Секція 1. Прикладні наукові аспекти прогнозування та запобігання надзвичайним ситуаціям

УДК 614.8

МОДЕЛЮВАННЯ РОЗТІКАННЯ ГОРЮЧОЇ РІДИНИ НА ПОХИЛІЙ ПОВЕРХНІ

О. БАСМАНОВ, д-р техн. наук, професор,
головний науковий співробітник
В. ОЛІЙНИК, канд. техн. наук, доцент,
начальник кафедри пожежної і техногенної безпеки об'єктів та технологій
Національний університет цивільного захисту України

Значна кількість надзвичайних ситуацій, що виникають в хімічній, переробній промисловості і на транспорті, починаються з аварійного розливу горючих рідин. З початком повномасштабної російської агресії склади зберігання нафтопродуктів стали однією з пріоритетних цілей. Одним із наслідків ударів по ним є розгерметизація ємностей, витікання і горіння нафтопродуктів.

В загальному випадку розтікання горючої рідини супроводжується її просоченням і вигоранням. З точки зору пожежної небезпеки найгіршим є випадок, коли просочення рідини в ґрунт відсутнє, оскільки в цьому випадку площа розливу досягає максимального значення. За умови відсутності просочення рівняння розтікання і горіння рідини набуде вигляду [1].

$$\frac{\partial h}{\partial t} = R\left[\frac{\partial}{\partial x}\left[\tilde{h}^3\left(\frac{\partial \tilde{h}}{\partial x}\right)\right] + \frac{\partial}{\partial y}\left[\tilde{h}^3\left(\frac{\partial \tilde{h}}{\partial y}\right)\right] - \gamma\frac{\partial}{\partial x}\tilde{h}^3\right] + \delta(x - x_0)\delta(y - y_0); \quad (1)$$

$$\tilde{h} = \begin{cases} h - h_{dp},\ h - h_{dp} > 0; \\ 0,\ h - h_{dp} \le 0, \end{cases}$$

де R – ефективний коефіцієнт дифузії:

$$R = \frac{g}{3\nu}\cos\theta; \quad (2)$$

$\gamma = tg\theta$; θ – кут нахилу поверхні; $h(x, y)$ – висота рідини у точці (x, y), обчислена вздовж нормалі до поверхні; ν – кінематична в'язкість рідини; g – прискорення сили тяжіння; v – об'ємна швидкість витікання рідини; $\delta(x)$ – δ-функція Дірака; h_{dp} – середня глибини нерівностей поверхні. При цьому розташування системи координат обрано таким чином, щоб напрямок нахилу поверхні співпадав з віссю OX. Перейдемо до нових змінних x', y', t':

$$x = \frac{x'}{\sqrt{v_0}};\ y = \frac{y'}{\sqrt{v_0}};\ t = \frac{t'}{v_0}. \quad (3)$$

Тоді рівняння (1) трансформується до вигляду

$$\frac{\partial h}{\partial t'} = R\left[\frac{\partial}{\partial x'}\left[\tilde{h}^3\left(\frac{\partial \tilde{h}}{\partial x'}\right)\right] + \frac{\partial}{\partial y'}\left[\tilde{h}^3\left(\frac{\partial \tilde{h}}{\partial y'}\right)\right] - \gamma'\frac{\partial}{\partial x'}\tilde{h}^3\right] - \\ -\eta'_v 1_{\Omega_b}(t) + \delta\left(x' - x_0\sqrt{v_0}\right)\delta\left(y' - y_0\sqrt{v_0}\right), \quad (4)$$

де

$$\gamma' = \frac{\gamma}{\sqrt{v_0}} = \frac{tg\theta}{\sqrt{v_0}}; \quad (5)$$

$$\eta'_v = \frac{\eta_v}{v_0}. \quad (6)$$

Аналіз рівняння (4) свідчить, що збільшення швидкості витоку рідини в v_0 разів ($v_0 > 1$) еквівалентно лінійному перетворенню просторових і часової координат

$$x' = x\sqrt{v_0}\;;\; y' = y\sqrt{v_0}\;;\; t' = tv_0, \quad (7)$$

зменшенню кута нахилу поверхні у відповідності до (5) і зменшенню питомої масової швидкості вигорання в v_0 разів (6).

Відзначимо, що для малих кутів нахилу поверхні θ мають місце співвідношення:

$$tg\theta \approx \theta;\; \cos\theta \approx 1.$$

Отже для малих кутів нахилу поверхні (θ ≤ 20º) збільшення швидкості витікання рідини в v_0 разів еквівалентно перетворенню координат (7), зменшенню кута нахилу поверхні в $\sqrt{v_0}$ разів, зменшенню лінійної швидкості вигорання в v_0 разів. При цьому ефективний коефіцієнт дифузії R (2) буде залишатися незмінним.

З аналізу рівняння (4) випливає, що в усталеному режимі

$$0 = R\left[\frac{\partial}{\partial x'}\left[\tilde{h}^3\left(\frac{\partial \tilde{h}}{\partial x'}\right)\right] + \frac{\partial}{\partial y'}\left[\tilde{h}^3\left(\frac{\partial \tilde{h}}{\partial y'}\right)\right] - \gamma'\frac{\partial}{\partial x'}\tilde{h}^3\right] - \\ -\eta'_V + \delta\left(x' - x_0\sqrt{v_0}\right)\delta\left(y' - y_0\sqrt{v_0}\right)$$

форма розливу буде визначатися двома параметрами: кутом нахилу γ' і лінійною швидкістю вигорання η'_V.

Збільшення кута нахилу і зменшення питомої масової швидкості вигорання призводить до зменшення відношення ширини розливу до його довжини, тобто форма розливу стає більш витягнутою в напрямку нахилу поверхні. Навпаки, при зменшенні кута нахилу і збільшенні питомої масової швидкості вигорання форма розливу наближається до кола.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Абрамов Ю. О., Басманов О. Є., Олійник В. В. Моделювання розтікання горючої рідини внаслідок аварії на залізничному транспорті. Проблеми надзвичайних ситуацій. 2021. № 1(33). С. 30-42. Doi: 10.52363/2524-0226-2021-33-3.