносу на неоднорідній області, яка враховує глобальну структуру граничної поверхні; представлений розв′язок задачі для глобально-неоднорідної області із введеним на ній масштабом усереднення.

Як **перспектива подальших досліджень** є необхідним застосування отриманих результатів до конкретних систем, з метою визначення властивостей моделі та оцінки можливих обмежень у застосуванні до тих чи інших систем.

ЛІТЕРАТУРА:

1. *Мількевич В.М.* Загальна постановка задач кількісної оцінки горизонтального переносу речовини в ландшафті // Вісник Державного агроекологічного університету. – 2002. – № 2. – С. 164–167.
2. *Мількевич В.М.* Математичне моделювання масопереносу на неоднорідній поверхні в середовищі з врахуванням граничних значень структурного параметра // Вісник ЖДТУ / Технічні науки. – 2004. – №3 (30). – С. 109–118.

МІЛЬКЕВИЧ Віктор Миколайович – аспірант Державного агроекологічного університету (м. Житомир).

Наукові інтереси:

– математичне моделювання масопереносу на неоднорідній області.

Тел.: (0412) 33-82-83 (д).

Подано 3.09.2004

Мількевич В.М. Математичне моделювання процесів масопереносу з врахуванням глобальної структури граничної поверхні.

Милькевич В.Н. Математическое моделирование процессов массопереноса с учётом глобальной структуры граничной поверхности.

Milkevych V.M. The mathematical modeling of masses carrying processes with considering of global structure of boundary surface.

УДК 519.86:681.3.06

Математичне моделювання процесів масопереносу з врахуванням глобальної структури граничної поверхні / В.М. Мількевич

В даній роботі отримана математична модель, яка описує процеси масопереносу на неоднорідній області з врахуванням глобальної структури граничної поверхні; описана структура області масопереносу і теоретичне обґрунтування розв′язку задачі масопереносу на граничній поверхні з глобальною неоднорідністю.

УДК 519.86:681.3.06

Математическое моделирование процессов массопереноса с учётом глобальной структуры граничной поверхности / В.Н. Милькевич

В данной работе получена математическая модель, которая описывает процессы массопереноса на неоднородной области с учетом глобальной структуры граничной поверхности; описана структура области массопереноса и теоретическое обоснование решения задачи масопереноса на граничной поверхности с глобальной неоднородностью.

УДК 519.86:681.3.06

The mathematical modeling of masses carrying processes with considering of global structure of boundary surface / V.M. Milkevych

In the article a mathematical model, which describes masses carrying processes on the inhomogeneous environment with considering of global structure of boundary surface; describe the structure of masses carrying environment and theoretical substantiation of solution of masses carrying problem on the inhomogeneous environment.