

УДК 519.6

## РОЗРОБКА МОДЕЛІ РОЗТІКАННЯ ГОРЮЧОЇ РІДИНИ ПО ПОВЕРХНІ ҐРУНТУ

*Олійник В.В., к.т.н., доцент,  
Басманов О.Є., д.т.н., професор,  
Саламов Д.*

*Національний університет цивільного захисту України*

Значна кількість надзвичайних ситуацій, що виникають в хімічній, переробній промисловості і на транспорті, починаються з аварійного розливу горючих рідин. На залізничний транспорт припадає близько половини всіх вантажних перевезень в Україні. Не зважаючи на існуючі нормативні документи, що регламентують правила пожежної безпеки при перевезенні небезпечних вантажів, аварії з їх участю все одно трапляються. Це підтверджується надзвичайними ситуаціями, пов'язаними з розливом або горінням горючих рідин, які виникали на залізничному транспорті в Україні і світі в останні роки.

Надзвичайні ситуації на залізничному транспорті, що супроводжуються розливом та горінням горючих і легкозаймистих рідин, є одними з найбільш небезпечних. Основну складність при їх ліквідації являє загроза поширення пожежі на технологічні споруди і рухомий склад. Тому важливим завданням є оцінка граничного часу введення сил і засобів для охолодження рухомого складу або його евакуації. Тепловий потік від пожежі буде визначатися видом горючої рідини і параметрами розливу.

Таким чином, аналіз аварій на залізничному транспорті, обумовлених розливом горючої рідини і горінням, показав, що вони створюють загрозу як для життя і здоров'я людей, так і для рухомого складу і технічних споруд залізниці.

Одним з поширених методів моделювання розтікання рідини по горизонтальній поверхні є використання принципу гравітаційного розтікання циліндричного шару рідини [1]. Основним недоліком моделі гравітаційного розтікання є відсутність врахування просочення рідини вглибину ґрунту. Також ця модель не може бути застосована на похилій поверхні.

При побудові моделі розтікання рідини, яка враховує її просочення вглиб підстилаючої поверхні, будемо виходити із припущення, що просочення рідини відбувається лише в вертикальному напрямку:

$$\frac{\partial h}{\partial t} = R \left[ \frac{\partial}{\partial x} \left[ h^3 \left( \frac{\partial h}{\partial x} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[ h^3 \left( \frac{\partial h}{\partial y} \right) \right] - \gamma \frac{\partial}{\partial x} h^3 \right] - \phi K \frac{h + z + h_f}{z}, \quad (1)$$

де  $h = h(x, y)$  – товщина шару рідини на поверхні;  $z = z(x, y)$  – глибина просочення в точці  $(x, y)$  розливу;  $K$  – гідравлічна провідність змоченого ґрунту;  $h_f$  – показник капілярності, що описує тиск втягування рідини вглиб ґрунту внаслідок капілярного ефекту;  $\phi$  – коефіцієнт пористості ґрунту, тобто об'ємна доля води, що міститься в змоченому ґрунті;  $\gamma = \text{tg } \theta$ ;  $\theta$  – кут нахилу поверхні;  $R$  – ефективний коефіцієнт дифузії.

Рівняння (1) разом з рівнянням просочення

$$\frac{\partial z}{\partial t} = K \frac{h + z + h_f}{z} \quad (2)$$

утворюють систему, що описує розтікання рідини з одночасним її просоченням.

За характером розтікання розрізняють миттєвий розлив і такий, що триває в часі. Перший має місце при катастрофічному руйнуванні ємності із рідиною, а другий – при ушкодженні ємності, яке призводить до поступового витікання рідини з неї. Відзначимо, що миттєве витікання є граничним випадком довготривалого витікання, якщо час витікання скорочується, прямує до нуля, а загальний об'єм розлитої рідини залишається сталим.

У випадку миттєвого розливу об'ємом  $V$ , що стався в момент часу  $t = 0$  у точці початку координат  $(0,0)$ , система (1)-(2) доповнюється початковою умовою

$$h(x, y) = V\delta(x)\delta(y), \quad (3)$$

$$z(x, y) = 0, \quad (4)$$

де  $\delta(x)$  – дельта-функція Дірака.

Для тривалого в часі витікання рідини система рівнянь розтікання і просочення набуває вигляду

$$\frac{\partial h}{\partial t} = R \left[ \frac{\partial}{\partial x} \left[ h^3 \left( \frac{\partial h}{\partial x} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[ h^3 \left( \frac{\partial h}{\partial y} \right) \right] - \gamma \frac{\partial}{\partial x} h^3 \right] - \phi K \frac{h+z+h_f}{z} + v(t)\delta(x)\delta(y); \quad (5)$$

$$\frac{\partial z}{\partial t} = K \frac{h+z+h_f}{z}, \quad (6)$$

з нульовою початковою умовою

$$h(x, y) = 0, \quad z(x, y) = 0, \quad (7)$$

де  $v(t)$  – об'ємна швидкість витікання рідини ( $\text{м}^3/\text{с}$ ).

Для практичного використання отриманих моделей необхідно розв'язати системи рівнянь (1)-(2) і (5)-(6) із відповідними початковими умовами. Знаходження аналітичного розв'язку є неможливим внаслідок нелінійності рівнянь по невідомим функціям (товщини шару рідини і глибини просочення). Отже для цього мають бути застосовані чисельні методи, зокрема, метод сіток

Побудована модель може бути використана при прогнозуванні наслідків теплового впливу пожежі розливу горючої рідини на рухомий склад та технологічні споруди залізниці [2].

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Abramov Yu., Basmanov O., Krivtsova V., Salamov J. Modeling of spilling and extinguishing of burning fuel on horizontal surface // *Naukovyi Visnyk NHU*. 2019. V. 4. P. 86-90. doi: 10.29202/nvngu/2019-4/16.

2. Abramov Y. A., Basmanov O. E., Mikhayluk A. A., Salamov J. Model of thermal effect of fire within a dike on the oil tank // *Naukovyi Visnyk NHU*. 2018. V. 2. P. 95-100. doi: 10.29202/nvngu/2018-2/12.