

## ЛОКАЛІЗАЦІЯ ПОЖЕЖ, ПОВ'ЯЗАНИХ З РОЗЛИВОМ НАФТОПРОДУКТІВ

Олійник В.В., к.т.н., доцент, Басманов О.Є., д.т.н., професор  
Національний університет цивільного захисту України

Однією з причин аварійного розливу і горіння нафтопродуктів є руйнування резервуарів для їх зберігання внаслідок обстрілів. Такі ситуації мають місце як в резервуарних парках, так і на залізничних станціях. Основною небезпекою пожеж, що супроводжуються розтіканням і горінням нафтопродуктів, є загроза каскадного розповсюдження пожежі на сусідні технологічні об'єкти. Нагрів сталеві стінки резервуара або цистерни до температури самоспалахування рідини може призвести до вибуху пароповітряної суміші у газовому просторі резервуара (якщо концентрація парів знаходяться в межах між нижньою і верхньою концентраційними межами розповсюдження полум'я) або до горіння парів на виході із дихальних пристроїв (якщо концентрація парів у газовому просторі резервуара перевищує верхню концентраційну межу розповсюдження полум'я). Першочерговими діями щодо локалізації таких пожеж є охолодження сусідніх об'єктів або (у випадку рухомого складу) евакуація із зони небезпечного теплового впливу. В обох випадках необхідним кроком для визначення об'єктів, які потребують захисту, є прогнозування розтікання рідини по поверхні ґрунту.

Будь-якій реальній поверхні (бетон, асфальт, ґрунт, щебінь) притаманні нерівності. Це можуть бути, зокрема, тріщини, заглиблення, рослинність тощо. Тому, розтікання рідини супроводжується її просоченням і заповненням нерівностей. Отже, на процес розтікання впливають нахил поверхні, характеристики ґрунту і горючої рідини. В [1] побудовано модель розтікання рідини на поверхні ґрунту, в якій товщина шару рідини описується системою диференціальних рівнянь:

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

$$\tilde{h} = \begin{cases} h - h_{dp}, & h - h_{dp} > 0; \\ 0, & h - h_{dp} \leq 0; \end{cases} \quad (2)$$

$$\frac{\partial z}{\partial t} = K \frac{h+z+h_f}{z}, \quad (3)$$

де  $h(x,y,t)$  – товщина шару рідини у точці з координатами  $(x,y)$  в момент часу  $t$ ;  $h_{dp}$  – середня глибина нерівностей поверхні;  $z(x,y,t)$  – глибина просочення в ґрунт;  $R$  – ефективний коефіцієнт дифузії

$$R = \frac{g}{3\nu} \cos \theta;$$

$g$  – прискорення сили тяжіння;  $\nu$  – кінематична в'язкість рідини;  $\theta$  – кут нахилу поверхні;

$$\gamma = \text{tg} \theta;$$

$K$  – коефіцієнт гідравлічної провідності змоченого ґрунту;  $h_f$  – показник капілярності;  $\phi$  – коефіцієнт пористості ґрунту;  $\eta$  – питома масова швидкість вигорання рідини;  $\rho$  – густина рідини;  $\Omega_b$  – область на поверхні рідини, що горить. При практичному використанні моделі

(1)-(3) доцільно вважати, що область горіння співпадає зі всією областю розливу. В [2] було експериментально визначено середнє значення глибини нерівностей ґрунту:  $h_{др} = 1,7$  см. Метод експериментального визначення параметрів просочення рідини в ґрунт наведено в [3].

Аналіз розв'язку системи (1)-(3) показує, що при неперервному витіканні рідини площа розливу асимптотично наближається до свого максимального значення. Це відбувається внаслідок того, що об'ємна швидкість вигорання збільшується пропорційно площі розливу. Форма розливу визначається кутом нахилу поверхні: коло (для горизонтальної поверхні) або овал, витягнутий у напрямку нахилу. При цьому максимальна площа розливу не залежить від його форми, оскільки визначається витратами рідини внаслідок просочення і вигорання.

Товщина шару рідини в розливі залежить від її кінематичної в'язкості. В якості прикладу на рис. 1 показано товщину шару рідини в залежності від відстані до точки розливу через 30 хв. після початку витікання з інтенсивністю 5 л/с.

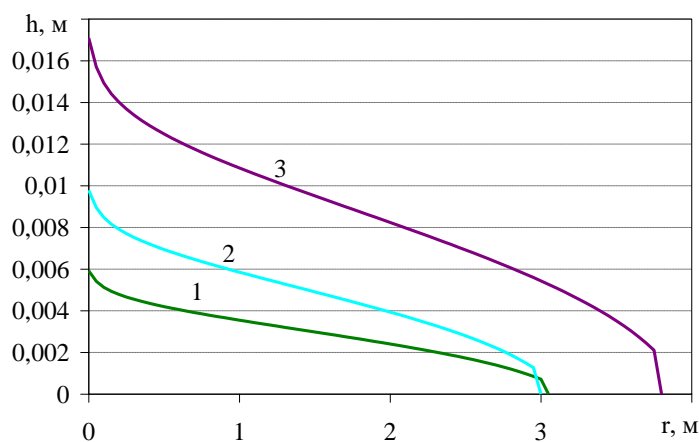


Рис. 1. Товщина шару рідини в залежності від відстані до центру розливу: 1 – бензин; 2 – дизель; 3 – нафта

Рідина з більшим значенням кінематичної в'язкості (нафта,  $\nu = 40$  мм<sup>2</sup>/с) утворює більш товстий шар на поверхні, ніж рідини з меншою кінематичною в'язкістю (дизельне паливо,  $\nu = 4,5$  мм<sup>2</sup>/с; бензин,  $\nu = 0,6$  мм<sup>2</sup>/с).

Динаміка зміни площі розливу визначається кінематичною в'язкістю рідини і питомою об'ємною швидкістю вигорання. На величину максимальної площі розливу впливає, головним чином, питома об'ємна швидкість вигорання. Наприклад, для нафти значення питомої об'ємної швидкості вигорання складає  $\eta\nu = 0,04$  л/(м<sup>2</sup>·с), що в 1,65 рази менше за відповідні значення для дизельного пального (0,066 л/(м<sup>2</sup>·с)) або бензину (0,065 л/(м<sup>2</sup>·с)). Завдяки цьому гранична площа розливу нафти перевищує граничні площі розливу дизельного пального або бензину в 1,6 рази.

Отримані результати можуть бути використані для визначення форми та площі розливу, а також для розрахунку теплового потоку від полум'я над розливом горючої рідини і визначення теплового впливу пожежі на сусідні технологічні об'єкти.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Олійник В.В., Басманов О.Є. Модель розтікання і горіння рідини на ґрунті // Проблеми надзвичайних ситуацій. 2023. 1 (37). С. 18-30. Doi: 10.52363/2524-0226-2023-37-2.
2. Басманов А. Е., Горпинич И. А. Растекание жидкости на негладкой горизонтальной поверхности при аварии на железнодорожном транспорте. Проблеми надзвичайних ситуацій. 2014. Вип. № 20. С. 16–20. Available online: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/248>
3. 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.