

ВИЗНАЧЕННЯ ЩІЛЬНОСТІ ТЕПЛОВОГО ПОТОКУ ВІД РЕЗЕРВУАРІВ З НАФТОПРОДУКТАМИ, ЩО ГОРЯТЬ

Басманов О.Є., д.т.н., професор,

Карпова Д.І.

Національний університет цивільного захисту України

З початком повномасштабного російської агресії склади нафти і нафтопродуктів стали однією з пріоритетних цілей при ударах по об'єктах критичної інфраструктури. В залежності від їх розташування для ударів застосовувалися артилерія, ракети, безпілотні літальні апарати. Наслідком таких атак майже завжди ставали пожежі або руйнування резервуарів. На відміну від пожеж, які трапляються в мирний час внаслідок відмови обладнання або помилки оператора, така пожежа може починатися з горіння відразу кількох резервуарів одночасно. Це означає збільшення щільності теплового потоку на сусідні технологічні об'єкти та особовий склад, задіяний у локалізації і ліквідації пожежі. При цьому існуючі рекомендації щодо гасіння пожеж в резервуарних парках [1] виходять з припущення про горіння в одному резервуарі, або в обвалуванні резервуара. В зв'язку з цим виникає необхідність визначення теплового потоку від осередку горіння складної форми, яким, наприклад, є одночасне горіння в кількох резервуарах.

При горінні нафтопродуктів в резервуарах конвекційні потоки продуктів горіння і розігрітого повітря здійснюються вгору. Тому нагрів сусідніх об'єктів відбувається виключно за рахунок теплового випромінювання від пожежі. Щільність теплового потоку на довільну елементарну площадку визначається законом Стефана–Больцмана

$$q = c_0 \varepsilon_f \varepsilon \left[\left(\frac{T_f}{100} \right)^4 - \left(\frac{T}{100} \right)^4 \right] \psi, \quad (1)$$

де $c_0=5,67$ Вт/(м²·К⁴); ε_f – ступінь чорноти випромінюючої поверхні факела; ε – ступінь чорноти елементарної площадки, що нагрівається під тепловим впливом пожежі; T_f – температура випромінюючої поверхні факела; T – температура елементарної площадки; ψ – коефіцієнт взаємного опромінення між полум'ям і елементарною площадкою. Цей коефіцієнт залежить від форми полум'я і розташування елементарної площадки, що нагрівається:

$$\psi = \frac{1}{\pi} \iint_S \frac{\cos \varphi_1 \cos \varphi_2}{r^2} dS, \quad (2)$$

де S – випромінююча поверхня полум'я; $\vec{r}$ – радіус вектор, що з'єднує точку на поверхні полум'я і елементарну площадку; φ_1 – кут між радіус-вектором і нормальним вектором до поверхні полум'я в даній точці; φ_2 – кут між радіус-вектором і нормальним вектором до елементарної площадки. При цьому інтегрування відбувається лише по тих точках поверхні S , де зазначені нормальні вектори утворюють гострі кути з радіус-вектором, тобто обидва множники в чисельнику (2) є додатними.

Для обчислення коефіцієнта взаємного опромінення (2) необхідні припущення про форму факела над резервуаром. Внаслідок турбулентності, притаманній процесу горіння

рідини, факел не має чіткої геометричної форми, для нього характерні постійні пульсації. Довжина факела L і кут його нахилу α можуть бути описані співвідношеннями [2]

$$L = 10,615D \left(\frac{\eta}{\rho_a \sqrt{gD}} \right)^{0,305} (w^*)^{-0,03}; \quad (3)$$

$$\cos \alpha = (w^*)^{-0,5}, \quad (4)$$

де D – діаметр резервуара; η – питома масова швидкість вигорання; ρ_a – густина повітря; g – прискорення сили тяжіння; w^* – безрозмірна швидкість вітру:

$$w^* = \max \left\{ 1, w \left(\frac{\rho_a}{g\eta D} \right)^{1/3} \right\}; \quad (5)$$

w – швидкість вітру. Аналіз виразів (4) і (5) свідчить, що нахил полум'я вітром має місце лише тоді, коли швидкість вітру перевищить деяке граничне значення. Причому це значення є тим більшим, чим більшим є діаметр резервуара і питома масова швидкість вигорання рідини.

Ще одним наслідком вітрового впливу є розширення основи полум'я за межі резервуара з підвітряного боку. Тоді основа факела може бути апроксимована еліпсом, менша вісь якого дорівнює діаметру резервуара D , а більша

$$D' = 1,5D \cdot Fr^{0,067} Re^{-0,03} \left(\frac{\rho_v}{\rho_a} \right)^{0,145}, \quad (6)$$

де Fr , Re – числа Фруда і Рейнольдса відповідно, обчислені при швидкості вітру; ρ_v – густина парів горючої рідини при температурі кипіння [2].

Отже, форма полум'я над резервуаром за нафтопродуктом може бути апроксимована фігурою, основою якої є еліпс, більша вісь якого (в напрямку вітру) описується залежністю (6), а менша дорівнює діаметру резервуара. Вертикальна координата для точки на бічній поверхні може бути описана виразами (3), (4), де в якості D взято подвійну відстань до краю основи. Для випадку пожежі у резервуарній групі також необхідно врахувати, що інші резервуари або інші факели можуть перетинати радіус-вектор, що з'єднує елементарну площадку з певною точкою на поверхні S .

ЛІТЕРАТУРА

1. НАПБ 05.035 – 2004. Інструкція щодо гасіння пожеж у резервуарах із нафтою та нафтопродуктами.
2. Pritchard, M.J., Binding, T.M. (1992). FIRE2: A new approach for predicting thermal radiation levels from hydrocarbon pool fires. IChemE Symposium Series. 130. 491–505.