

УДК 551.493

ДОСЛІДЖЕННЯ ДИФУЗІЙНОГО РОЗПОВСЮДЖЕННЯ ЗАБРУДНЕНЬ У ВОДНИХ БАСЕЙНАХ

О. В. Палійчук

*Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу;
76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15;
тел. +380 (3422) 4-22-64; e-mail: admin@nuing.edu.ua*

Розглядається система водних сховищ з внесенням забруднень точковими джерелами. Показано, що найвигіднішим методом дослідження є математичне моделювання технологічного процесу. З цією метою проведено аналіз існуючих математичних моделей і вибрано найоптимальніший варіант для реалізації. Реалізація моделі за прийнятих початкових і граничних умов здійснювалася методом інтегральних перетворень, в результаті отримано загальний та частковий розв'язки. Їх числова реалізація дозволила побудувати графічні залежності концентрації витоків в тримірному просторі з часом, аналіз яких дозволяє зробити практично важливі висновки.

Ключові слова: *водойма, виток, математична модель, реалізація, коефіцієнт витоків.*

Вступ

Розвиток видобувної і хімічної промисловості пов'язаний з технологіями зберігання рідких відходів виробництва у хвостосховищах, які переважно облаштовуються на базі природних водойм чи штучних відпрацьованих ємностей, переважно заповнених дощовою водою і стоками. При створенні хвостосховищ у водне середовище поступають промислові відходи у вигляді промислових стоків розчинних у воді, які формують ареали забруднення водного простору. З практичної точки зору важливим питанням, яке обов'язково виникає в процесі формування хвостосховища, є швидкість зміни концентрації забруднювача у водному просторі басейну і характер розповсюдження хмари.

Поставлена задача може бути реалізована виключно на основі математичного моделювання з наступною адаптацією до реальних умов, оскільки фізичне моделювання в природних умовах пов'язане з нанесенням шкоди довкіллю, а створення моделі в штучних умовах не забезпечить ідентичності всіх взаємозв'язків.

Виклад матеріалу

В основі теорії екологічних забруднень навколишнього природного середовища лежить система рівнянь, що описує рух в'язкої не стискуваної ньютонівської рідини, до яких відносяться [1, 2, 3, 4]

а) рівняння нерозривності, яке виражає закон збереження маси

$$\frac{\partial}{\partial t} \rho + \frac{\partial}{\partial x_i} \rho u_i = 0, \quad (1)$$

де ρ – густина; u_i – компоненти швидкості потоку;

б) рівняння стану, за допомогою якого виражають зміну густини, через зміну температури:

$$\rho = \rho_r [1 - \alpha(T - T_r)], \quad (2)$$

де α – коефіцієнт об'ємного розширення; T_r – температура, за якої густина рівна ρ_r ;

в) рівняння руху, яке відображає закон збереження кількості руху, і яке можна записати з достатньою точністю у вигляді:

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} \rho u_i + \frac{\partial}{\partial x_j} \rho u_j u_i = & - \frac{\partial}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} \mu \cdot \frac{\partial u_k}{\partial x_k} \delta_{ig} \right] + \\ & + \rho g_i - 2E_{ijk} \Omega_j \rho u_k, \end{aligned} \quad (3)$$

де μ – коефіцієнт молекулярної в'язкості; Ω_j – компоненти кутової швидкості руху землі; g_i – вектор прискорення вільного падіння.

Дана система є досить складною і використовувати її для отримання швидких якісних і кількісних забруднюючих викидів у довкілля практично важко.

Іншим актуальним і перспективним напрямком досліджень є створення моделей, які сумісно описують структуру турбулентно-циркуляційних викидів забруднень у нижньому шарі атмосфери над обмеженим регіоном. Для вирішення цієї задачі в [5, 6] запропоновано математичну модель, до якої входить замкнута система рівнянь гідродинаміки. Це рівняння:

а) прогностичні рівняння (перенос тепла, руху, вологості, домішок);

б) діагностичні рівняння (статики, стану, нерозривності, дифузії).

Замикає дану систему рівнянь баланс кінетичної енергії турбулентності, швидкість її дисипації та співвідношення Колмогорова для зв'язку коефіцієнту вертикального турбулентного обміну зі швидкістю дисипації та кінетичною енергією турбулентності.

Дана модель має такий вигляд:

а) прогностичні рівняння

– руху

$$\frac{\partial u}{\partial t} + A(u) = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} + fv + \frac{\partial}{\partial z} K \frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial x} (KD) + \frac{\partial}{\partial y} (K, D), \quad (4)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + A(v) = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} - fu + \frac{\partial}{\partial z} K \frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial x} (K, D) - \frac{\partial}{\partial y} (K, D); \quad (5)$$

– притоку тепла

$$\frac{\partial \Theta}{\partial t} + A(\Theta) = \alpha \frac{\partial}{\partial z} k \frac{\partial \Theta}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial x} k_L \frac{\partial \Theta}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} k \frac{\partial \Theta}{\partial y} + Lc; \quad (6)$$

– переносу вологи

$$\frac{\partial m}{\partial t} + A(S) = \alpha_m \frac{\partial}{\partial z} k \frac{\partial m}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial x} k_L \frac{\partial m}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} k_L \frac{\partial m}{\partial y} - c; \quad (7)$$

– турбулентної дифузії у віддаленій зоні (при $r > \Omega$)

$$\frac{\partial q}{\partial t} + A(b) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_x^q \frac{\partial q}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_x^q \frac{\partial q}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_x^q \frac{\partial q}{\partial x} \right) - \frac{q}{\tau_0} = 0; \quad (8)$$

– балансу кінетичної енергії турбулентності

$$\begin{aligned} \frac{\partial b}{\partial t} + A(b) = & k \left[\left(\frac{\partial u}{\partial z} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial z} \right)^2 \right] + K_L (D_n^2 + D_\tau^2) + \alpha_r \frac{g}{\Theta} k \frac{\partial \Theta}{\partial z} + \alpha_b \times \\ & \times \left(\frac{\partial}{\partial y} K_L \frac{\partial b}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z} k \frac{\partial b}{\partial z} \right) - \alpha_\tau \frac{b^2}{k}; \end{aligned} \quad (9)$$

– швидкості дисипації енергії турбулентних вихорів

$$\begin{aligned} \frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + A(\varepsilon) = & \alpha_\tau \frac{\varepsilon}{b} \left\{ k \left[\left(\frac{\partial u}{\partial z} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial z} \right)^2 \right] + K_L (D_n^2 + D_\tau^2) \right\} + \\ & + \alpha_4 \frac{\varepsilon}{b} \frac{g}{\Theta} k \frac{\partial \Theta}{\partial z} + \alpha_2 \left(\frac{\partial}{\partial x} K_L \frac{\partial \varepsilon}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} K_L \frac{\partial \varepsilon}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z} k \frac{\partial \varepsilon}{\partial z} \right) - \alpha_3 \frac{\varepsilon^2}{k}; \end{aligned} \quad (10)$$

б) діагностичні рівняння

– нерозривності

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0; \quad (11)$$

– статика

$$\frac{\partial p}{\partial z} = -pg; \quad (12)$$

– дифузія домішки в ближній зоні (при $r \leq \Omega$)

$$q(x, y, z) = \frac{M}{2\pi U \sigma_y \sigma_z} \exp\left(-\frac{(y-y_0)^2}{2\sigma_y}\right) \left\{ \exp\left[-\frac{(z-H_0)}{2\sigma_z}\right] + \exp\left[-\frac{(z+H_0)}{2\sigma_z}\right] \right\}; \quad (13)$$

де t – час, u, v, w – компоненти вектору швидкості течіння вздовж координатних осей; x, y, z , f – параметр Коріоліса; g – прискорення віль-

ного падіння, ρ – густина, p – тиск, T – температура, Θ – потенційна температура; m – масова доля водяної пари, c – швидкість процесу конденсації випаровування; L – теплота конденсації/випаровування, Δs – горизонтальний крок сітки; α (з індексами) – універсальні константи; $-r = \sqrt{x^2 + y^2}$ – віддаль від джерела, Ω – розмір ближньої зони;

τ_0 – час релаксації, який враховує в параметричному вигляді фізико-хімічні процеси “вимивання” домішок із хмари,

M – потужність джерела домішок (г/с), U – швидкість переносу домішок у напрямку осі X (м/с) на рівні викиду;

y_0 – початкова координата джерела по осі Y ; H , – ефективна висота джерела над підстилаючою поверхнею;

σ_y, σ – стандартні відхилення координати частки домішку в напрямках, поперечних напрямку переносу.

При описі забруднень у [7, 8, 9] використовується напівемпіричне рівняння для моделювання турбулентної дифузії домішок при малому часі та з кінцевою швидкістю розповсюдження, яке має вигляд:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \sum_i \frac{\partial u_i C}{\partial x_i} - \sum_{i,j} \frac{\partial}{\partial x_i} k_{ij} \frac{\partial C}{\partial x_j} = 0, \quad (14)$$

де C і u_i – відповідні осередні математичні очікування концентрації домішок і компонент швидкості течії; K_{ij} – тензор коефіцієнтів турбулентної дифузії.

Для розв’язання (14) необхідно задати початкове поле концентрації та її значення на границях. Точкове миттєве джерело домішок, яке спрацьовує у момент часу $t = 0$ у точці з координатами $x_i = x_0$ задається початковою умовою

$$C(x_0, y_0, z_0, 0) = m \cdot \prod_{i=1}^3 \delta(x_i - x_{i0}),$$

де m – кількість викинутих домішок.

Усі моделі, які розглядались, мають ряд недоліків, пов’язаних із заданням складних початкових умов і складними алгоритмами їх розв’язків. Окрім цього моделі спрощувались, у результаті чого розв’язується одномірною задачею розповсюдження забруднень від одного точкового джерела одноразового викиду. З цією метою необхідно створити таку просторову модель, яка могла б моделювати процеси викидів забруднень від багатьох джерел і багаторазово.

Для створення такої моделі, розглянемо дифузію забруднювача в нерухомому середовищі. Рівняння дифузії має вигляд:

$$\nabla^2 c - \frac{1}{D} \frac{\partial c}{\partial t} = - \frac{1}{D} q(x, y, z, t), \quad (15)$$

де c – концентрація дифундууючої речовини (відношення об’єму, зайнятого дифундууючою речовиною, до загального об’єму за умови, що він нескінченно малий); ∇^2 – оператор Лапласа; t – час; D – коефіцієнт дифузії; $q = f(x, y, z, t) / \rho$; $f(x, y, z, t)$ – інтенсивність внутрішніх джерел маси, ρ – густина маси речовини внутрішнього джерела.

Задача формулюється так. У водному середовищі, розміри якого багато перевищують об’єми миттєвих викидів, є N точкових джерел. Із кожного з них через певний проміжок часу викидаються порції забруднювача на протязі часу Δt_1 . Точкові джерела забруднення розташовані на глибині z .

Функція $f(x, y, z, t)$ у такому випадку має вигляд:

$$f(x, y, z, t) = Q_0 \sum_{i=1}^{12} \delta(x - x_i) \delta(y - y_i) \delta(z - z_i) \times \sum_{i=1}^{12} [U(t - 2n \cdot \Delta t_3) - U(t - (2n + 1) \cdot \Delta t_3)] \times \left[\sum_{k=0}^{\infty} U(t - k \cdot \Delta t^*) - U(t - (\Delta t_1 + k \cdot \Delta t^*)) \right]. \quad (16)$$

У (16) $\delta(x - x_i)$, $\delta(y - y_i)$, $\delta(z - z_i)$ – дельта-функції Дірака; x_i , y_i , z_i – координати i -го джерела забруднення; $U(t - t_i)$ – одинична функція Хевісайда; $\Delta t^* = \Delta t_1 + \Delta t_2$; Q_0 – потужність одного джерела,

Враховуючи сказане, для шуканої величини концентрації маємо диференціальне рівняння

$$\frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} - \frac{1}{D} \frac{\partial C}{\partial t} = - \frac{Q_0}{D\rho} \sum_{i=1}^{12} \delta(x - x_i) \delta(y - y_i) \delta(z - z_i) \times \sum_{n=0}^{\infty} [U(t - 2n\Delta t_3) - U(t - (2n + 1)\Delta t_3)] \times \sum_{k=0}^{\infty} [U(t - k\Delta t_3) - U(t - (\Delta t_1 + k\Delta t_3^*))]. \quad (17)$$

Початкова умова

$$C(x, y, z, t) /_{t=0} = 0.$$

Гранична умова $\frac{\partial C}{\partial z} /_{z=0} = 0$.

Розв’язок задачі шукаємо методом інтегральних перетворень. Оскільки шукана функція $C(x, y, z, t)$ симетрична відносно координатних осей, то застосовується експотенційне перетворення Фур’є та перетворення Лапласа. В результаті аналітичних перетворень та використання зворотних інтегральних перетворень отримано розв’язок поставленої задачі у вигляді:

$$\begin{aligned}
C(x, y, z, t) = & \frac{Q_0}{\pi^3 D \rho} \frac{\Delta t_1}{\Delta t^*} \int_0^\infty f_1(\beta, x) \int_0^\infty f_2(\gamma, y) \times \int_0^\infty \frac{\cos \alpha z \cos z_1}{\alpha^2 + \beta^2 + \gamma^2} \times \\
& \times \frac{1}{2} \left(1 - e^{-D(\alpha^2 + \beta^2 + \gamma^2)t} \right) d\alpha d\gamma d\beta + \frac{1}{\pi^4} \frac{Q_0}{\rho} \int_0^\infty f_1(\beta, x) \int_0^\infty f_2(\gamma, y) \times \\
& \times \int_0^\infty \left[\sum_{k=1}^\infty f_3(\lambda, \beta, \gamma, k, t) + 2 \sum_{k=1}^\infty f_4(\lambda, \beta, \gamma, k, t) \right] \cos \alpha z \cos z_1 d\alpha d\gamma d\beta - \quad (18) \\
& - \frac{1}{\pi^4} \frac{Q_0}{\rho} \int_0^\infty f_1(\beta, x) \int_0^\infty f_2(\gamma, y) \int_0^\infty \left[\sum_{k=1}^\infty f_5(\lambda, \beta, \gamma, k) + 2 \sum_{k=1}^\infty f_6(\lambda, \beta, \gamma, k) \right] \times \\
& \times e^{-D(\alpha^2 + \beta^2 + \gamma^2)t} \cos \alpha z \cos z_1 d\alpha d\gamma d\beta,
\end{aligned}$$

де $f_1(\beta, x) = \cos \beta(x+a) + \cos \beta x + \cos \beta(x-a)$;

$f_2(\gamma, y) = \cos \gamma(y-1,5b) + \cos \gamma(y+1,5b) + \cos \gamma(y-0,5b) + \cos \gamma(y+0,5b)$;

$$\begin{aligned}
f_3(\lambda, \beta, \gamma, k, t) = & \frac{1}{k} \frac{1}{D^2(\alpha^2 + \beta^2 + \gamma^2)^2 + \frac{4\pi^2 k^2}{\Delta t^{*2}}} \left[D(\alpha^2 + \beta^2 + \gamma^2) \times \right. \\
& \times \left(\sin \frac{2\pi k}{\Delta t^*} t - \sin \frac{2\pi k}{\Delta t^*} (t - \Delta t_1) \right) - \frac{2\pi k}{\Delta t^*} \left(\cos \frac{2\pi k}{\Delta t^*} t - \cos \frac{2\pi k}{\Delta t^*} (t - \Delta t_1) \right) \left. \right];
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
f_4(\alpha, \beta, \gamma, k, t) = & \frac{1}{(2k+1) \left(1 - \cos \frac{(2k+1)\pi}{\Delta t_3} \Delta t^* \right)} \frac{1}{D^2(\alpha^2 + \beta^2 + \gamma^2)^2 + \frac{(2k+1)^2 \pi^2}{\Delta t_3^2}} \times \\
& \times \left[D(\alpha^2 + \beta^2 + \gamma^2) \left(\sin \frac{(2k+1)\pi}{\Delta t_3} t - \sin \frac{(2k+1)\pi}{\Delta t_3} (t - \Delta t_1) + \sin \frac{(2k+1)\pi}{\Delta t_3} \times \right. \right. \\
& \times \left. \left. (t + \Delta t^* - \Delta t_1) - \sin \frac{(2k+1)\pi}{\Delta t_3} (t + \Delta t^*) \right) - \frac{(2k+1)\pi}{\Delta t_3} \left(\cos \frac{(2k+1)\pi}{\Delta t_3} t - \right. \right. \\
& \left. \left. \cos \frac{(2k+1)\pi}{\Delta t_3} (t - \Delta t_1) + \cos \frac{(2k+1)\pi}{\Delta t_3} (t + \Delta t^* - \Delta t_1) - \cos \frac{(2k+1)\pi}{\Delta t_3} (t + \Delta t^*) \right) \right]; \\
f_5(\alpha, \beta, \gamma, k, t) = & \frac{1}{k} \cdot \frac{1}{D^2(\alpha^2 + \beta^2 + \gamma^2)^2 + \frac{(2k+1)^2 \pi^2}{\Delta t^{*2}}} \times \left[D(\alpha^2 + \beta^2 + \gamma^2) \times \right. \\
& \times \left. \sin \frac{2\pi k}{\Delta t^*} \Delta t_1 - \frac{2\pi k}{\Delta t^*} (1 - \cos \frac{2\pi k}{\Delta t^*} \Delta t_1) \right];
\end{aligned}$$

$$f_6(\alpha, \beta, \gamma, k) = \frac{1}{(2k+1)(1 - \cos \frac{(2k+1)\pi}{\Delta t_3} \Delta t^*)} \frac{1}{D^2(\alpha^2 + \beta^2 + \gamma^2)^2 + \frac{(2k+1)^2 \pi^2}{\Delta t_3^2}} \times$$

$$\times \left[D(\alpha^2 + \beta^2 + \gamma^2) \left(\sin \frac{(2k+1)\pi}{\Delta t_3} \Delta t_1 + \sin \frac{(2k+1)\pi}{\Delta t_3} \times (\Delta t^* - \Delta t_1) - \sin \frac{(2k+1)\pi}{\Delta t_3} \Delta t^* \right) - \right.$$

$$\left. - \frac{(2k+1)\pi}{\Delta t_3} \left(1 - \cos \frac{(2k+1)\pi}{\Delta t_3} \Delta t_1 + \cos \frac{(2k+1)\pi}{\Delta t_3} (\Delta t^* - \Delta t_1) - \cos \frac{(2k+1)\pi}{\Delta t_3} \Delta t^* \right) \right].$$

Як частковий випадок отримано розв'язок задачі для умов дії одного джерела забруднення, який пропонується використовувати як початкове наближення в задачах суперпозиції дії декількох джерел

$$C(x, y, z, t) = \frac{Q_0}{8\pi D \rho_0} \int_0^\infty \cos \beta x \int_0^\infty \cos \gamma y \frac{1}{\sqrt{\beta^2 + \gamma^2}} \times$$

$$\times \left\{ e^{-(z-z_1)\sqrt{\beta^2 + \gamma^2}} \operatorname{erfc} \left(\frac{z_1 - z}{2\sqrt{D(t - \Delta t)}} - \sqrt{D(\beta^2 + \gamma^2)(t - \Delta t)} \right) - \right.$$

$$\left. - e^{(z-z_1)\sqrt{\beta^2 + \gamma^2}} \operatorname{erfc} \left(\frac{z_1 - z}{2\sqrt{D(t - \Delta t)}} + \sqrt{D(\beta^2 + \gamma^2)(t - \Delta t)} \right) \right] -$$

$$- \left[e^{-(z-z_1)\sqrt{\beta^2 + \gamma^2}} \operatorname{erfc} \left(\frac{z_1 - z}{2\sqrt{D(t - \Delta t - \Delta t_1)}} - \sqrt{D(\beta^2 + \gamma^2)(t - \Delta t - \Delta t_1)} \right) - \right.$$

$$\left. - e^{(z-z_1)\sqrt{\beta^2 + \gamma^2}} \operatorname{erfc} \left(\frac{z_1 - z}{2\sqrt{D(t - \Delta t - \Delta t_1)}} + \sqrt{D(\beta^2 + \gamma^2)(t - \Delta t - \Delta t_1)} \right) \right] + \quad (19)$$

$$+ \left[e^{-(z-z_1)\sqrt{\beta^2 + \gamma^2}} \operatorname{erfc} \left(\frac{z_1 - z}{2\sqrt{D(t - \Delta t)}} - \sqrt{D(\beta^2 + \gamma^2)(t - \Delta t)} \right) - \right.$$

$$\left. - e^{(z-z_1)\sqrt{\beta^2 + \gamma^2}} \operatorname{erfc} \left(\frac{z_1 - z}{2\sqrt{D(t - \Delta t)}} + \sqrt{D(\beta^2 + \gamma^2)(t - \Delta t)} \right) \right] -$$

$$- \left[e^{-(z-z_1)\sqrt{\beta^2 + \gamma^2}} \operatorname{erfc} \left(\frac{z_1 - z}{2\sqrt{D(t - \Delta t - \Delta t_1)}} - \sqrt{D(\beta^2 + \gamma^2)(t - \Delta t - \Delta t_1)} \right) - \right.$$

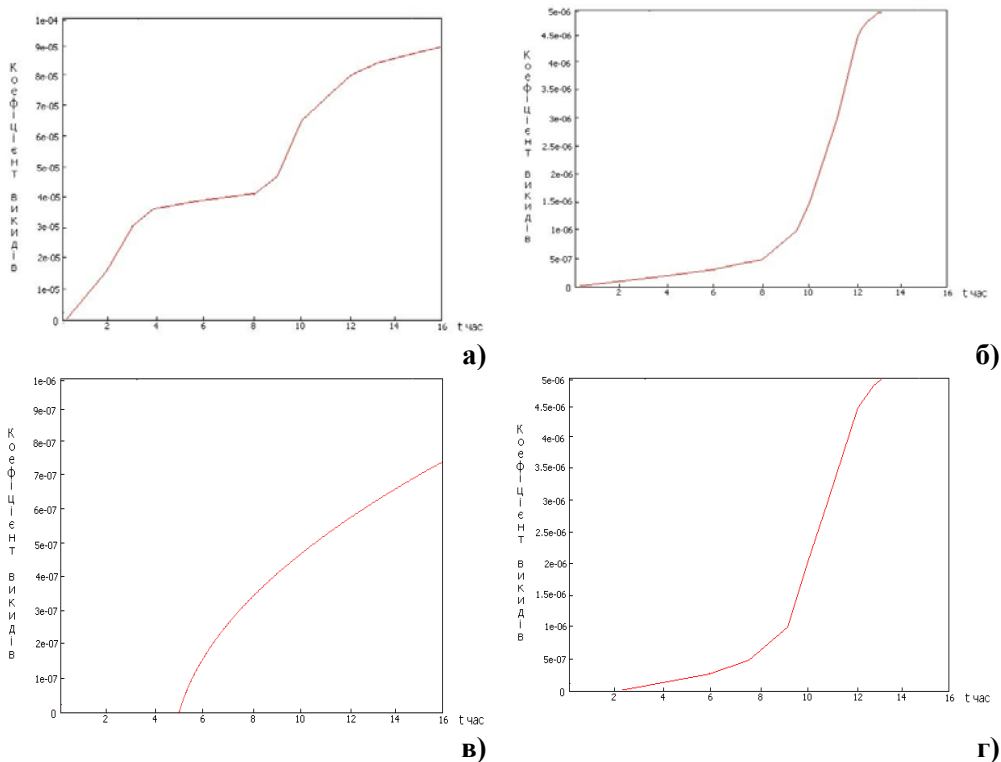
$$\left. - e^{(z-z_1)\sqrt{\beta^2 + \gamma^2}} \operatorname{erfc} \left(\frac{z_1 - z}{2\sqrt{D(t - \Delta t - \Delta t_1)}} + \sqrt{D(\beta^2 + \gamma^2)(t - \Delta t - \Delta t_1)} \right) \right] \Bigg\} d\gamma d\beta.$$

Формули (18) і (19) визначають концентрацію дефундууючої речовини, викликану відповідно N точковими джерелами і одним джерелом

маси, що розміщене в точці з координатами $x = 0$, $y = 0$, $z = z_1$, яке діє в інтервалі часу $\Delta t \leq t \leq (\Delta t + \Delta t_1)$.

На основі розробленої математичної моделі побудовано криві забруднення, за допомогою яких визначають концентрацію забруднень у водному басейні, її можна використовувати і для інших видів забруднень довкілля. Модель створено з метою визначення швидкості забруднень, а також накопичення інформації про забруднення за будь-який проміжок часу.

На основі результатів досліджень визначався коефіцієнт витоків як відношення концентрації витоків в даній точці до концентрації витоків в безпосередній близькості від джерела на даний момент часу. На рисунку 1 представлено графічні залежності коефіцієнта витоків від часу для різних точок водного простору і різних глибин водойми. Результати показують, що на глибинах, близьких до глибини розміщення джерела, зростання коефіцієнта витоків має періодичний коливний характер. При значних відстанях від джерела викидів як по площі, так і по висоті, зростання коефіцієнта витоків має аперіодичний характер, а швидкість зростання коефіцієнта зменшується.



а) глибина $Z=2$ м; б) глибина $Z=3$ м; в) глибина $Z=4$ м; г) глибина $Z=1$ м

Рис. 1. Залежність концентрації викидів від часу для точок, в яких розміщені джерела

Висновки

1. Проведено аналіз існуючих математичних моделей витоків забруднюючих шкідливих речовин у водний простір, за результатами якого сформульовано основні підходи для вирішення проблеми.

2. Розроблено просторову математичну модель процесу дифузійного розсіювання витоків у довкілля, яка дозволяє розраховувати їх концентрацію залежно від просторових координат і часу.

3. Досліджено процеси дифузійного розсіювання витоків і отримано формули для визначення концентрації речовин від багатьох джерел для різних глибин і схем їх розміщення.

4. Розроблені методи дозволяють накопичувати інформацію при довготривалих витоках і будувати картограми забруднень, а також прогнозувати концентрацію витоків речовин у водоймах, будувати криві залежності концентрації витоків в часі та просторі.

Література

1. Алоян А.Е. Численная модель турбулентного пограничного слоя / А.Е. Алоян, В.В. Абраменко. – Новосибирск, ВЦ СО АН СССР, 1982. – 19 с. – (Препринт, АН СССР, Новосибирск: ВЦ СО, 1982-362).
2. Андерсон Д. Вычислительная гидромеханика и теплообмен. т. 1,2 / Д. Андерсон, Дж. Таннехилл, Р. Плетчер. – М.: Мир, 1990. – 726 с.
3. Бородулин А.И. Моделирование турбулентной диффузии примесей при малых временах распространения / А. . Бородулин. – Изв. РАН (серия: физика атмосферы океана). – 1993. – т. 29. №2. – С. 208-212.
4. Лозанская И.Н. Экология и охрана биосферы при химическом загрязнении / И.Н. Лозанская, Д.С. Орлов, Л.К. Садовникова. – М.: Высшая школа, 1998. – 288 с.
5. Лэм Р. Дж. Диффузия в коективном пограничном слое / Р. Дж. Рэм // Атмосферная турбулентность и моделирование распространения примесей. – Л.: Гидрометеиздат, 1985. – С. 173-238.
6. Марчук Г.И. Математическое моделирование в проблеме окружающей среды / Г.И. Марчук. – М.: Наука, 1982. – 319 с.
7. Оценка экологического состояния компонентов природной среды на территории трассы протяженного трубопровода/ [А.А. Машошина, Г.А. Меркушина, В.Ф. Зараев и др.] // Нефтяное хозяйство. – 2007. – №5. – С. 124-128.
8. Шестаков В.А. Экологические последствия горных работ и пути их снижения / В.А. Шестаков, И.Д. Посыльный // Разработка научных основ и способов ресурсозберегающей и экологически чистой технологии добычи полезных ископаемых: материалы 49-й научно-технической конференции ЮРГТУ (НГН). – ЮРГТУ (НГН), 2000. – Новочеркасск: ЮРГТУ (НГН), НОК, 2000. – С. 111-114
9. Andren A. TKE-dissipation model for the atmospheric boundary layer / A. Andren – Bound.-Layer Meteor, 1991. – vol. 30. – pp. 207.

10. Chang James J. A study of storage tank accidents// Ling Cheng-Chung J Loss Prev. Process Ind. – 2006. – №1. – С. 51-59.

*Стаття надійшла до редакційної колегії 27.12.2014 р.
Рекомендовано до друку член-кореспондентом НАН України,
д.т.н., професором Крижанівським Є.І.,
д.геогр.н., д.г.-м.н., д.т.н, професором Рудьком Г.І. (м. Київ)*

THE RESEARCH OF DIFFUSION DISTRIBUTION OF CONTAMINATION IN WATERSHEDS

O. V. Paliychuk

*Ivano-Frankivs'k National Technical University of Oil and Gas;
76019, Ivano-Frankivs'k, Carpathians str., 15;
ph. +380 (3422) 4-22-64; e-mail: admin@nung.edu.ua*

The system of water storage with the point sources of pollution is researched. It is shown that the optimal method of the research is the mathematical modeling of technological process. With this purpose there are analyzed the existing mathematical models and the most optimal variant for their implementation is chosen. Implementation of the model under the adopted initial and boundary conditions was carried out by integral transformations; as a result we received general and partial problem solutions. Their numerical implementation allowed us to build the graphical dependences of leakage concentration in three-dimensional space over time, and their analysis helps to draw important practical conclusions.

Keywords: *basin, implementation, leakage, leakage rate, mathematical model.*