

УДК 619.8

**ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ
ПРОСОЧЕННЯ ГОРЮЧОЇ РІДИНИ В ҐРУНТ**

Басманов О.Є., доктор технічних наук, професор,
Олійник В.В., кандидат технічних наук, доцент
Національний університет цивільного захисту України

Значна кількість надзвичайних ситуацій, що виникають в хімічній, нафтопереробній промисловості і на транспорті, починаються з аварійного розливу горючих або інших небезпечних рідин. Інфільтрація рідини в ґрунт призводить до забруднення водних ресурсів: як підземних вод, так і річкових. Але найбільшу небезпеку являє займання розливу горючої рідини, що загрожує розповсюдженням пожежі на сусідні технологічні об'єкти і природні ландшафти. Особливістю розтікання і горіння рідини на ґрунті є її просочення всередину ґрунту.

Час просочення розлитої рідини в ґрунт визначається рівнянням [1]

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

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

$$\phi = \frac{h_1 - h_n}{z_n - z_1}$$

Для визначення гідравлічної провідності і показника капілярності запишемо функцію похибки

$$L = \sum_{i=1}^n (z_n - F(t_n))^2, \quad (2)$$

де: $F(t)$ – розв'язок алгебраїчного рівняння (1)

Тоді оцінка параметрів K, h_f зводиться до розв'язання задачі мінімізації

$$L = \sum_{i=1}^n (z_n - F(t_n))^2 \rightarrow \min_{K, h_f}, \quad (3)$$

Значення K , h_f , що забезпечують мінімум функції (2), і будуть оцінками відповідних параметрів.

В ході експерименту у вертикальний мірний скляний циліндр насипався пісок. Після цього наливалась сира нафта і проводилася відеофіксація процесу просочення. Шляхом обробки відеозапису визначалися глибина просочення і відповідний час.

Із отриманих результатів безпосередньо впливає оцінка коефіцієнта пористості:

$$\phi = \frac{h_1 - h_n}{z_n - z_1} \approx 0,314, \quad (4)$$

Застосування методу покоординатного спуску до задачі мінімізації (3) дає оцінки параметрів просочення

$$K = 1,68 \cdot 10^{-7} \text{ м/с}, \quad h_f = 0,95 \text{ м.}, \quad (5)$$

На рис. 1 наведено залежність глибини просочення сирої нафти в пісок від часу, отриману експериментально і за формулою (1), в яку підставлені значення (4), (5).

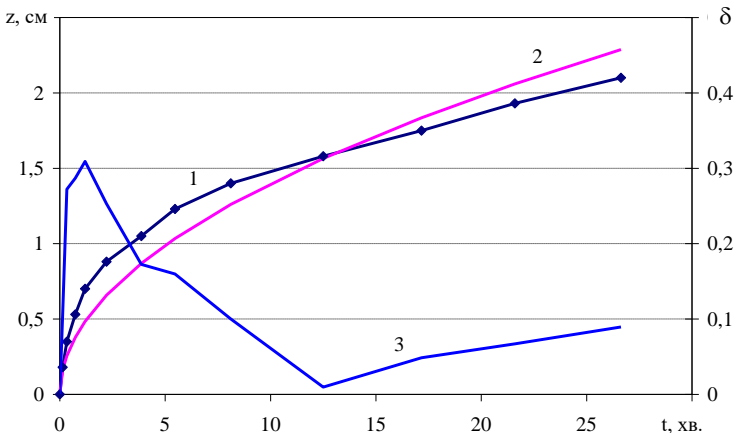


Рисунок 1 – Залежність глибини просочення сирої нафти в пісок від часу:
1 – експериментальні дані; 2 – результат розрахунку за формулою (1);
3 – відносна похибка (по правій осі)

Аналіз графічних залежностей, наведених на рис. 1, свідчить, що спочатку відносна похибка між експериментальними даними і результатами розрахунків зростає, досягаючи 30%, а потім зменшується і після 8 хв. не перевищує 10%.

Наведений метод оцінки параметрів моделі просочення рідини вглиб ґрунту включає вимірювання глибини просочення в певні моменти часу і пошук таких значень, як показник капілярності, гідравлічна провідність і пористість ґрунту, які забезпечують мінімум відхилення розрахованої глибини просочення від експериментально визначеної. Відзначимо, що показник капілярності і гідравлічна провідність є характеристиками пари «ґрунт – рідина». Типові значення коефіцієнта пористості лежать в діапазоні від 0,09 (асфальт) до 0,45 (пісок), гідравлічної провідності піску, глини, чорнозему – ($10^{-4} \div 10^{-8}$) м/с, показника капілярності – ($10^{-2} \div 1$) м.

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. Doi: 10.15587/1729-4061.2022.262249.