

Комаренко А.Д., магістр
кер. **Юрасов С.М.**, доцент, к.т.н.
Одеський державний екологічний університет, м. Одеса

ЧИСЛОВЕ МОДЕЛЮВАННЯ РОЗПОВСЮДЖЕННЯ ЗАВИСІ ПРИ ВИЙМЦІ ҐРУНТУ ДНОПОГЛИБЛЮВАЛЬНИМ СНАРЯДОМ

Проблема оцінки розповсюдження зависі при виконанні днопоглиблювальних робіт актуальна через великий обсяг щорічного капітального і експлуатаційного днопоглиблення в портах України, яке становить більше 4,5 млн.м³ ґрунту. Виконання днопоглиблювальних робіт пов'язано з надходженням в морське середовище зависі, яка надає на морські екосистеми суттєвий вплив. Масштаб шкоди залежить від характеристик зони підвищеної каламутності, достовірна оцінка цих характеристик дозволяє визначити реальний збиток, який за діючим природоохоронним законодавством повинен бути компенсований.

Для кількісної оцінки компенсаційних платежів по будь-якому об'єкту необхідно знати: максимальне значення концентрації забруднювальних речовин на контрольному видаленні (в контрольному створі) від місця розробки ґрунту (або його скиду); загальну кількість речовини, винесеної за межі контрольного створу; розміри зони забруднення.

В даний час існує багато методик оцінки параметрів зони підвищеної каламутності. Однак, ці методики мають недоліки, які не дозволяють виконати оцінку з необхідною точністю. Тому, у роботі розглядається модель розповсюдження зависі при виконанні днопоглиблювальних робіт, заснованої на вирішенні стаціонарного рівняння турбулентної дифузії зависі в плоскій постановці задачі.

При розгляді процесу виїмки ґрунту представляється можливим використовувати стаціонарне рівняння турбулентної дифузії зависі в плоскій постановці задачі, яке з початковими і граничними умовами можна записати у вигляді

$$V_{CP}(\partial C/\partial x) = D_T(\partial^2 C/\partial z^2) - uC/H_{CP}, \quad (1)$$

$$C(x,z) = C_0, \text{ при } x=0 \text{ і } z_1 \leq z \leq z_2,$$

$$C(x,z) = 0, \text{ при } x=0 \text{ і } z_1 > z > z_2,$$

$$\partial C/\partial z = 0, \text{ при } x \geq 0, z=0 \text{ і } z=B_{CP},$$

де V_{CP} – середня швидкість потоку, м/с; C – концентрація зависі, мг/дм³; x і z – змінні; D_T – коефіцієнт горизонтальної турбулентної дифузії, м²/с; u – гідравлічна крупність частинок, м/с; H_{CP} – середня глибина акваторії, м; C_0 концентрація зависі в зоні виїмки ґрунту, мг/дм³; B_{CP} – середня ширина потоку.

У цій моделі розглядається середнє значення концентрації зависі по вертикалі. Вісь OX спрямована уздовж усередненого вектора швидкості течії, а вісь OZ – поперек потоку. Виїмка ґрунту здійснюється в створі $x=0$, у інтервалі $z_1 \leq z \leq z_2$, ширина виїмки – B_0 . При виїмці ґрунту біля берега $z_1=0$. Обмін зависсю з правою і лівою межами потоку відсутній. Потік зависі на дно дорівнює $UC(x, z)$, відстань до контрольного створу – L_{KC} .

Вирішимо модель (1) методом кінцевих різниць за явою кінцево-різницевою схемою (рис. 1). Цей метод широко застосовується при вирішенні диференціальних рівнянь і його використання не потребує будь-якого обґрунтування.

	0	1	...	k	k+1	...
1(M)	↓ Δz	...		● C _{k,1}	● C _{k+1,1}	
2(M-1)		...		● C _{k,2}		
...	...	...		...	...	...
m-1	← Δx →	...		● C _{k,m-1}		
m		...		● C _{k,m}	● C _{k+1,m}	
m+1		...		● C _{k,m+1}		
...	...	...		...	...	...

Рис. 1 – Явна кінцево-різницева схема

На схемі індексом k позначені створи, які проведені в розрахунковій області потоку з кроком Δx . Індексом m позначена нумерація струменів, ширина яких – $\Delta z = B_0/M_0$, де M_0 – кількість струменів по ширині виїмки ґрунту. Середнє значення концентрації зависі в k -у створі в межах струменя з номером m розташоване в його центрі і позначено $C_{k,m}$.

Запишемо всі частинні похідні в рівнянні (1) у вигляді різниці значень сіткової функції за схемою на рис. 1 і вирішимо його щодо $C_{k+1,m}$:

при $1 < m < M$ –

$$\partial C / \partial x \approx (C_{k+1,m} - C_{k,m}) / \Delta x, \quad (2)$$

$$\partial^2 C / \partial z^2 \approx (C_{k,m+1} - 2C_{k,m} + C_{k,m-1}) / \Delta z^2, \quad (3)$$

$$C_{k+1,m} = (1 - 2a - f)C_{k,m} + a(C_{k,m+1} + C_{k,m-1}), \quad (4)$$

при $m = 1$ –

$$\partial C / \partial x \approx (C_{k+1,1} - C_{k,1}) / \Delta x, \quad (5)$$

$$\partial^2 C / \partial z^2 \approx (C_{k,2} - C_{k,1}) / \Delta z^2, \quad (6)$$

$$C_{k+1,1} = (1 - a - f)C_{k,1} + aC_{k,2}, \quad (7)$$

при $m = M$ –

$$\partial C / \partial x \approx (C_{k+1,M} - C_{k,M}) / \Delta x, \quad (8)$$

$$\partial^2 C / \partial z^2 \approx (C_{k,M-1} - C_{k,M}) / \Delta z^2, \quad (9)$$

$$C_{k+1,M} = (1 - a - f)C_{k,M} + aC_{k,M-1}, \quad (10)$$

де $a = \Delta x D_T / (V_{CP} \Delta z^2)$; $f = u \Delta x / (V_{CP} H_{CP})$; $M = B_{CP} / \Delta z$, при $(2a + f) \leq 1$.

Отримані рівняння (4), (7) і (10) дають змогу за значеннями концентрації зависі в k -м створі розрахувати її значення в наступному $(k+1)$ -у створі. Розрахунок виконується, починаючи з створу $k=1$. У попередньому для нього створі ($k=0$) розподіл концентрації зависі задається: в межах виїмки ґрунту (M_0 струменів) передбачається рівномірний розподіл зависі з концентрацією C_0 . В інших струменях значення концентрації зависі дорівнює 0. При виїмки ґрунту на видаленні від берега на кожному кроці кількість струменів в зоні підвищеної каламутності збільшується на 2 (якщо виїмка біля берега – на 1), тому в k -м створі загальна кількість струменів в цій області становить $M_k = M_0 + 2k$, при $(M_0 + 2k) \leq M$, а при $(M_0 + 2k) > M$ зона підвищеної каламутності поширюється на всю ширину потоку $M_k = M$. При $(z_1 / \Delta z) - k > m > (z_2 / \Delta z) + k$ значення $C_{k,m} = 0$. Загальна кількість кроків $K_{KC} = L_{KC} / \Delta x$.

За формулами (4), (7) і (10) видно, що сума коефіцієнтів при значеннях концентрації зависі дорівнює $(1-f)$. Це означає, що в $(k+1)$ -м створі кількість речовини в $(1-f)$ рази менше, ніж в попередньому k -у. Виходячи з цього, можна записати наступну умову перевірки розрахунків

$$\sum C_{k,m} = (1-f)^k M_0 C_0. \quad (11)$$

Явна кінцево-різницева схема має перевагу в тому, що рішення в наступному створі виходить відразу за значеннями сіткової функції в попередньому створі. Її недолік полягає в нестійкості рішення при $(2a + f) > 1$.

Описана модель може застосовуватися для вирішення великої кількості практичних задач, як при виконанні днопоглиблювальних робіт, так і при скиді стічних вод, що містять завислі речовини.