

МОДЕЛЮВАННЯ ВИПРОМІНЮЮЧОЇ ПОВЕРХНІ ПОЛУМ'Я НАД РОЗЛИВОМ ГОРЮЧОЇ РІДИНИ

*Олійник В.В., к.т.н., доц., НУЦЗУ,
Басманов О.Є., д.т.н., проф., НУЦЗУ*

Незважаючи на заходи безпеки, що вживаються у виробництві, зберіганні та транспортуванні нафти і нафтопродуктів, великі аварії все одно трапляються. Однією з важливих причин великих аварій є «ефект доміно». Аналіз статистичних даних свідчить, що «ефект доміно» найчастіше траплявся із скрапленням газом, нафтою і нафтопродуктами. Аварії відбувалися на технологічних установках (38,5%), складах (33%), при транспортуванні (10,6%). Пожежі горючих рідин є одним із домінуючих сценаріїв розвитку (42%) при аваріях на промисловості. Крім того, серед надзвичайних ситуацій, пов'язаних з пожежами, близько 60% займають пожежі горючих рідин [1]. Розрахунок теплового потоку від пожежі розливу горючої рідини потребує визначення геометричної форми факела. При цьому форма факела залежить від форми розливу, типу рідини, напряму і швидкості вітру.

Як режим горіння (ламінарний, перехідний, турбулентний), так і його параметри (наприклад, питома масова швидкість вигорання) істотно залежать від розмірів осередку горіння. Результати лабораторних досліджень на осередках діаметром до кількох десятків сантиметрів якісно і кількісно відрізняються від реальних пожеж. В [2] було використано відомі емпіричні формули для довжини полум'я і кута нахилу його осі, які є узагальненням спостережень за пожежами різними авторами:

$$L(x, y) = 2br(x, y) \left(\frac{\eta}{\rho_a \sqrt{2gr(x, y)}} \right)^n, \quad (1)$$

де $r(x, y)$ – відстань від точки (x, y) , що належить області розливу, до межі цієї області; L – довжина факела; D – діаметр осередку горіння; η – питома масова швидкість вигорання рідини; ρ_a – густина повітря; g – прискорення вільного падіння; $a > 0$, $n > 0$ – сталі. Підстановка значень в (1) дає

$$L(x, y) = b0,175^n r^{1-n/2}(x, y) \eta^n. \quad (2)$$

Це дозволяє отримати математичний опис поверхні полум'я у вигляді

$$\begin{cases} x = u + a_1 r^{0,67}(u, v) \sqrt{1 - (w^*)^{-1}} \cdot \cos \varphi, \\ y = v + a_1 r^{0,67}(u, v) \sqrt{1 - (w^*)^{-1}} \cdot \sin \varphi, \\ z = a_1 r^{0,67}(u, v) (w^*)^{-0,5}, \end{cases} \quad (3)$$

де (u, v) – точка, що належить області розливу; φ – напрямок вітру; w^* – безрозмірна швидкість вітру:

$$w^* = \max \left\{ 1, w \left(\frac{g\eta D}{\rho_a} \right)^{-1/3} \right\}; \quad (4)$$

$$a_1 = 17\eta^{0,67} (w^*)^{-0,21}.$$

При цьому нормальний вектор до поверхні полум'я буде мати вигляд

$$\vec{n}_1 = \left(\frac{A}{\sqrt{A^2 + B^2 + C^2}}, \frac{B}{\sqrt{A^2 + B^2 + C^2}}, \frac{C}{\sqrt{A^2 + B^2 + C^2}} \right), \quad (5)$$

де

$$A = \frac{\partial y}{\partial u} \frac{\partial z}{\partial v} - \frac{\partial z}{\partial u} \frac{\partial y}{\partial v}; \quad B = \frac{\partial z}{\partial u} \frac{\partial x}{\partial v} - \frac{\partial x}{\partial u} \frac{\partial z}{\partial v}; \quad C = \frac{\partial x}{\partial u} \frac{\partial y}{\partial v} - \frac{\partial y}{\partial u} \frac{\partial x}{\partial v}. \quad (6)$$

Відзначимо, що припущення (1) не суперечить уявленням про форму полум'я над розливом у тому частинному випадку, коли осередок горіння має форму кола. Запропонований підхід дозволяє розширити існуючий клас емпіричних моделей, заснованих на експериментах з осередками горіння, що мають кругову або близьку до кругової форму, на розливи довільної форми.

Формули (3)-(6) можуть бути використані для побудови поверхні полум'я над розливом, що розтікається по поверхні ґрунту в умовах вітру. В [2] показано, що результати моделювання узгоджуються з рекомендаціями ДСНС [3], які спираються на досвід гасіння реальних пожеж. З практичної точки зору, математичний опис випромінюючої поверхні полум'я дозволяє обчислити тепловий потік до сусідніх об'єктів і прийняти рішення щодо інтенсивності їх охолодження і граничного часу початку охолодження.

ЛІТЕРАТУРА

1. Fabiano B., Caviglione C., Reverberi A. P., Palazzi E. Multicomponent Hydrocarbon Pool Fire: Analytical Modelling and Field Application // Chemical Engineering Transactions. 2016. Vol. 48. P. 187–192. Doi: <https://doi.org/10.3303/CET1648032>
2. Олійник В. В., Басманов О. Є. Модель випромінюючої поверхні полум'я над розливом горючої рідини в умовах вітру // Проблеми надзвичайних ситуацій. 2023. № 2 (38). С. 1190-135. Doi: <https://doi.org/10.52363/2524-0226-2023-38-8>
3. Інструкція щодо гасіння пожеж у резервуарах із нафтою і нафтопродуктами. НАПБ 05.035–2004: Офіц. вид. – К.: М-во з питань надзвичайних ситуацій та у справах захисту населення від наслідків Чорнобильської катастрофи, 2004. 79 с. (нормативний документ МНС України. Інструкція).