

УДК 628.113.2 : 66.067.1 + 517.95

**МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ МАГНІТНОГО ОЧИЩЕННЯ РІДКИХ СЕРЕДОВИЩ  
ВІД ФЕРОДОМІШОК У ВИПАДКУ ЗМІННОЇ ШВИДКОСТІ**А. Я. Бомба<sup>1</sup>, В. І. Гаращенко<sup>2</sup>, А. П. Сафоник<sup>2</sup>, О. В. Гаращенко<sup>2</sup>

1 - Рівненський державний гуманітарний університет, м. Рівне

e-mail: [abomba@ukr.net](mailto:abomba@ukr.net)

2 - Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне

e-mail: [vigarashchenko@yandex.ru](mailto:vigarashchenko@yandex.ru), [safonik@ukr.net](mailto:safonik@ukr.net)

*Запропоновано математичну модель процесу магнітного осадження домішок у пористій фільтруючій загрузці, яка враховує зворотний вплив характеристик процесу (концентрації осаду) на параметри середовища за умов змінної вхідної швидкості. Побудовано алгоритм розв'язку відповідної нелінійної збуреної задачі типу «конвекція-масообмін». На цій основі проведено комп'ютерний експеримент, результати якого, зокрема, підтверджують відомий факт, що продуктивність роботи фільтра суттєво залежить від швидкості фільтрування. В рамках даної моделі передбачається можливість автоматизованого контролю процесу осадження домішок в намагніченій фільтруючій загрузці в залежності від вихідних даних водного середовища та швидкості фільтрування.*

*Ключові слова: фільтрування, магнітний фільтр, магнітна очистка, модель магнітного осадження, асимптотичні розв'язки, нелінійні задачі, зворотний вплив.*

**Вступ.** Стрімкий науково-технічний прогрес, високі темпи розвитку промисловості, впровадження сучасних технологічних процесів вимагають суттєвого покращення якості водних систем, які є основою або складовою більшості технологічних виробничих процесів в різних галузях промисловості. Одним з головних показників якості водних систем є ступінь їх чистоти по відношенню до різного роду домішок. Причиною наявності домішок є неперервна і прогресуюча в часі корозія, зношення технологічного та комунікаційного обладнання [1, 2], наявність застарілих технологій виробництв, які обумовлюють появу забруднюючих домішок. Встановлено, що основна маса цих домішок складається з залізовмісних сполук [1, 2]. В тому випадку, коли вимоги до якості водних середовищ високі, залізовмісні домішки суттєво, а інколи визначально, впливають на якість і сортність водних середовищ або на продукцію, виготовлену з рідких середовищ. При цьому порушуються технологічні процеси, зменшується потенціальний рівень виробництва, зменшується надійність та довговічність роботи обладнання [1, 2, 3]. На теплових і атомних електростанціях залізовмісні домішки погіршують якість конденсату та, відповідно, живильної води котельних агрегатів. Досліджено, що навіть при концентрації залізовмісних домішок (0,02-0,2) мг/л на парогенеруючих поверхнях труб котлів та в проточній частині турбін утворюються так звані „залістисті відкладення” [1, 2, 3]. Ці відкладення збільшують термічний та гідравлічний опір, погіршують теплопередачу, призводять до перевитрат палива і теплової енергії, перепадам та розривам труб, зменшенню потужності турбіни, збільшенню часу простою обладнання в ремонті і скороченню вироблення електроенергії. Відкладення на парогенеруючих трубах в кількості всього 200-300 г/м<sup>2</sup> (це відповідає товщині відкладень не більше 0,3...0,5 мм) обумовлює додатковий перегрів труб на 50...120°C, а відкладення в кількості біля 1 кг на лопатках циліндра високого тиску турбін блоків потужністю 300 мВт викликає зменшення потужності на 5...10 мВт, що еквівалентно недовиробленню 35...70 млн кВт.год/рік електроенергії [1, 2, 3]. Якщо ж конденсати з високою концентрацією залізовмісних домішок (особливо в пускові режими) скидати у водойми, то це призводить до забруднення водного басейна, навколишнього середовища та додатковим втратам тепла.

В оборотних (стічних) водах металургійних виробництв концентрація диспергованої окалини сягає ~100 мг/л і більше, при нормі 10 мг/л. Така висока концентрація окалини



призводить до швидкого зносу технологічного обладнання, позапланового виведення в ремонт і погіршення якості металопродукції, що випускається.

Дослідженнями та спостереженнями встановлено, що 70-95%, а в окремих випадках до 98-100% залізовмісні забруднюючі домішки у вказаних галузях промисловості мають феромагнітні властивості [1, 2]. Тому для їх видалення запропоновано використовувати високошвидкісний і ефективний метод магнітного осадження. Суттєвими перевагами даного методу є можливість очищати рідкі середовища з температурою до 500°C і швидкістю фільтрування порядку 1000 м/год, в той час як в механічних фільтрах швидкість коливається в межах 5-50 м/год. В тих технологічних процесах, де температура рідкого середовища сягає ~100°C і вище, і середовища є хімічно агресивними, метод магнітного очищення майже єдиний, який може забезпечити ефективне очищення середовищ від феромагнітних домішок.

Процес очищення рідких (водних) середовищ від феромагнітних домішок найбільш ефективно відбувається в намагнічених пористих загрузках. Для цього необхідно щоб виконувалась умова  $F_M > F_C$ ,  $F_M$ ,  $F_C$  – магнітна і гідродинамічна сили.

$$F_M = \mu_0 \chi V_q H \text{grad} H, \quad F_C = 3\pi d_e \eta (v - v_q) K,$$

де  $\chi$ ,  $V_q$ ,  $d_e$  – магнітна проникність, об'єм і еквівалентний ефективний діаметр часток;  $H$  – напруженість магнітного поля між гранулами загрузки;  $\eta$  – динамічна в'язкість рідкого середовища;  $v$ ,  $v_q$  – швидкості рідкого середовища і частки;  $K$  – динамічний коефіцієнт форми частки;  $\mu_0$  – магнітна стала.

Розрахунки показали, що інерційна і архімедова сили, які діють на ферочастки у два рази менші від магнітних сил. Дослідами встановлено, що ефективне осадження часток (феромагнітних, феромагнітних, антиферомагнітних) відбувається при значеннях силового магнітного фактора  $H \text{grad} H \approx 1 \cdot 10^{12} - 1 \cdot 10^{15} \text{ A}^2/\text{M}^3$ .

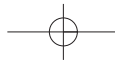
В початковий момент часу ( $t=0$ ) пориста загрузка відносно „чиста”, тобто не насичена домішковими частинками, її пористість –  $\sigma_0$ . В процесі осадження домішок величина пористості  $\sigma$  поступово зменшується, коефіцієнт гідравлічного опору збільшується і, відповідно у випадку замкнутості системи, збільшується величина перепаду тиску  $\Delta P$  у пористій загрузці. Ефективність процесу очищення рідкого середовища залишається на досить високому рівні на протязі певного часу  $t = \tau_z$  (часу фільтроциклу, часу захисної дії фільтра). При накопиченні критичної маси домішок в об'ємі пористої загрузки, що характеризується величиною робочої ємності поглинання, ефективність процесу очищення  $\psi$ , що дорівнює відношенню різниці концентрацій домішок на вході і виході фільтра до концентрації на вході, знижується і режим очищення переходить в нестационарну стадію. Як відомо [1], при  $t > \tau_z$  певна кількість домішок ще осаджується в порових прошарках загрузки, а більша їх частина „зривається” і виноситься з середовищем, що очищується. Поступово комірки по довжині пористої загрузки максимально насичуються домішками і самовідключаються при досягненні часу захисної дії фільтра  $\tau_n$ .

Аналітично величина  $\tau_z$  розраховується [3]:  $\tau_z = \frac{\rho_n \cdot c \cdot L \cdot \psi}{\rho_{жс} \cdot \psi \cdot C_0 \cdot v \cdot K_c}$ , де  $\rho_n$  – густина

матеріалу загрузки;  $c$  – ємність поглинання загрузкою залізовмісних домішок;  $L$  – довжина шару намагніченої загрузки;  $\psi$  – щільність пакування загрузки;  $\rho_{жс}$  – густина рідкого середовища, що очищається;  $\psi$  – коефіцієнт магнітного осадження;  $C_0$  – концентрація залізовмісних домішок до очищення,  $v$  – швидкість фільтрування,  $K_c$  – коефіцієнт відповідності між молекулярною масою феромагнітних окисів  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ,  $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$  і потроєною, а також подвоєною масами чистого заліза Fe.

**Мета роботи** - розробити математичну модель процесу магнітного очищення рідких середовищ від феродомішок у випадку змінної швидкості.





Для досягнення мети розв'язувалась задача, що враховує зворотний вплив характеристик процесу (концентрації осаду) на фільтраційні параметри, зокрема на пористість, коефіцієнт, що характеризує процес відриву від гранул загрузки частинок домішок, коефіцієнт фільтрації, що дає можливість уточнити такі параметри процесу фільтрування, як час фільтроциклу (час стабільної очистки, на протязі якого ефективність процесу очистки практично не змінюється), граничну масу домішок в загрузці, граничну величину перепаду тиску. Аналогічно [4 - 5] побудовано алгоритм розв'язку відповідної нелінійної сингулярно збуреної задачі типу «конвекція-масообмін». При цьому процес магнітного осадження відбувається при змінній швидкості і сталому перепаді тиску.

**Виклад основного матеріалу.** Аналітичні рівняння, які описують процес фільтрування [6] і процес магнітного осадження [1,7], не дозволяють в широкому діапазоні зміни параметрів описувати процес очистки, окрім того, не враховують зворотний вплив характеристики процесу очистки. Тому актуальним завданням теоретичних досліджень є розробка нелінійного математичного моделювання процесу магнітного осадження домішок в намагнічених пористих загрузках. Розв'язок цієї задачі дозволить прогнозувати і розраховувати ефективність процесу магнітного осадження домішок різних технологічних водно-дисперсних систем.

Розглянемо процес магнітного осадження домішок, що реалізується в магнітному фільтрі ( $0 \leq x \leq L$ ) з однорідною гранульованою фільтруючою загрузкою. Процес здійснюється за законами, прототипом яких є класична модель фільтрування [6], з урахуванням зворотного впливу осаджених частинок на пористість  $\sigma$  та коефіцієнт  $\alpha$ , а також на коефіцієнт фільтрації, при умовах що  $v \neq const$ , а  $\Delta P = const$ :

$$\begin{cases} \frac{\partial(\sigma(\rho)c(x,t))}{\partial t} + \frac{\partial\rho(x,t)}{\partial t} + \frac{\partial(v(x,t)c(x,t))}{\partial x} = 0, \\ \frac{\partial\rho(x,t)}{\partial t} = \beta(\rho)c(x,t) - \varepsilon\alpha(\rho)\rho(x,t), \end{cases} \quad (1)$$

$$c|_{x=0} = c^*(t), \quad c|_{t=0} = 0, \quad \rho|_{x=0} = 0, \quad \rho|_{t=0} = 0, \quad (2)$$

$$v(x,t) = \kappa(x,t) \cdot grad P, \quad (3)$$

де  $c(x,t)$  – концентрація домішок в рідкому середовищі, що фільтрується;  $\rho(x,t)$  – концентрація домішок, осаджених у фільтруючій загрузці;  $\beta(\rho)$  – коефіцієнт, що характеризує масові обсяги осадження домішкових часток за одиницю часу,

$$\beta(\rho) = \beta_0 - \varepsilon\beta_*\rho(x,t), \quad (4)$$

$\alpha(\rho)$  – коефіцієнт, що характеризує масові обсяги відірваних за той же час від гранул загрузки домішкових часток;

$$\alpha(\rho) = \alpha_0 + \varepsilon\alpha_*\rho(x,t) \quad (5)$$

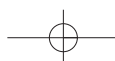
$v(x,t)$  – швидкість фільтрування,  $c^*(t)$  – концентрація домішкових часток на вході фільтра,  $\sigma(x,t)$  – пористість фільтруючої загрузки ( $\sigma_0$  – вихідна пористість загрузки),

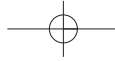
$$\sigma(x,t) = \sigma_0 - \varepsilon\sigma_*\rho(x,t) \quad (6)$$

$\kappa(x,t)$  – коефіцієнт фільтрування,  $\rho_0 = \rho(L, \tau_s)$ ,

$$\kappa(x,t) = \kappa_0 - \varepsilon\gamma\rho(x,t), \quad (7)$$

$\alpha_0, \alpha_*, \sigma_*, \kappa_0, \gamma, \varepsilon$  – жорсткі параметри (вони характеризують відповідні коефіцієнти  $\alpha(\rho), \sigma(x,t), \kappa(x,t)$  – м'які параметри, які знаходяться дослідним способом),  $\varepsilon$  – малий параметр,  $P$  – тиск.





Такий характер зміни пористості та коефіцієнта відірваних частинок пояснюється тим, що при збільшенні домішкових часток в загрузці, змінюються відповідні параметри фільтрування. Оскільки система є замкнутою, то зміна коефіцієнта фільтрування призводить до зміни величини перепаду тиску  $\Delta P = P(L, t) - P(0, t)$  у пористій загрузці, тобто  $grad P$  можна записати як  $\frac{\Delta P}{\Delta L} \Delta P_0 = const$ .

**Алгоритм розв'язку.** Розв'язки системи (1), (3) за умов (2) шукаємо у вигляді асимптотичних рядів (див. [4 – 5]):

$$\begin{aligned} c(x, t) &= c_0(x, t) + \sum_{i=1}^n \varepsilon^i c_i(x, t) + R_c(x, t, \varepsilon), \\ \rho(x, t) &= \rho_0(x, t) + \sum_{i=1}^n \varepsilon^i \rho_i(x, t) + R_\rho(x, t, \varepsilon), \\ v(x, t) &= v_0(x, t) + \sum_{i=1}^n \varepsilon^i v_i(x, t) + R_v(x, t, \varepsilon), \end{aligned} \tag{8}$$

де  $R_c, R_\rho, R_v$  – залишкові члени,  $c_i(x, t), \rho_i(x, t), v_i(x, t)$  ( $i = \overline{0, n}$ ) – члени регулярних частин асимптоти.

Аналогічно до [4], після підстановки (8) в (1)-(3) та застосування “процедури прирівнювання”, для знаходження функцій  $c_i, \rho_i$  та  $v_i$  ( $i = \overline{0, n}$ ) приходимо до таких рівнянь:

$$\begin{cases} \sigma_0 \frac{\partial c_0}{\partial t} + v_0 \frac{\partial c_0}{\partial x} + \frac{\partial v_0}{\partial x} c_0 + \frac{\partial \rho_0}{\partial t} = 0, & \frac{\partial \rho_0}{\partial t} = \beta_0 c_0, v_0 = \kappa_0 \Delta P_0, \\ c_0|_{x=0} = c_0^*(t), c_0|_{t=0} = 0, \rho_0|_{x=0} = 0, \rho_0|_{t=0} = 0, \end{cases}$$

$$\begin{cases} \sigma_* \rho_{i-1} \frac{\partial c_i}{\partial t} + v_i \frac{\partial c_i}{\partial x} + \frac{\partial v_i}{\partial x} c_i + \sigma_* \frac{\partial \rho_{i-1}}{\partial t} c_i + \frac{\partial \rho_i}{\partial t} = 0, & \frac{\partial \rho_i}{\partial t} = \beta c_i - g_i, v_i = k_i \Delta P_0, \\ c_i|_{x=0} = 0, c_i|_{t=0} = 0, \rho_i|_{x=0} = 0, \rho_i|_{t=0} = 0, i = \overline{1, n}, \end{cases}$$

де  $k_i = \kappa_0 - \gamma \rho_{i-1}(x, t)$ .

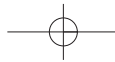
В результаті їх розв'язання маємо:

$$c_0(x, t) = \begin{cases} c_0^* \left( t - \frac{\sigma_0 x}{v_0} \right) \cdot e^{-\frac{\beta_0 x}{v_0}}, & t \geq \frac{\sigma_0 x}{v_0}, \\ 0, & t < \frac{\sigma_0 x}{v_0}, \end{cases} \quad \rho_0(x, t) = \beta_0 \int_0^t c_0(x, \tilde{t}) d\tilde{t},$$

$$c_i(x, t) = \begin{cases} e^{-\lambda_i(x, t)} \cdot \int_0^x \frac{g_i(\tilde{x}, f_i(\tilde{x}) + x - f_i(x)) \cdot e^{\lambda_i(\tilde{x}, t)}}{v_i(\tilde{x}, f_i(\tilde{x}) + x - f_i(x))} d\tilde{x}, & t \geq f_i(x), \\ 0, & t < f_i(x), \end{cases}$$

$$\rho_i(x, t) = \int_0^t (q_i(x, \tilde{t}) - g_i(x, \tilde{t})) d\tilde{t},$$





де 
$$g_i(x,t) = \sum_{j=1}^i \rho_{j-1} \left( \alpha_0 + I(i,j) \sum_{j=2}^i (\alpha_n \rho_{i-2}) \right), \quad \lambda_i(x,t) = \int_0^x \frac{\psi_i(\tilde{x}, f_i(\tilde{x}) + x - f_i(x))}{v_i(\tilde{x}, f_i(\tilde{x}) + x - f_i(x))} d\tilde{x},$$

$$q_i(x,t) = \sum_{j=1}^i c_j \left( I(i,j) \sum_{j=1}^i (\beta_n \rho_{i-1}) \right), \quad \psi_i(x,t) = \sigma_n \frac{\partial \rho_{i-1}(x,t)}{\partial t} + \frac{\partial v_i(x,t)}{\partial x} + \beta,$$

$$I(a,b) = \begin{cases} 1, & \text{якщо } a \geq b, \\ 0, & \text{якщо } a < b. \end{cases}$$
 Наближені значення функцій  $f_i(x)$  знаходяться шляхом

інтерполювання масиву  $(x_j, t_j), j = \overline{1, n}$ , де  $x_j = \Delta x \cdot j, t_{j+1} = t_j + \frac{\Delta x}{v_i(x_j, t_j)} \sigma_n \rho_{i-1}(x_j, t_j)$ .

Для оцінки залишкових членів  $R_c, R_\rho, R_v$  маємо відповідну задачу аналогічну до [4].

**Числові розрахунки та питання автоматизації.** Згідно [1] коефіцієнти захоплення домішкових часток і відірваних часток осаду обчислюються за наступною формулою:

$$\beta(x,t) = \frac{\beta_0 H^{0.75}}{v(x,t) d^2}$$
 [1], де  $\beta_0$  – вільний параметр,  $H$  – напруженість магнітного поля,  $v$  – поле швидкостей фільтрування,  $d$  – діаметр гранульованої загрузки фільтру.

Наведемо результати розрахунків процесу магнітного очищення виробничого конденсату ТЕЦ за формулами (8) при наступних вихідних даних:

1)  $c_*(t) = 2$  мг/л,  $L = 1$  м,  $\beta_0 = 0.7 \cdot 10^{-9}$  м<sup>2</sup>/с,  $\alpha_0 = 0.35$  м<sup>2</sup>/с,  $H = 60$  кА/м,  $d = 2.4$  мм,  $\alpha_n = 1$ .

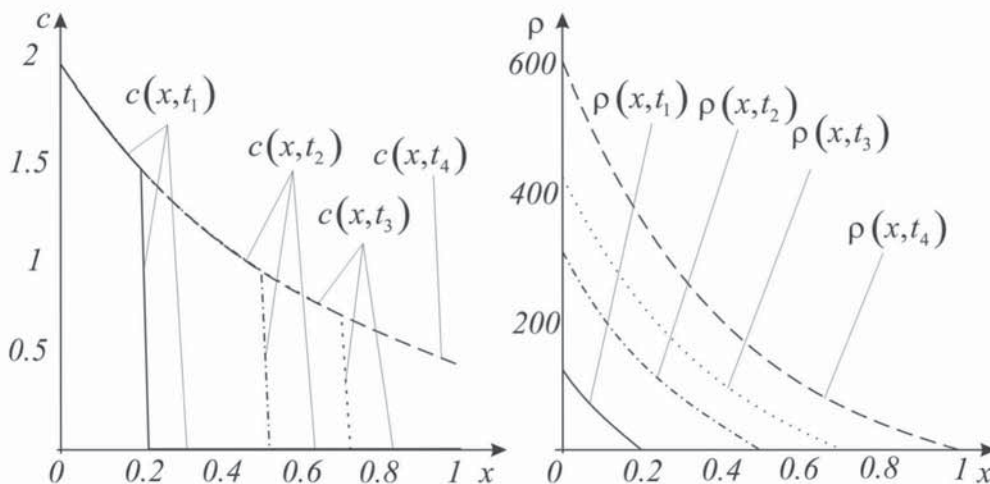


Рис. 1. Розподіл концентрації домішок у рідині та осаді вздовж фільтра в моменти часу  $t_1 = 20$  год,  $t_2 = 40$  год,  $t_3 = 60$  год,  $t_4 = 80$  год.

На рис. 1 зображено розподіл концентрації домішок у рідині та осаді у певні моменти часу. Звідси, задавши на виході фільтра (при  $x=1$ ) допустиме значення концентрації  $c = c_{sp} = 0.59$  мг/л, розрахунками знаходимо час його захисної дії:  $t = \tau_s = 71$  год, що на 4 години відрізняється від даних, отриманих дослідним способом [1]. При цьому магнітний фільтр накопичить 240 г осаду.

Розрахуємо розподіл концентрації домішок та осаду вздовж фільтра при магнітному очищенні конденсату ТЕС за вихідними даними:

2)  $c_*(t) = 0.2$  мг/л,  $L = 0.8$  м,  $\beta_0 = 0.9 \cdot 10^{-9}$  м<sup>2</sup>/с,  $\alpha_0 = 0.26 \cdot 10^{-15}$  м<sup>2</sup>/с,  $H = 80$  кА/м,  $d = 3$  мм.





$\alpha_s = 1.$

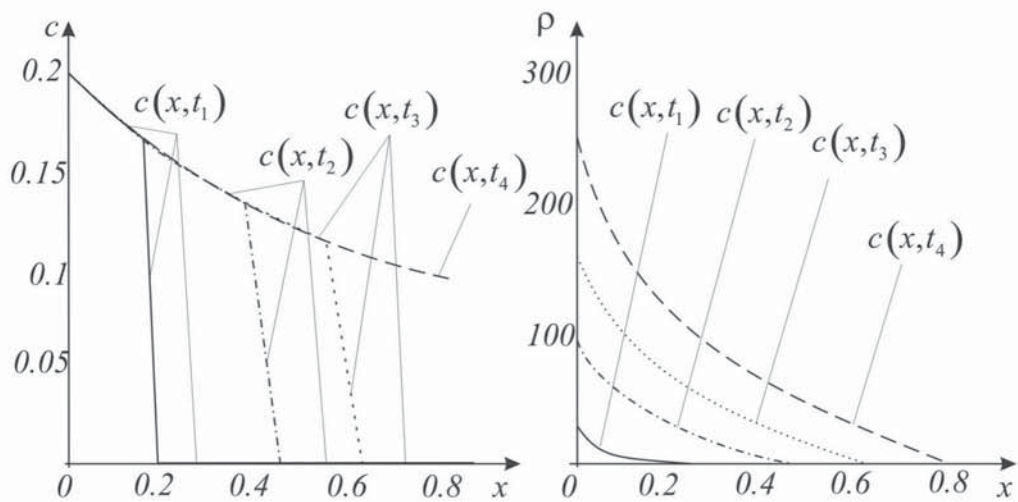


Рис. 2. Розподіл концентрації домішок у рідині та осаду вздовж фільтра в моменти часу  $t_1 = 20$  год,  $t_2 = 40$  год,  $t_3 = 60$  год,  $t_4 = 80$  год.

На рисунку 2 зображено розподіл концентрації домішок у рідині та осаду у певні моменти часу. Звідси, задавши на виході фільтра (при  $x=0.8$ ) допустиме значення концентрації  $c = c_{кр} = 0.059$  мг/л, розрахунками знаходимо час його захисної дії:  $t = \tau_s = 79$  год. При цьому магнітний фільтр накопичить 140 г осаду.

Зміна втрати напору та поле швидкостей у фільтруючій загрузці зображено на рисунках 3, 4, відповідно.

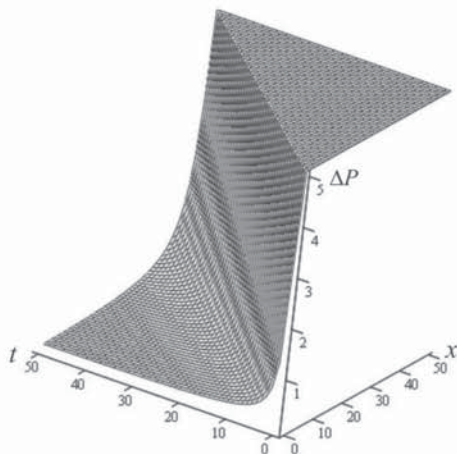


Рис. 3. Зміна втрати напору у фільтруючій загрузці.

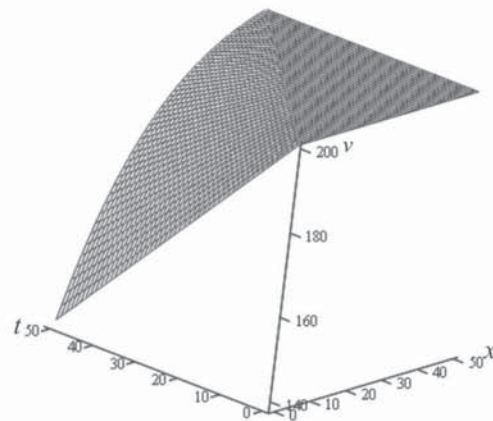


Рис. 4. Просторово-часовий розподіл швидкості процесу фільтрування

Розрахункова залежність втрати напору у фільтруючій загрузці від швидкості фільтрування та вздовж фільтруючої загрузки проілюстровано на рис. 5, 6.



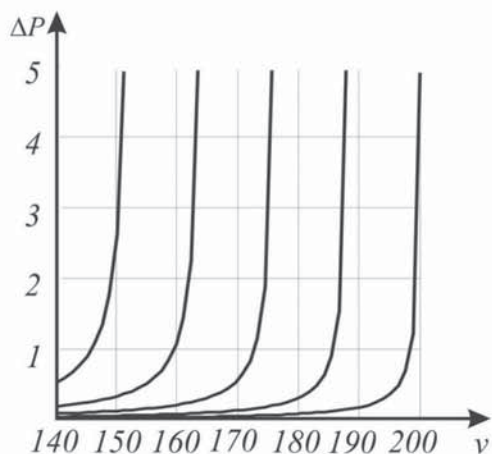


Рис. 5. Розрахункова залежність втрати напору у фільтруючій загрузці від швидкості фільтрування.

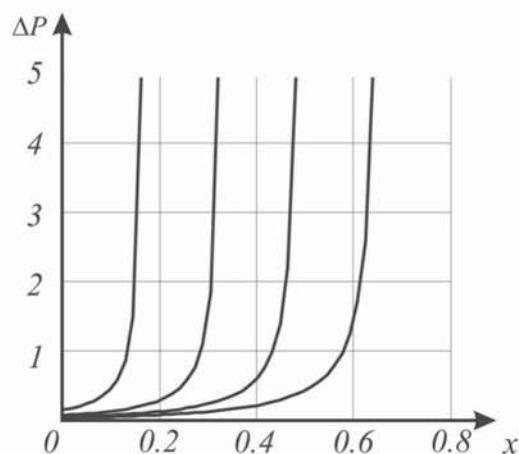


Рис. 6. Розрахункова втрата напору вздовж фільтруючої загрузки.

**Висновки.** Побудована математична модель, що, у випадку змінної вхідної швидкості, описує закономірності магнітного осадження та накопичення домішок у пористій фільтруючій загрузці, яка враховує зворотний вплив характеристик процесу (концентрації осаду) на фільтраційні параметри. Запропонований алгоритм розв'язання відповідної нелінійної збуреної задачі з визначення розподілу концентрацій домішок та осаду, а також часу  $\tau$ , захисної дії фільтруючої загрузки, змінної величини  $gradP(x,t)$ , зокрема, граничної величини перепаду тиску  $\Delta P$ . Наведені результати розрахунків розподілу концентрації домішок та масового обсягу домішок по висоті фільтруючої пористої загрузки для різних моментів часу, величини коефіцієнта фільтрування при різних значеннях довжини загрузки  $L$ , що відповідає часу захисної дії (фільтроциклу) загрузки. В рамках даної моделі передбачається можливість автоматизованого контролю процесу ефективного осадження домішок в намагніченій фільтруючій загрузці в залежності від вихідних даних водного середовища, що очищається.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА МАГНИТНОЙ ОЧИСТКИ ЖИДКИХ СРЕД ОТ ФЕРРОПРИМЕСЕЙ В СЛУЧАЕ ПЕРЕМЕННОЙ СКОРОСТИ

А. Я. Бомба<sup>1</sup>, В. И. Гаращенко<sup>2</sup>, А. П. Сафоник<sup>2</sup>, А. В. Гаращенко<sup>2</sup>

1 - Ровенский государственный гуманитарный университет, г. Ровно

e-mail: [abomba@ukr.net](mailto:abomba@ukr.net)

2 - Национальный университет водного хозяйства и природопользования, г. Ровно

e-mail: [vigarashchenko@yandex.ru](mailto:vigarashchenko@yandex.ru), [safonik@ukr.net](mailto:safonik@ukr.net)

Предложено математическую модель процесса магнитного осаждения примесей в пористой фильтрующей загрузке, которая включает обратное влияние характеристик процесса (концентрации осадка) на параметры среды при условии переменной входной скорости. Построен алгоритм решения соответствующей нелинейной задачи типа «конвекция-массообмен». На этой основе проведен компьютерный эксперимент, результаты которого, в частности, подтверждают известный факт, что продуктивность работы фильтра существенно зависит от скорости фильтрования. В рамках данной модели предусматривается возможность автоматизированного контроля процесса осаждения примесей в намагнитченной

фільтруючої загрузке в залежності від вихідних даних водної середовища і швидкості фільтрування.

Ключові слова: фільтрування, магнітний фільтр, магнітна очистка, модель магнітного осаження, асимптотическі рішення, нелінійні задачі, обернене вплив.

## MODELING OF PROCESS OF MAGNETIC PURIFICATION OF LIQUID ENVIRONMENTS FROM FERROMAGNETIC IMPURITIES IN THE CASE OF VARIABLE VELOCITY

A. Bomba<sup>1</sup>, V. Garashchenko<sup>2</sup>, A. Safonyk<sup>2</sup>, O. Garashchenko<sup>2</sup>

1 - Rivne State Humanitarian University, Rivne

e-mail: [abomba@ukr.net](mailto:abomba@ukr.net)

2 - National University of Water Management and Nature Resources Use, Rivne

e-mail: [vigarashchenko@yandex.ru](mailto:vigarashchenko@yandex.ru), [safonik@ukr.net](mailto:safonik@ukr.net)

*The mathematical model of magnetic precipitation process for admixtures in a porous filtering charge was offered. It takes into account reverse influence of process characteristics (concentrations of sediment) on the parameters of medium under the condition of variable entrance velocity. The algorithm of solution of the nonlinear "convection-mass-transfer" type problem was built. On this basis, a computer experiment was conducted. The results confirmed the known fact that the productivity of filter work essentially depends on velocity of filtration. Within the framework of this model, an automated control of admixtures precipitation process in the magnetized filtering charge is foreseen depending on a basic data of water medium and velocity of filtration.*

*Key words: filtration, magnetic filter, magnetic purification, model of the magnetic besieging, asymptotic upshots, nonlinear tasks, reverse influence.*

### Список літератури

1. Сандуляк А. В. Очистка жидкостей в магнитном поле / А.В. Сандуляк. – Львів : Вища школа, 1984. — 168 с.
2. Гаращенко В. І. Магніто-сорбційні властивості гранульованих фільтруючих насадок / В. І. Гаращенко, І. Г. Скрипник, О. П. Лук'янчук, О. В. Гаращенко // Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. — 2008. — №3. — С. 184 — 191.
3. Гаращенко В. І. Дослідження параметрів процесу магнітного очищення водних суспензій перфорованою пластинчастою насадкою / В. І. Гаращенко, О. П. Лук'янчук, О. В. Гаращенко, О. Ю. Дейнека // Вісник Національного університету водного господарства та природокористування — 2010. — №1(49) — С. 32 — 41.
4. Бомба А. Я. Про асимптотичний метод розв'язання однієї задачі масопереносу при фільтрації в пористому середовищі / А. Я. Бомба // Укр. мат. Журн. — 1982. — Т. 4, № 4. — С. 493 — 496.
5. Сафоник А. П. Нелінійні сингулярно збудені математичні моделі процесів фільтрування / А. П. Сафоник // Волинський математичний вісник. Серія: Прикладна математика. — 2007. — Вип. 4(13). — С. 119 — 128.
6. Минц Д. М. Теоретические основы технологии очистки воды / Д. М. Минц. — М. : Стройиздат, 1964. — 156 с.
7. Сандуляк А. В. Магнитно-фильтрационная очистка жидкостей и газов / А. В. Сандуляк. — М. : Химия, 1988. — 132 с.