

МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ПРОСОЧЕННЯ РІДИНИ В ГРУНТ

Басманов О.Є., д.т.н., професор,

Олійник В.В., к.т.н., доцент

Національний університет цивільного захисту України

Значна кількість надзвичайних ситуацій, що виникають в хімічній, переробній промисловості і на транспорті, починаються з аварійного розливу горючих або інших небезпечних рідин. Найбільшу небезпеку при цьому являє займання розливу горючої рідини. Розробка планів локалізації і ліквідації надзвичайних ситуацій, викликаних аварійним розливом горючої рідини, потребує інформації про форму і розміри розливу, а також про динаміку його зміни. Просочення рідини в ґрунт зменшує товщину шару рідини на поверхні ґрунту, а, значить, і площу розтікання. Отже, актуальною проблемою при розливі рідини на поверхні ґрунту є її просочення в глибину.

В [1] запропоновано апроксимацію часу просочення рідини у вигляді поліному третьої степені відносно глибини просочення. Побудовано оцінки коефіцієнтів полінома, як розв'язок задачі мінімізації відхилення розрахункових даних від експериментальних. Недоліком такого підходу є те, що коефіцієнти полінома не дозволяють розрахувати такі параметри просочення, як коефіцієнт гідравлічної провідності, коефіцієнт пористості ґрунту і показник капілярності.

Час просочення розлитої рідини в ґрунт визначається рівнянням:

$$t(z) = \frac{z}{K(1-\phi)} - \frac{c_0 + h_f}{K(1-\phi)^2} \ln \left(1 + \frac{1-\phi}{c_0 + h_f} z \right), \quad (1)$$

де z , t – глибина і час просочення відповідно; ϕ – коефіцієнт пористості ґрунту; c_0 – початковий рівень рідини на поверхні ґрунту; K – коефіцієнт гідравлічної провідності змоченого ґрунту; h_f – показник капілярності.

Коефіцієнт гідравлічної провідності і показник капілярності залежать від рідини, типу ґрунту і його стану. Це означає, що для практичного використання залежності (1) необхідно експериментальним шляхом визначити параметри просочення.

Нехай в моменти часу t_1, t_2, \dots, t_n вимірюється глибина просочення z_1, z_2, \dots, z_n і товщина шару рідини на поверхні h_1, h_2, \dots, h_n . Тоді коефіцієнт пористості може бути оцінено за формулою

$$\phi = \frac{h_1 - h_n}{z_n - z_1}. \quad (2)$$

Для визначення коефіцієнта гідравлічної провідності K і показника капілярності h_f запишемо функцію похибки [2]

$$L = \sum_{k=1}^n (z_k - F(t_k))^2, \quad (3)$$

де $F(t)$ – розв'язок алгебраїчного рівняння (1). Тоді оцінка параметрів K , h_f зводиться до розв'язання задачі мінімізації

$$L = \sum_{k=1}^n (z_k - F(t_k))^2 \rightarrow \min_{K, h_f} . \quad (4)$$

Значення K , h_f , що забезпечують мінімум функції (3), і будуть оцінками відповідних параметрів. Внаслідок неявного представлення функції $F(t)$ аналітичне розв'язання задачі (4) є неможливим. Тому доцільним є скористатися одним із чисельних методів оптимізації, наприклад, методом градієнтного спуску. Розглядаючи (4) як функцію $L(K, h_f)$, оберемо довільно початкові значення $K^{(0)}$, $h_f^{(0)}$ і будемо виконувати ітераційну процедуру:

$$(K^{(i+1)}, h_f^{(i+1)}) = (K^{(i)}, h_f^{(i)}) - \lambda_i \text{grad } L(K^{(i)}, h_f^{(i)}); \quad i = 0, 1, \dots, n, \quad (5)$$

де λ_i – параметр;

$$\text{grad } L(K^{(i)}, h_f^{(i)}) = \left(\frac{\partial L}{\partial K}, \frac{\partial L}{\partial h_f} \right) \Big|_{(K^{(i)}, h_f^{(i)})} . \quad (6)$$

При цьому значення параметра λ_i підбирається шляхом розв'язання задачі одновимірної мінімізації

$$L \left(K^{(i)} - \lambda_i \frac{\partial L}{\partial K} (K^{(i)}, h_f^{(i)}), h_f^{(i)} - \lambda_i \frac{\partial L}{\partial h} (K^{(i)}, h_f^{(i)}) \right) \rightarrow \min_{\lambda_i} \quad (7)$$

Наведений метод оцінки параметрів моделі просочення рідини вглиб ґрунту включає вимірювання глибини просочення в певні моменти часу, що робиться шляхом відеофіксації процесу просочення рідини в зразок ґрунту, насипаного в скляний мірний циліндр. Після цього оцінка коефіцієнта пористості знаходиться безпосередньо із експериментальних даних за формулою (2). А для оцінки значень коефіцієнта гідравлічної провідності і показника капілярності будується і розв'язується задача мінімізації (4). В ній якості критерію вибору значень цих параметрів використовується мінімум суми квадратів відхилень експериментально визначених глибин просочення від розрахованих за формулою (1). Для розв'язання задачі мінімізації (4) застосовано метод градієнтного спуску, особливістю якого є використання перших частинних похідних (5) від функції цілі і зведення вихідної задачі до послідовності задач одновимірної мінімізації (7).

ЛІТЕРАТУРА

1. Abramov Y., Basmanov O., Oliinik V., Khmyrov I. Justifying the experimental method for determining the parameters of liquid infiltration in bulk material. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2022. 4/10(118). P. 24–29.
2. Олійник В. В., Басманов О. Є., Михайловська Ю. В. Метод експериментального визначення параметрів просочення рідини в ґрунт. *Проблеми надзвичайних ситуацій*. 2022. 2 (36). С. 15–25.