

00 Центр математичного моделювання
Інституту прикладних проблем механіки і математики
ім. Я. С. Підстригача НАН України



МАТЕМАТИЧНЕ ТА КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ДИФУЗІЇ У СТОХАСТИЧНО НЕОДНОРІДНИХ ШАРУВАТИХ СТРУКТУРАХ

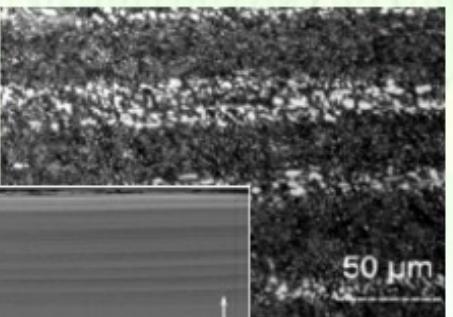
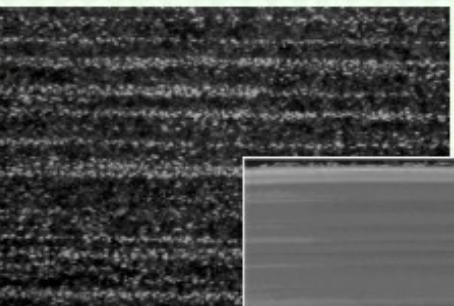
БІЛУЩАК Юрій Ігорович – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник Центру математичного моделювання Інституту прикладних проблем механіки і математики ім. Я.С. Підстригача НАН України

ЧУЧВАРА Анастасія Євгенівна – кандидат технічних наук, науковий співробітник Центру математичного моделювання Інституту прикладних проблем механіки і математики ім. Я.С. Підстригача НАН України

ВИКОРИСТАННЯ ШАРУВАТИХ СТРУКТУР



Дерев'яно шаруваті пластики
та склопластикові матеріали



Плакування металів

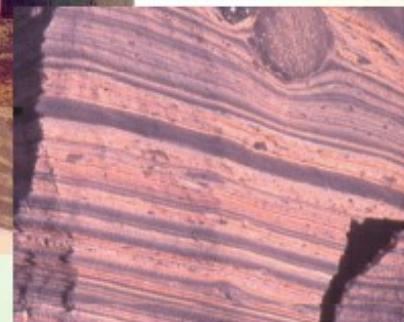
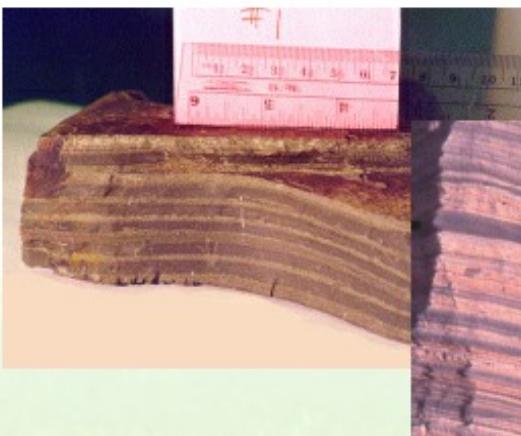
Композитні матеріали

2423_600

250 μm



Очистка води та стоків з використанням
каркасно-насипних фільтрів



Структури гірського каменю

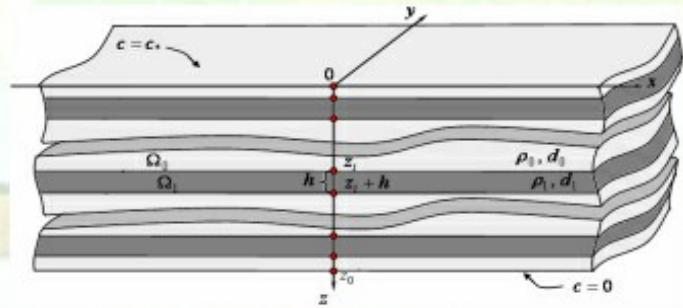
У випадках, коли невідомою є точна геометрична конфігурація таких об'єктів, виникає необхідність їх розгляду як стохастично неоднорідних.

Розвинення нових підходів до математичного моделювання процесів масоперенесення у багатофазних, у тому числі випадково неоднорідних тілах, коли розміри областей окремих фаз є макроскопічними, методів розв'язання відповідних контактно-крайових задач дифузії та побудова алгоритмів аналітико-числового дослідження характеристик процесів перенесення в об'єктах природного середовища відносяться до **актуальних проблем математичного та комп'ютерного моделювання**.

МЕТА РОБОТИ

Розробка нового підходу до математичного опису процесів переносу маси у випадково неоднорідних шаруватих тілах для довільних розмірів включень за будь-якого ймовірнісного розподілу; розвинення в рамках підходу методологій дослідження випадкових полів концентрації за неідеальних умов контакту, стохастичних дифузійних потоків у шаруватих структурах та дисперсії і двоточкової функції кореляції (автокореляції) поля концентрації мігруючої речовини.

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ДИФУЗІЇ В ДВОФАЗНОМУ ВИПАДКОВО НЕОДНОРІДНОМУ ШАРУВАТОМУ ШАРИ ТА ПІВПРОСТОРІ



Можлива реалізація структури багатошарового тіла з рівномірним розподілом фаз, в якому дифундує домішкова речовина

Рівняння дифузії домішкової речовини в області Ω_j

$$\rho_j \frac{\partial c_j(z,t)}{\partial t} = d_j \frac{\partial^2 c_j(z,t)}{\partial z^2},$$

$$z \in \Omega_j = \bigcup_{i=1}^{n_j} \Omega_{ij}, \quad t \in [0, \tau] \quad (\tau < \infty), \quad j = 0, 1,$$

де $c_j(z,t)$ - концентрація домішкової речовини в області Ω_j ; ρ_j - густина області Ω_j , d_j - кінетичний коефіцієнт переносу в цій області; n_j - кількість підшарів фази j , Ω_{ij} - i -та однозв'язна область фази j , $i = \overline{1, n_j}$, $j = 0, 1$.

Крайові умови

$$c_0(z,t)|_{t=0} = c_1(z,t)|_{t=0} = 0, \quad c_0(z,t)|_{z=0} = c^* \equiv \text{const}, \quad c(z,t)|_{z=z_0} = 0.$$

Контактні умови

$$k_0 c_0|_{z=z_l-0} = k_1 c_1|_{z=z_l+0}, \quad \rho_0 d_0 \frac{\partial c_0}{\partial z} \Big|_{z=z_l-0} = \rho_1 d_1 \frac{\partial c_1}{\partial z} \Big|_{z=z_l+0};$$

$$k_1 c_1|_{z=z_l+h-0} = k_0 c_0|_{z=z_l+h_l+0}, \quad \rho_1 d_1 \frac{\partial c_1}{\partial z} \Big|_{z=z_l+h_l-0} = \rho_0 d_0 \frac{\partial c_0}{\partial z} \Big|_{z=z_l+h_l+0},$$

де k_j - коефіцієнт концентраційної залежності хімічного потенціалу у фазі j ; z_l - випадкова координата "верхньої" межі області Ω_{l1} ; h_l - характерна (середня) товщина підшарів Ω_{l1} .

- Розроблено підхід до опису дифузійних процесів у двофазних випадково неоднорідних тілах, що базується на використанні узагальнених функцій, інтегральних рівнянь, теорії ймовірності та методів функцій Гріна; розвинений підхід дає можливість знаходити усереднені за ансамблем конфігурацій поля концентрації та потоки мігруючої речовини з урахуванням суттєво різних дифузійних властивостей фаз, довільних розмірів включень та довільного ймовірнісного розподілу підшарів.

- Отримано нове рівняння масоперенесення для двофазного тіла, яке явно враховує стрибок шуканої функції та рівність потоків на границях контакту фаз, побудовано нове інтегро-диференціальне рівняння, оператор випадкового ядра якого містить і оператор Лапласа і похідну за часом, розв'язок якого отримано у вигляді ряду Неймана; одержано функціональні залежності усереднених за ансамблем конфігурацій фаз полів концентрації від дольового вмісту фаз та їхніх фізичних характеристик.

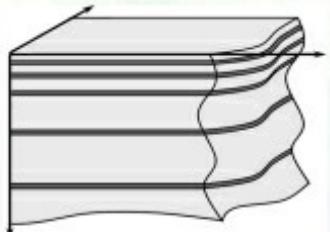
Рівняння масопереносу для цілого тіла

$$\begin{aligned} \rho(z) \frac{\partial c(z, t)}{\partial t} = d(z) & \left[\left\{ \frac{\partial^2 c(z, t)}{\partial z^2} \right\} + \sum_{l=1}^{n_1} \left(\left[\frac{\partial c(z, t)}{\partial z} \right]_{z=z_l} \delta(z - z_l) + [c(z, t)]_{z=z_l} \delta'(z - z_l) \right) + \right. \\ & \left. + \sum_{l=1}^{n_1} \left(\left[\frac{\partial c(z, t)}{\partial z} \right]_{z=z_l+h_l} \delta(z - (z_l + h_l)) + [c(z, t)]_{z=z_l+h_l} \delta'(z - (z_l + h_l)) \right) \right]. \end{aligned}$$

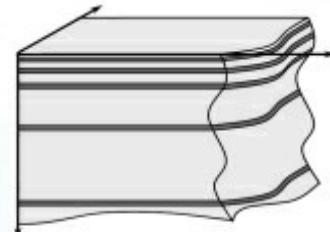
Формула для усередненого за ансамблем конфігурацій поля концентрації за рівномірного розподілу фаз

$$\begin{aligned} \langle c(z, t) \rangle_{conf} = c_0(z, t) + \int_0^t \int_0^h G(z, z', t, t') & \left[(\rho_0 - \rho_1) \frac{\partial c_0(z', t')}{\partial t'} - (d_0 - d_1) \frac{\partial^2 c_0(z', t')}{\partial z'^2} \right] \frac{v_1 z'}{h} dz' + \\ & + \int_h^{z_0-h} G(z, z', t, t') \left[(\rho_0 - \rho_1) \frac{\partial c_0(z', t')}{\partial t'} - (d_0 - d_1) \frac{\partial^2 c_0(z', t')}{\partial z'^2} \right] v_1 dz' \right] dt'. \end{aligned}$$

- Вперше отримано розрахункові формули, проведено числовий аналіз та встановлено закономірності усередненого за ансамблем конфігурацій поля концентрації для багатошарового шару з рівномірним розподілом фаз та шаруватого півпростору з гама-розподілом включень і його часткових випадків: експоненціального, ерлангівського і χ^2 -розподілів включень.

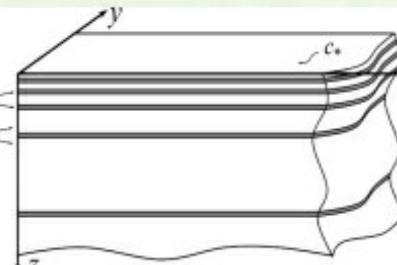


$$\lambda \sim 0,5$$

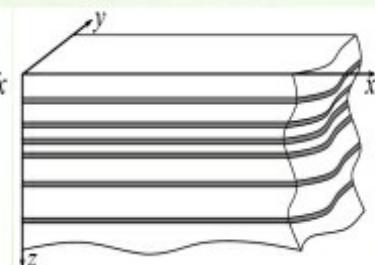


$$\lambda \sim 1,5$$

Структури багатошарового півпростору з експоненціальним розподілом включень



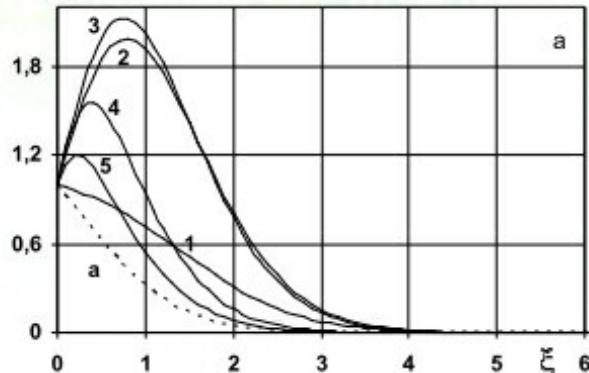
$$n=2$$



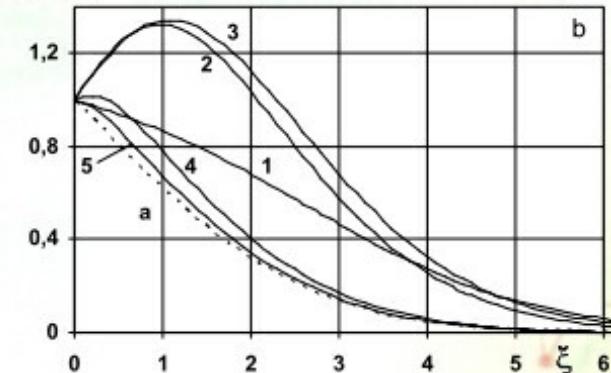
$$n \geq 3$$

Структури багатошарового півпростору для χ^2 -розподілу включень

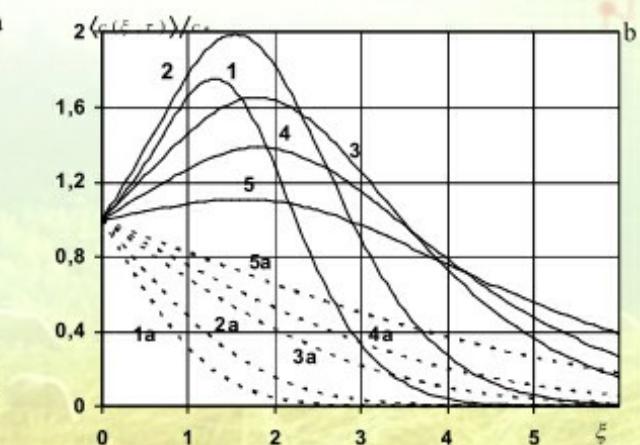
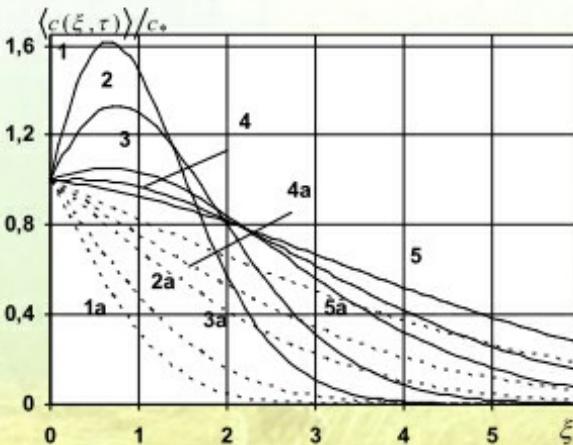
$$\langle c(\xi, \tau) \rangle / c_*$$



$$\langle c(\xi, \tau) \rangle / c_*$$



Розподіли усередненої концентрації при різних значеннях масштабного параметра експоненціального розподілу для малих (a) і великих (b) часів $\lambda = 0,1; 0,75; 1; 5; 10$ (криві 1-5)



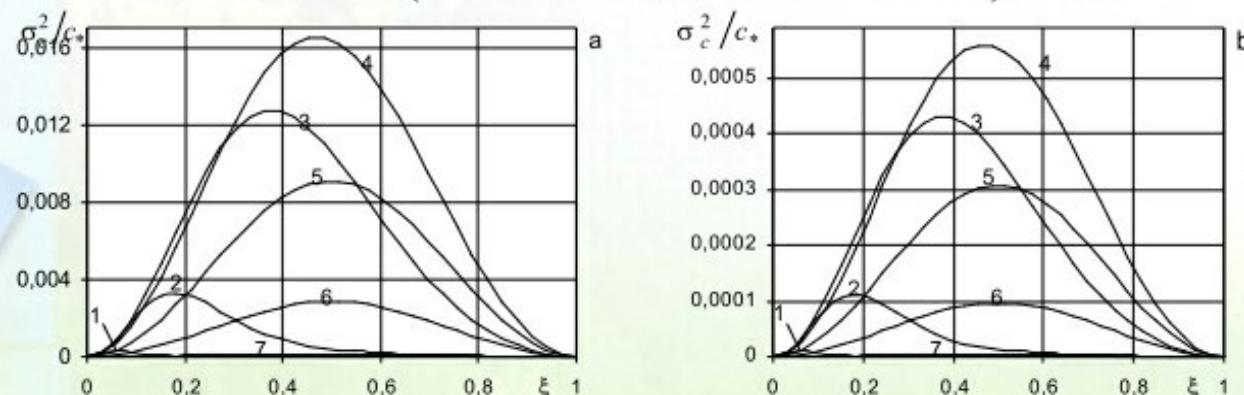
Розподіли усередненої концентрації в різні моменти часу $\tau = 0,5; 1; 2; 5; 10$ (криві 1-5) для $n = 1$ (a) і $n = 10$ (b)

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ДИСПЕРСІЇ ТА ФУНКЦІЇ КОРЕЛЯЦІЇ ПОЛЯ КОНЦЕНТРАЦІЇ ДОМІШКОВОЇ РЕЧОВИНИ

- Розвинуто підхід вперше запропонованого та обґрунтованого математичного опису дисперсії та функції кореляції поля концентрації у випадково неоднорідних шаруватих тілах, отримано відповідні розрахункові формули дисперсії та функції кореляції поля для шару і півпростору та проведено комп’ютерне моделювання, встановлено основні закономірності других моментів випадкового поля концентрації мігруючої речовини.

Розрахункова формула для дисперсії поля концентрації домішки в смузі з рівномірним розподілом включень

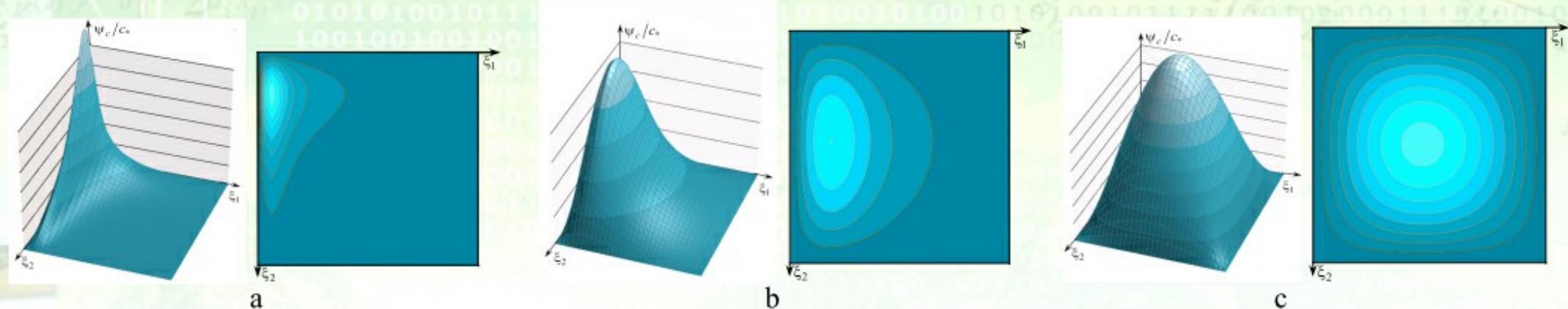
$$\sigma_c^2(z, t) = \left(\frac{(z_0 - h)^2 A v_1}{2h} \sum_{n=1}^{\infty} \sin(y_n z) e^{-\tilde{d} y_n^2 t} z_0 t \right)^2, \quad A = 2c_* ((\rho_0 - \rho_1) \tilde{d} - (d_0 - d_1)) / z_0^2 \rho_0; \quad \tilde{d} = d_0 / \rho_0.$$



Дисперсія поля концентрації в різні моменти безрозмірного часу $\tau = 0.001; 0.01; 0.05; 0.1; 0.2; 0.3; 0.5$ (криві 1-7) при $\bar{h} = 0.01$ (а) та $\bar{h} = 0.05$ (б)

Розрахункова формула для кореляції (автокореляції) поля концентрації домішки в смузі з рівномірним розподілом включень

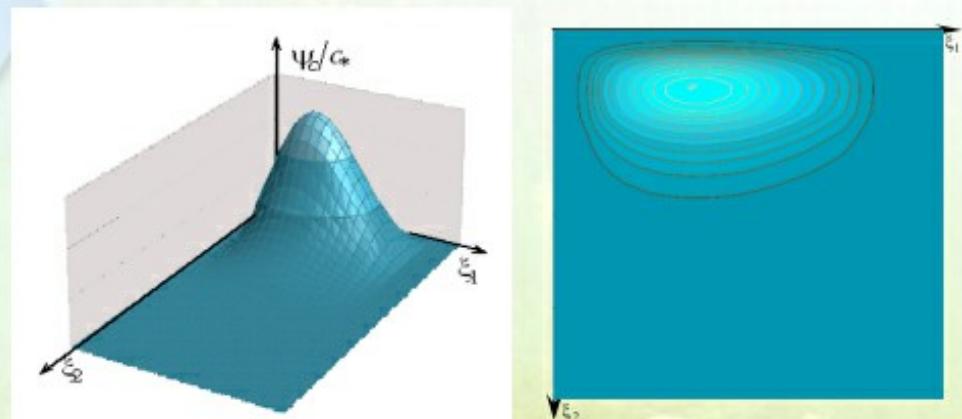
$$\psi_c(z_1, t_1; z_2, t_2) = \left(\frac{(z_0 - h)^2 A v_1}{2h} \right)^2 \sum_{n=1}^{\infty} \left(\sin(y_n z_1) e^{-\tilde{d} y_n^2 t_1} z_0 t_1 \right) \sum_{u=1}^{\infty} \left(\sin(y_u z_2) e^{-\tilde{d} y_u^2 t_2} z_0 t_2 \right).$$



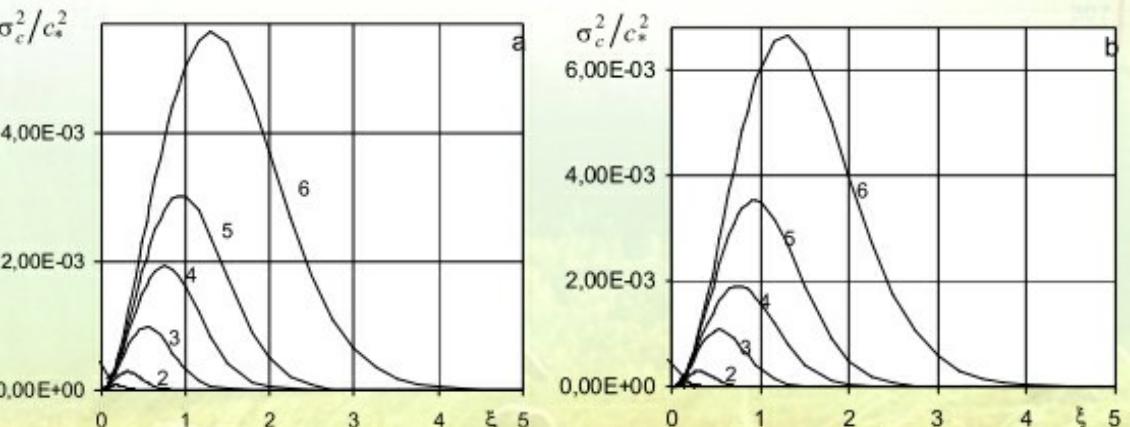
. Функція кореляції поля концентрації в різні моменти безрозмірного часу $\tau_1 = 0,001; \tau_2 = 0,011$ (а), $\tau_1 = 0,01; \tau_2 = 0,11$ (б) та $\tau_1 = 0,1; \tau_2 = 0,2$ (с)

Розрахункова формула для дисперсії поля концентрації домішки в півпросторі з експоненціальним розподілом включень

$$\sigma_c^2(z, t) = \left(\frac{n_1 \sigma_\eta Q c_*}{4\pi d_0} \right)^2 \int_0^t \int_0^t \frac{\theta(t-t')\theta(t-\bar{t}')}{\sqrt{(t-t')(t-\bar{t}')t'^3\bar{t}'^3}} (\bar{I}_1 - \bar{I}_2 + \bar{I}_3 - \bar{I}_4) dt' dt'.$$



Функція кореляції поля концентрації домішкової речовини у випадково неоднорідному шаруватому півпросторі моменти безрозмірного часу $\tau_1 = 0.05; \tau_2 = 0.01$



Дисперсія поля концентрації в різні моменти безрозмірного часу при $l = 1$ (а) та $l = 10$ (б) $\tau = 0.05; 0.1; 0.2; 0.3; 0.4; 0.6$ (криві 1-6) у випадково неоднорідному шаруватому півпросторі

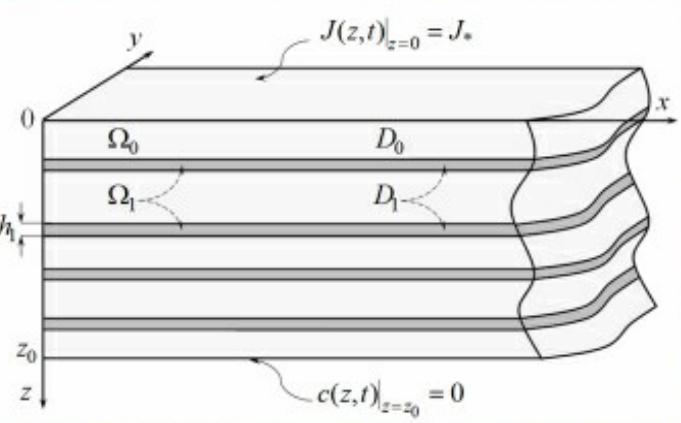
МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВИПАДКОВИХ ДИФУЗІЙНИХ ПОТОКІВ ДОМІШКИ У ДВОФАЗНОМУ БАГАТОШАРОВОМУ СТОХАСТИЧНО НЕОДНОРІДНОМУ ТІЛІ

- Для кількісного та якісного дослідження дифузійних потоків частинок в тілах двофазної випадково неоднорідної структури на основі співвідношення балансу маси отримано нове диференціальне рівняння для функції дифузійного потоку домішки, в якому неоднорідність структури матеріалу врахована в коефіцієнтах рівняння, що є випадковими стрибкоподібними функціями просторових координат; обґрунтовано крайові умови на потік; побудовано інтегро-диференціальне рівняння на функцію потоку, еквівалентне вихідній крайовій задачі, розв'язок якого знайдено у вигляді інтегрального ряду Неймана.

Рівняння дифузії домішкової речовини, подане через потоки маси:

$$\frac{\partial \vec{J}(\vec{r}, t)}{\partial t} = D(\vec{r}) \vec{\nabla} \otimes \vec{\nabla} \cdot \vec{J}(\vec{r}, t),$$

де $\vec{J}(\vec{r}, t)$ – потік маси, $D(\vec{r})$ – коефіцієнт дифузії, $\vec{\nabla}$ – набла-оператор Гамільтона, « \otimes » – тензорний добуток, \vec{r} – радіус-вектор біжучої точки, t – час.



Крайові умови первого роду на функцію потоку

$$J(z, t)|_{t=0} = 0; \quad J(z, t)|_{z=0} = J_* \equiv \text{const}, \quad c(z, t)|_{z=z_0} = 0.$$

Дифузійний потік на граници $z = z_0$:

$$J(z, t)|_{z=z_0} = F(t).$$

Початкові умови на функцію концентрації, еквівалентні умові на потік

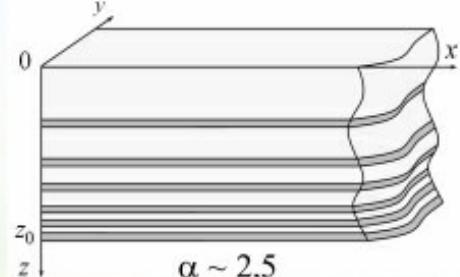
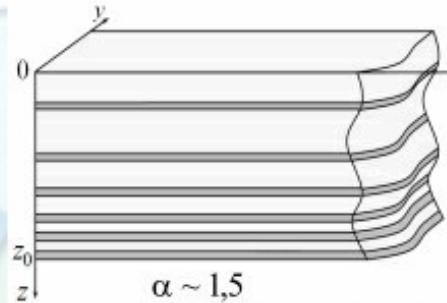
$$c(z, t)|_{t=0} = 0, \quad c(z, t)|_{t=0} = c_* \equiv \text{const}.$$

Розв'язок крайової задачі одержано у вигляді ряду Неймана, зручного для проведення процедури усереднення за ансамблем конфігурацій фаз із заданою функцією розподілу.

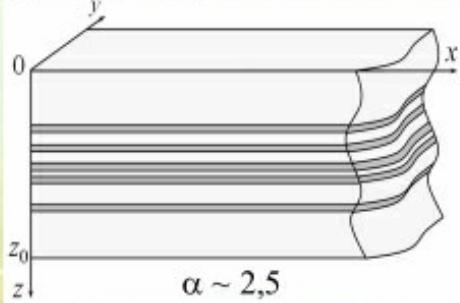
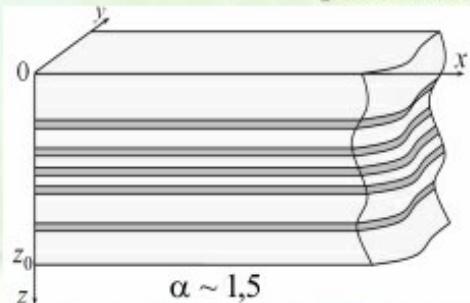
- Для ефективної чисової реалізації моделей встановлено умови існування розв'язків та збіжності відповідних інтегральних рядів для задач, поставлених за континуально-термодинамічним підходом та диференціальних рівнянь дифузії, в яких неоднорідність структури матеріалу врахована у коефіцієнтах.

- Вперше одержано розрахункові формули усереднених за ансамблем конфігурацій фаз дифузійних потоків, проведено числовий аналіз та встановлено основні закономірності першого моменту випадкових потоків домішкової речовини у двофазних стохастично неоднорідних шаруватих тілах з рівномірним та частковими випадками бета-розподілу фаз.

Функція густини бета-розподілу $f(z)$

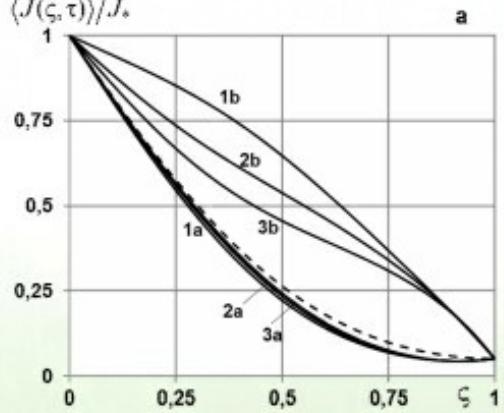


Структури багатошарової смуги за часткового випадку бета-розподілу ($\alpha > 1$, $\beta = 1$)

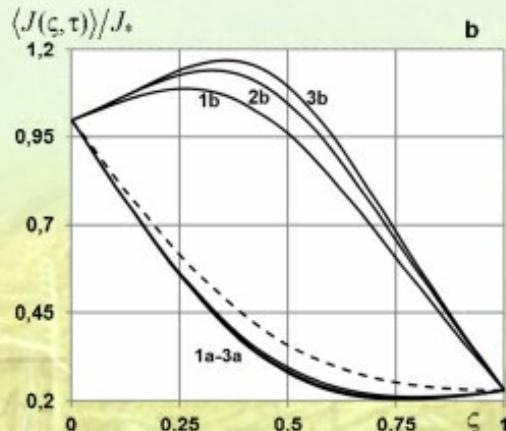


Структури багатошарової смуги за часткового випадку бета-розподілу ($\alpha = \beta > 1$)

$$f(z) = \begin{cases} \frac{\Gamma(\alpha + \beta)}{\Gamma(\alpha)\Gamma(\beta)} \left(\frac{z}{z_0}\right)^{\alpha-1} \left(1 - \frac{z}{z_0}\right)^{\beta-1}, & z \in [0; z_0] ; \\ 0, & z \notin [0; z_0] \end{cases}$$



Розподіли потоків маси у смузі для різних значень ступеня вільності $\alpha = 1,5; 2; 2,5$ (криві 1-3)



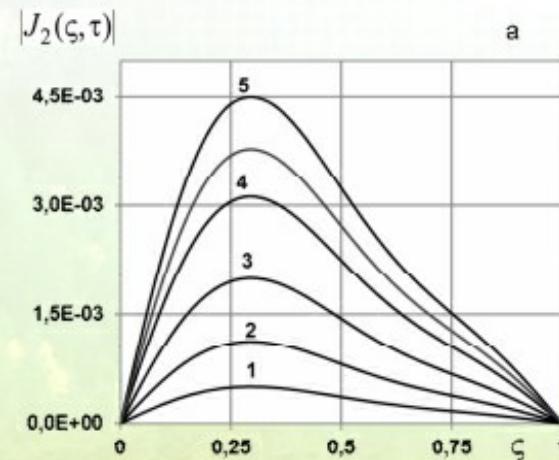
Розподіли потоків маси у смузі для різних значень ступеня вільності $\alpha = \beta = 1,5; 2; 2,5$ (криві 1-3) за ненульової початкової концентрації

- Вперше проведено числовий аналіз ефекту парного взаємовпливу шаруватих включень на усереднений потік маси у шаруватому тілі з рівномірним розподілом фаз та структурі з областю найбільш ймовірного розташування включень в околі джерела маси та встановлено залежність усередненого за ансамблем конфігурацій фаз потоку домішкових частинок від збурення вхідних параметрів задачі.

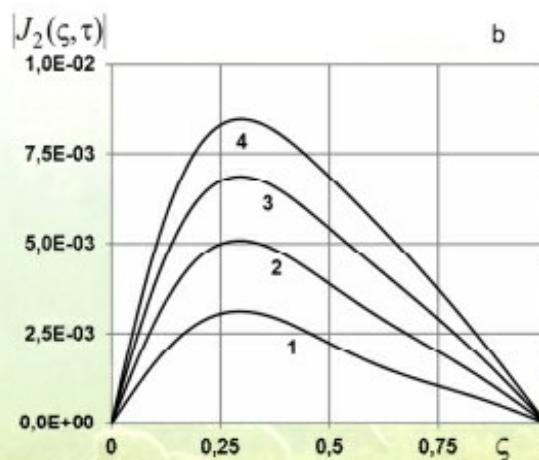
Ряд Неймана

$$J(z,t) = J_0(z,t) + \int_0^{z_0} \int_0^{z'} G(z,z',t,t') L_s(z') J_0(z',t') dz' dt' + \int_0^{z_0} \int_0^{z'} G(z,z',t,t') L_s(z') \int_0^{z''} \int_0^{z'''} G(z'',z''',t'',t''') L_s(z'') J_0(z'',t'') dz'' dt'' dz' dt' + \\ + \int_0^{z_0} \int_0^{z'} G(z,z',t,t') L_s(z') \int_0^{z''} \int_0^{z'''} G(z'',z''',t'',t''') L_s(z'') J_0(z''',t''') dz''' dt''' dz'' dt'' dz' dt' + \dots$$

Третій доданок ряду відповідає збуренням, що виникають, якщо в середовище з коефіцієнтом дифузії матриці поміщати почергово по два включения з іншими фізичними характеристиками, тобто описує ефекти парного взаємовпливу включень на потік маси і т.п.



a

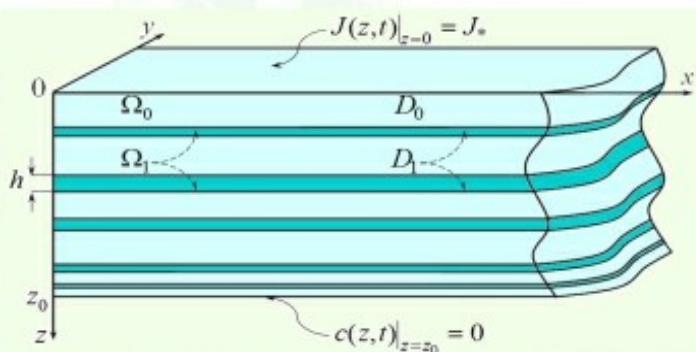


b

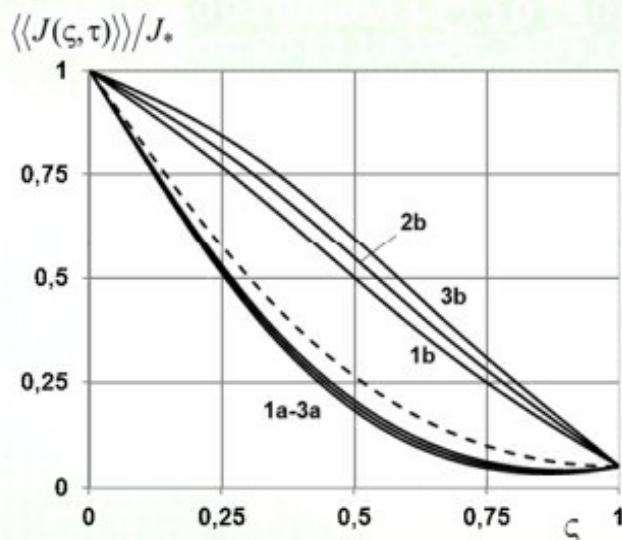
Розподіли третього доданка ряду Неймана для різних значень об'ємної частки включень $v_1=0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6$ (a) та ступенів вільності $\beta = \beta_3=2; 2,5; 3; 3,5$ (b)

Дифузійний потік у двофазній багатошаровій смугі з випадковою товщиною прошарків

- Одержано розрахункові формулі для усередненого потоку маси за нульової та ненульової сталої початкових концентрацій у тілі з рівномірним розподілом фаз для випадків, коли товщина прошарків є випадковою величиною з рівномірним або трикутним розподілом на заданому проміжку.

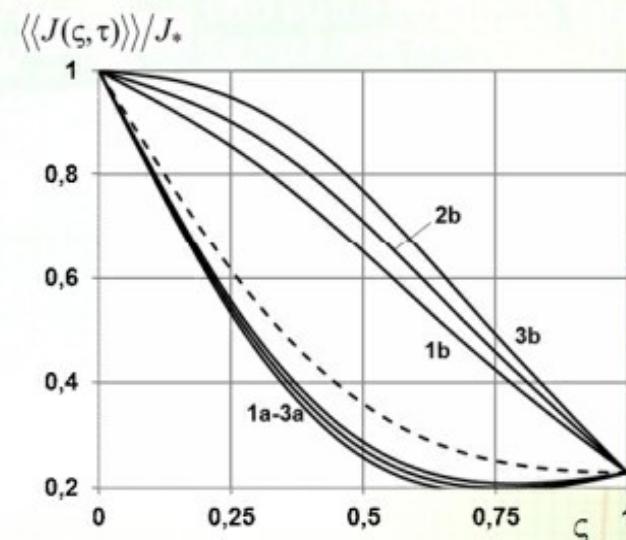


Можлива реалізація двофазної багатошарової смуги з випадковою товщиною прошарків



Розподіли усередненого потоку за нульової початкової концентрації (рівномірний розподіл товщини):

- криві 1 – [0,01; 0,015];
- криві 2 – [0,01; 0,02];
- криві 3 – [0,01; 0,025].



Розподіли усередненого потоку за ненульової початкової концентрації (трикутний розподіл товщини):

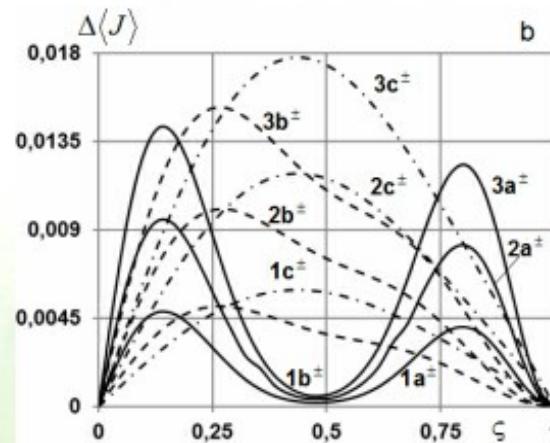
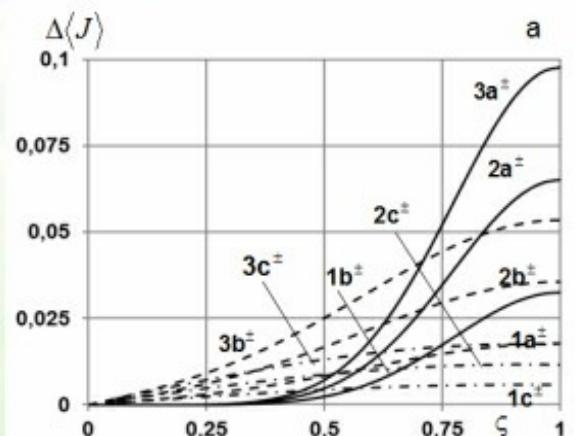
- криві 1 – [0,005; 0,02];
- криві 2 – [0,01; 0,02];
- криві 3 – [0,015; 0,02].

Встановлено, що у випадку багатошарового тіла тип розподілу товщини включень практично не впливає на значення усередненого потоку маси (відмінності між значеннями до 1%), у той же час зі зменшенням кількості прошарків більш значимим стає характер розподілу товщини (різниця між значеннями від 3%).

Проаналізовано результати числових експериментів, одержаних у випадку, коли процедура усереднення за випадковою товщиною проводилася після побудови розв'язку крайової задачі і усереднення за ансамблем конфігурацій фаз, із даними отриманими, коли усереднення за випадковою товщиною проведено на першому етапі побудови розв'язку у вигляді ряду Неймана. Показано, що одночасно для малих часів протікання процесу дифузії, великих значень об'ємної частки включені і значень коефіцієнтів дифузії домішки у матриці менших, ніж у включеннях, етап, на якому проводиться усереднення за випадковою товщиною включень, є суттєвим. Для інших значень параметрів задачі можна використовувати простішу математичну модель з відомою товщиною включень, попередньо усереднивши цей параметр із заданою функцією розподілу.

ЗАЛЕЖНІСТЬ УСЕРЕДНЕНОГО ПОТОКУ МАСИ У БАГАТОШАРОВОМУ ТІЛІ ВІД ПОХИБКИ ВХІДНИХ ДАНИХ

Збурений усереднений потік $\langle \tilde{J}(\zeta, \tau) \rangle = \langle J(\zeta, \tau) \rangle / J_* + \Delta \langle J \rangle$;

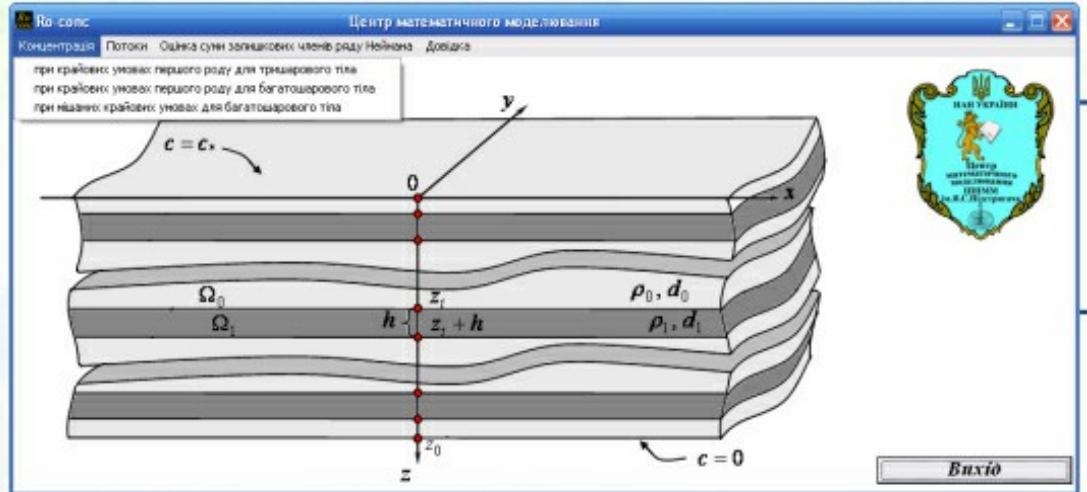


Розподіли збурень усередненого потоку за похибки параметра C_* (а) та похибки параметра h_1 (б)

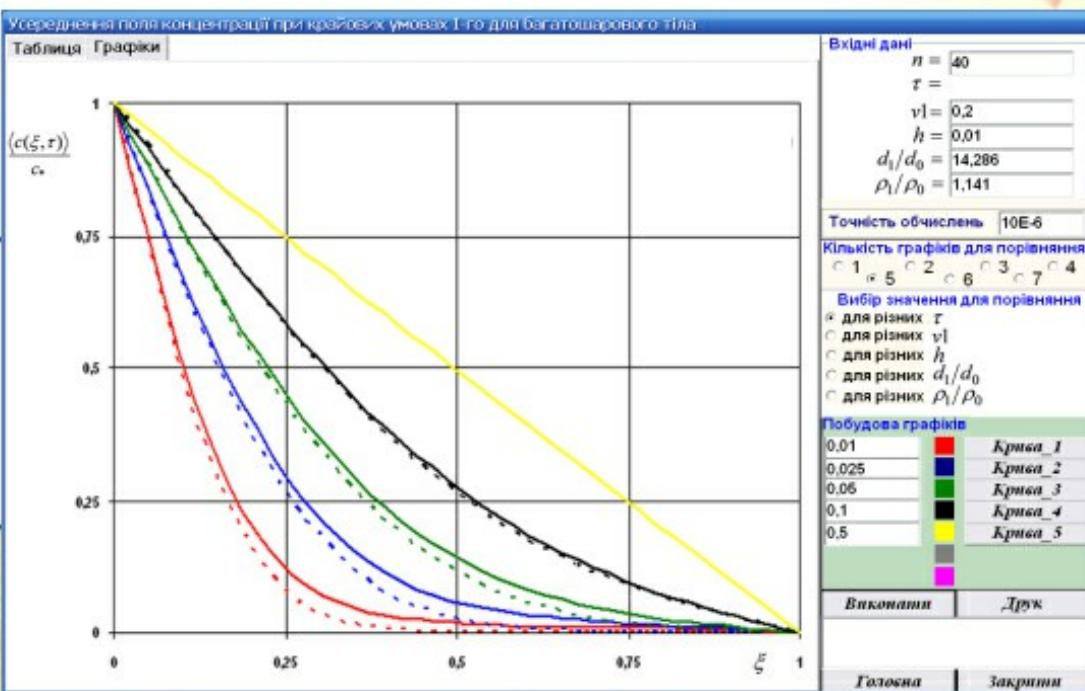
Криві $1^\pm - 3^\pm$ на рис. а відповідають значенням похибки $\Delta = \pm 0,01; \pm 0,02; \pm 0,03$, на рис. б $\Delta = \pm 0,001; \pm 0,002; \pm 0,003$

Встановлено, що наявність відхилень у вимірах початкової концентрації і характерної товщини включень найбільше впливають на збурення потоку, а збурення приведеного коефіцієнта дифузії впливають на потік найменше.

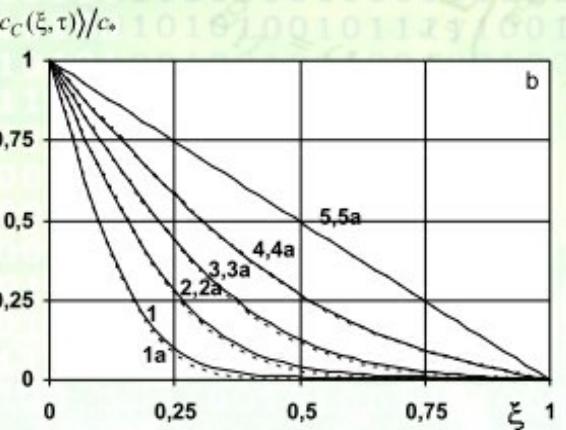
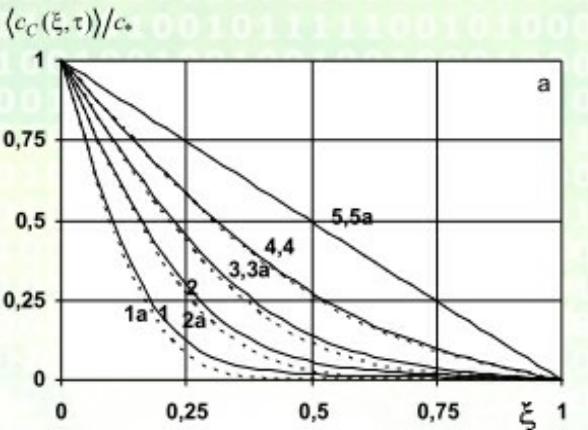
На основі розроблених моделей та отриманих розрахункових формул створено **програмний комплекс “Ro-conc”** для розрахунку усереднених полів концентрації для тришарових і багатошарових тіл, оцінки суми залишкових членів ряду Неймана, дисперсії поля та функції кореляції поля концентрації мігруючих частинок залежно від різних значень фізичних і геометричних характеристик шаруватої структури.



Меню головного вікна пакету програм «Ro-conc»



Приклад роботи програми обчислення міграції водню в шаруватій структурі альфа-залізо-мідь



Розподіли усередненої концентрації вуглецю в різні моменти безрозмірного часу в композитному шаруватому матеріалі $\alpha Fe - Ni$ для $v_{Ni} = 0.2$ (а) та $v_{Ni} = 0.1$ (б)

Табл. Сума залишкових членів ряду Неймана, обчислена для поля концентрації C в матеріалі $\alpha Fe - Ni$ на різних глибинах

τ	$ S_n $			
	$\xi = 0,2$	$\xi = 0,4$	$\xi = 0,6$	$\xi = 0,8$
0,001	0,00482015	0,00078886	0,00025196	0,00013267
0,002	0,00481675	0,00078875	0,00025197	0,00013268
0,005	0,00479309	0,00078803	0,00025209	0,00013281
0,01	0,00471032	0,00078548	0,00025253	0,00013324
0,05	0,00300423	0,00071633	0,00026563	0,00014681
0,1	0,00143321	0,00059186	0,00029869	0,00018558
0,2	0,00063467	0,00044913	0,00036725	0,00029144
0,3	0,00048133	0,00040109	0,00040543	0,00036977
0,4	0,00043713	0,00038581	0,00042161	0,00040826
0,5	0,00042214	0,00038003	0,00042791	0,00042421
0,6	0,00041675	0,00037791	0,00043003	0,00043004
0,7	0,00041477	0,00037713	0,00043119	0,00043274
0,8	0,00041404	0,00037683	0,00043152	0,00043362
0,9	0,00041376	0,00037673	0,00043165	0,00013722

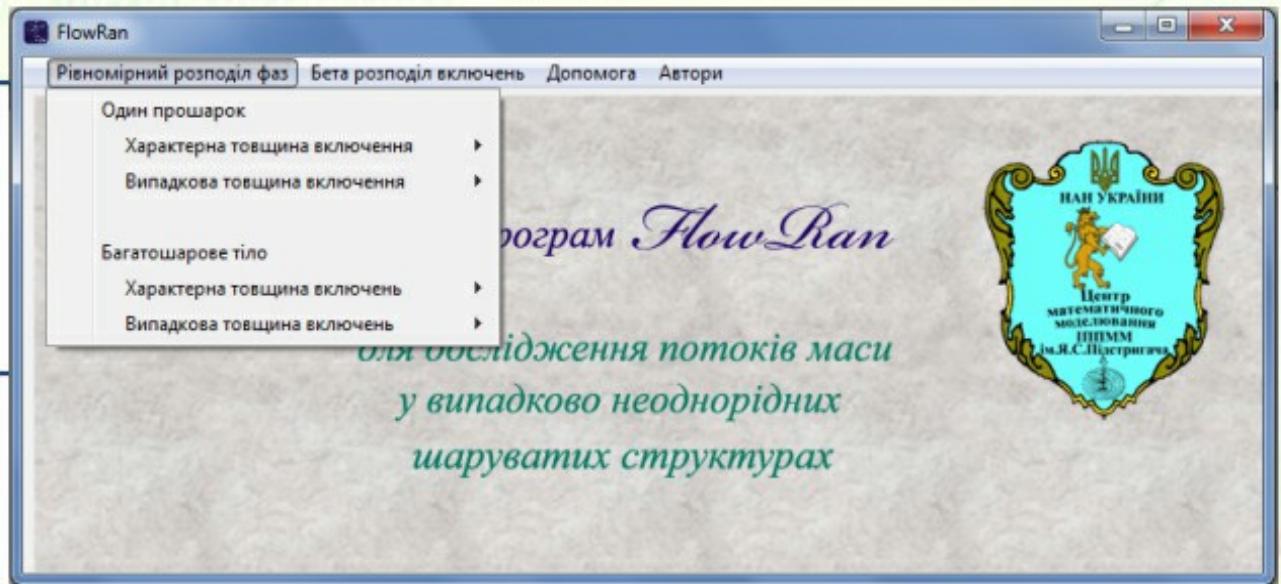
Оцінка суми залишкових членів ряду Неймана

Вхідні дані				
z_0	r_1	v_1	t	
p_0	1,1	0,2	0,0000	
d_0	0,01			
n	z	h	t	
1	0,9	0,1	0,0001	
Знаходження коефіцієнтів				
1,98427081102279	K_1			
43,0847294447322	K_2			
1,14541665236114	K_3			
Гама-функція				
$\Gamma(n+1, K_2 z_0 t) = \int_0^{\infty} e^{-x} x^n dx = n! - \int_0^{K_2 z_0 t} e^{-x} x^n dx$				
$K_1 z_0 t$	0			
Гама-функція	0,999267355970065			
Інтеграл				
Метод трапецій	0,0007326441014			
Метод прямокутників	0,0007326440291			
Оцінка суми залишкових членів ряду Неймана				
$S_n \leq \frac{K_1 K_3}{K_2} \exp\{K_2 z_0 t\} \left[1 - \frac{1}{n!} \Gamma(n+1, K_2 z_0 t) \right]$				
Оцінка $ S_n $	0,000333201611888507			
Головна Закрити				

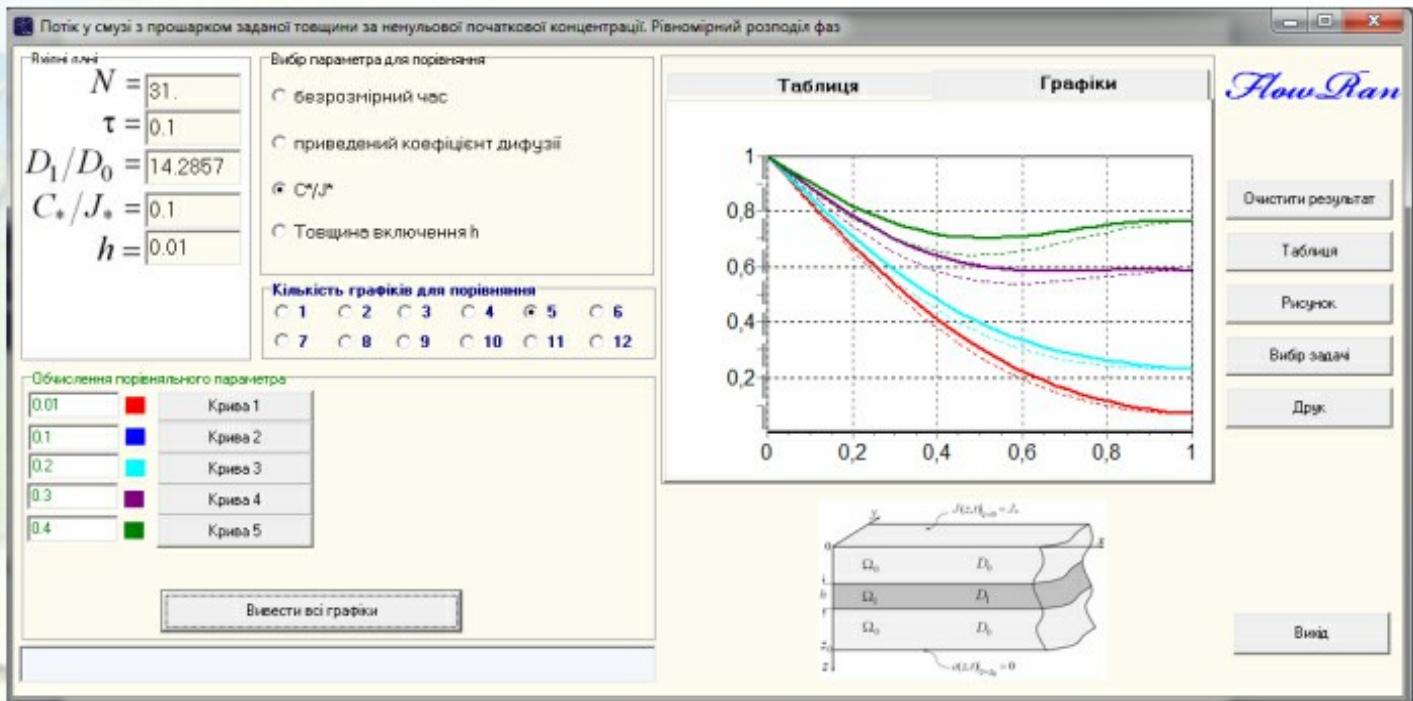
Приклад програми “Оцінка суми залишкових членів ряду Неймана”

За отриманими, на основі запропонованого підходу до математичного опису випадкових потоків у стохастично неоднорідних структурах, математичних моделей, розроблено також **програмний комплекс «FlowRan»** для числового дослідження усереднених дифузійних потоків.

Меню головного вікна пакету програм «FlowRan»



*програма FlowRan
для дослідження потоків маси
у випадково неоднорідних
шаруватих структурах*



**Приклад роботи програми
обчислення потоків водню в
шаруватій структурі
альфа-залізо-мідь**

Одержані в роботі результати використані для

- розрахунків розподілу вуглецю та водню у композитному матеріалі сталь 38ХНЗМФА-Ni (використано у Фізико-механічному інституті ім. Г.В.Карпенка НАН України при виконанні НДР № К-1-11/2013 «Оцінювання експлуатаційної довговічності воднево-охолоджувальних швидкохідних та тихохідних турбогенераторів для Хмельницької АЕС на основі експериментально-розрахункових підходів механіки руйнування та натурних підходів»);
 - дослідження втрати функціональних властивостей будівельних конструкцій, зокрема, зварних з'єднань, панелей та блоків, в результаті дифузії кисню з атмосфери та подальшого окиснення конструкційного металу при проектуванні армованих залізобетонних конструкцій (використано у ТзОВ “Архітрав ЛТД”, м. Івано-Франківськ);
 - оцінки технологічного періоду продуктивного функціонування фільтра (впроваджено на об’єкті «Очисні споруди потужністю $Q_{max} - 10000,0 \text{ м}^3/\text{добу}$ очистки міських комунально-побутових стічних вод м. Приморськ Запорізької обл.» у підприємстві «Пріма-сервіс» ЛТД, м. Галич, Івано-Франківська обл.）.

Результати застосування розроблених методів і програмного комплексу підтверджено **4** актами про використання та впровадження.



ОБО ВИКОНСТАНІЇ

наукових результатів дисертаційної роботи Бориса Юрія Ігоревича
у Фізико-хімічному інституті ім. Г. В. Карпенка НАН України

Цей акт складений про те, що результати, отримані у дипломатичній роботі міжнародного наукового співробітництва Інституту пропонуються до Шлюстра НАН України Ю.Л. Ві колективом фахових працівників та більшістю працівників відповідної наукової структури відзначаються позитивні результати, отримані у дипломатичній роботі, які відповідають вимогам, встановленим відповідно до змісту цього акта. Це підтверджується висновком, який виконавчий комітет Інституту висловив у відповідь на питання про те, чи відповідає вимогам, встановленим відповідно до змісту цього акта, результати, отримані у дипломатичній роботі, які відповідають вимогам, встановленим відповідно до змісту цього акта.

2000



АКТ
ПРО ВИКОРИСТАННЯ

наукових результатів диверсійної роботи Давидюк Альберт Степанович
у Філако-місіонерському Інституті ім. Г.П. Карпенка НАН України

Ця єт складової праці, що результати отримані у докторській роботі автора Інституту прикладних проблем механіки і математики ім. І.С. Підстрігача НАН України А.С. Даника, пов'язані з математичним

моделюванням процесів масопереносу в біоматеріалах компактних за видастинової інформації про геометричні параметри структур, що проводяться



АКТ ПРО ВИКОРИСТАННІ

наукових результатів дисертаційної роботи

Ми, що звиче підписалися, склали цей акт про те, що результати

акт про впровадження
загальних результатів дистанційної роботи
Данилов Анатолій Семенович з 108 «Ірена-Сергій» ЛПД

Результати робіт залишенню вимірюваних конструктивних будівельних блоків в результаті динамічного методу

Ма, по вимогам відповідно, осмислений вже при ті, що результати дослідження роботи виконано Інститутом промислових проблем металургії і математики ім. З.С. Підсухири НАН України. Давидом Анатолієм Степаненком за допомогою верхнього ступеня кандидата технічних наук опоряджено ТОВ «Парнас Сервіс» (м. Гадяч, Кіровоградська обл.) в обсязі «Оцінка сировини підприємства Опак» - 10000,0 м³.

Заг. дверів-коридорів витяг міжок компонент-об'єктуваних стінам, що вимірюється від бічної стіни до бічної стіни з дверима або коридором, та з північною, південною чи південністю. **М. Примір.** Задверів-коридорів об. в. Довжина А.К. мірюється калькулятором і розподілена сумою довжин відповідної країни між двома північними, південною чи південністю. На якійсь одиній розподілів є підсумок для відповідного північного, південно-західного чи південно-східного краю. При цьому тає використання величин:

Наукові результати, що отримані використанням алгоритму очистки зразків в біологічних розрізах. Зокрема, виведено залежність між коефіцієнтом наявності диких залісень та ступенем їх умовної технологічності забезпеченого залишком піраметричної зони від розробки Давидом А.Б. критеріюм моделі методу побудови розмежування, а також програма, пропонує реалізацію піраметричного підходу до продуктивного функціонування біологічного розрізу при виведенні зональних збурень рельєфу, сформованого об'єгом північної ландшафтної зони. Виведено залежність між коефіцієнтом очистки зразків в біологічних розрізах та залежністю коефіцієнта очистки зразків від коефіцієнта очистки зразків в біологічних розрізах.

Генеральный директор
Ноцелько філія виробництва очкових споруд
Економічний інститут

Шарк Т. Самулюк
Шарк Т. Васік
Шарк -В.Панрак

ЗНАЧИМІСТЬ ОДЕРЖАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ У ПОРВНЯННІ З КРАЩИМИ ВІТЧИЗНЯНИМИ ТА СВІТОВИМИ АНАЛОГАМИ

- Запропоновані в рамках наукової роботи підходи, методологія та моделі дають можливість відмовитись від обмежень, необхідних для коректного зastosування підходів і методів гомогенізації неоднорідних структур, зокрема таких як малості розмірів неоднорідностей, їх макроскопічного числа та рівномірного розподілу в області тіла.
- Методи знаходження других моментів полів концентрації, температури, тощо, коли відповідні процеси описуються параболічними або безтипними рівняннями, у вітчизняній та зарубіжній літературі невідомі.
- Щодо дослідження випадкових дифузійних потоків, відомий зарубіжний аналог, в якому накладена умова нормального розподілу включень, що не дає можливість визначати усереднений дифузійний потік. Розвинений у даній роботі підхід до опису випадкових потоків та концентрації, дозволяє виконувати процедуру усереднення за ансамблем конфігурацій фаз для довільного ймовірнісного розподілу включень у тілі.



УКРАЇНА

Міністерство освіти і науки України
Державний департамент інтелектуальної власності

СВІДОЦТВО

про реєстрацію авторського права на твір

№ 37777

Збірка комп'ютерних програм "Пакет програм для розрахунку усередненого за штатом конфігурацій фільмів кіноекранів за зваженіми нормами в експлуатації залу кіно (застосовується до кіноекранів залу (\"Бі-сін\"))"

Автори: Чорнуха Олена Ігорівна, Чернуха Ольга Юріївна, Торгован Лариса Романівна, Білоус Ірина Георгіївна, Ільїна Наталія Олександрівна

Авторське майнове право належить Чорнухі Олені Ігорівні, чул. Дубівка, 18, м. Дубівка, 79905; Чернухі Ользі Юріївні, чул. Дубівка, 18, м. Дубівка, 79905; Торговані Ларисі Романівні, чул. Дубівка, 18, м. Дубівка, 79905; Білоусі Ірині Георгіївні, чул. Дубівка, 18, м. Дубівка, 79905; Ільїні Наталії Олександрівні, чул. Дубівка, 18, м. Дубівка, 79905; Центр математичних методів в економіці та прикладних проблем науки і технології ім. І.С. Потебні, чул. Дубівка, 18, м. Дубівка, 79905.

Довідка про факт реєстрації публічно-правової одиниці державного підприємства

Дата реєстрації 06.04.2011
Голова Державного департаменту інтелектуальної власності М.В.Ландій

УКРАЇНА



ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛІКТУАЛЬНОЇ ВЛАСНОСТІ УКРАЇНИ

СВІДОЦТВО

про реєстрацію авторського права на твір

№ 61888

Комп'ютерна програма "Пакет програм для розрахунку акустичних параметрів у лінійках залу кіноекранів з експлуатаційною структурою (\"Еко-Зал\"))" ("Пакет програм \"Еко-Зал\")"

(застосовується до кіноекранів залу)

Автори: Чорнуха Олена Юріївна, Чорнуха Ольга Ігорівна, Гоголюк Валентина Станіславівна, Білоус Ірина Георгіївна, Данилюк Анастасія Олександрівна

(застосовується до кіноекранів залу)

Дата реєстрації

20.09.2015

Голова Державної служби інтелектуальної власності України
А.Г. Жарікова

Подана на конкурс наукова робота складається

з 34 наукових праць:

- 1 розділу монографії,
- 27 статей,
- 4 матеріалів наукових конференцій.

Зокрема, 6 статей опубліковані у журналах, що індексуються в наукометричних базах, 1 стаття в міжнародному журналі, що має impact-factor, 2 статті опубліковані у журналах, які реферуються у базі SCOPUS, 1 стаття – у наукометричній базі Index Copernicus 1 стаття – у Доповідях НАН України.

Авторами отримано 2 свідоцтва про реєстрацію авторського права на збірку комп'ютерних програм.

Загальна кількість посилань на публікації авторів 46, індекс Гірша h=5.

Дякуємо за Вашу увагу!