

РОЗРАХУНОК ТЕПЛОВОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ ВІД РЕЗЕРВУАРІВ ІЗ НАФТОПРОДУКТАМИ, ЩО ГОРЯТЬ

*Олексій БАСМАНОВ, д.т.н., професор,
Дарина КАРПОВА
Національний університет цивільного захисту України*

Склади нафти та нафтопродуктів відіграють ключову роль у зберіганні під час їх переробки й транспортування. З початком повномасштабної російської агресії ці об'єкти стали однією з основних цілей при атаках на критичну інфраструктуру. Для завдання ударів, залежно від розташування складів, використовували артилерію, ракети та безпілотні літальні апарати. Такі атаки майже завжди призводили до пожеж або руйнування резервуарів. На відміну від пожеж у мирний час, спричинених відмовою обладнання чи людською помилкою, у таких випадках загоряння може розпочатися одночасно в кількох резервуарах. Це призводить до збільшення інтенсивності теплового випромінювання на сусідні технологічні об'єкти та створює додаткову загрозу для особового складу, залученого до локалізації й ліквідації пожежі. Існуючі рекомендації щодо гасіння пожеж у резервуарних парках [1] базуються на припущенні, що займання відбувається в межах одного резервуара або його обвалування. За оцінками [2], при пожежах горючих рідин у резервуарах чи в розливах приблизно 92% теплового потоку припадає на теплове випромінювання. У зв'язку з цим постає потреба у визначенні теплового потоку від осередку горіння складної форми, як-от при одночасному займанні кількох резервуарів.

Основним механізмом передачі тепла від пожежі в резервуарі до сусідніх об'єктів є теплове випромінювання. Один із методів оцінки щільності теплового потоку полягає в апроксимації полум'я певною тривимірною фігурою. При цьому наявність вітру деформує полум'я, спричиняючи його нахил і розширення основи з підвітряного боку.

В загальному випадку щільність теплового потоку від полум'я до елементарної площадки визначається законом Стефана-Больцмана

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

де $c_0 = 5,67 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$ – стала; ε_f , T_f – ступінь чорноти і температура поверхні полум'я; ε , T – ступінь чорноти і температура елементарної площадки, що нагрівається; ψ – коефіцієнт взаємного опромінення між поверхнею полум'я і елементарною плошадкою:

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

φ_1 – кут між нормальним вектором $\vec{n}_1$ до поверхні полум'я в даній точці і радіус вектором $\vec{r}$ між цією точкою і елементарною плошадкою (рис. 1); φ_2 – кут між нормальним вектором $\vec{n}_2$ до елементарної плошадки і радіус-вектором $\vec{r}$. При цьому інтеграл обчислюється по всіх точках поверхні полум'я, для яких кути φ_1 , φ_2 є гострими.

Косинуси кутів φ_1 , φ_2 виражаються через скалярні добутки векторів

$$\cos \varphi_1 = \frac{(\vec{n}_1, \vec{r})}{|\vec{n}_1| \cdot |\vec{r}|}; \quad \cos \varphi_2 = \frac{(\vec{n}_2, \vec{r})}{|\vec{n}_2| \cdot |\vec{r}|}. \quad (2)$$

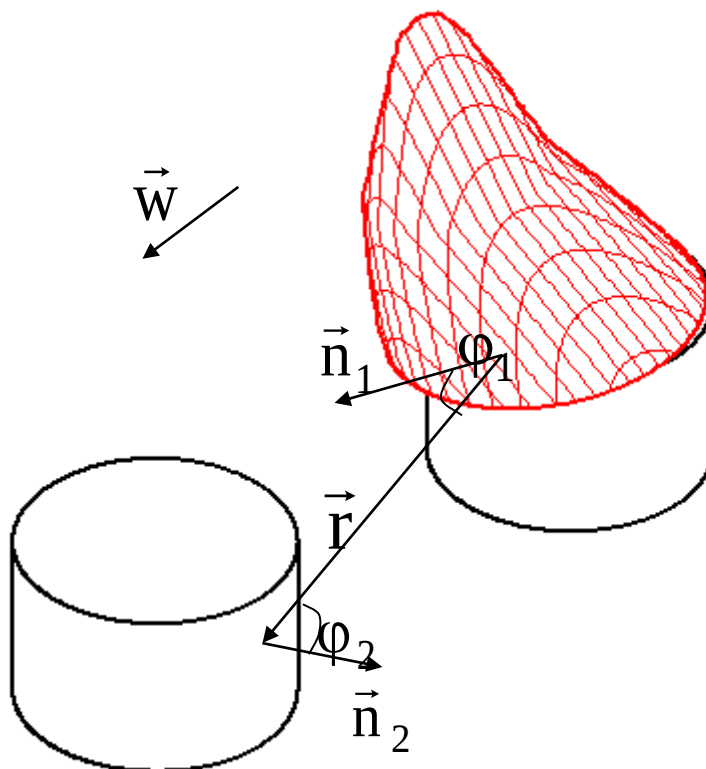


Рис. 1. Розрахунок коефіцієнта взаємного опромінення з полум'ям

Якщо поверхню полум'я задано в параметричній формі

$$\begin{cases} x = x(u, v); \\ y = y(u, v); \\ z = z(u, v), \end{cases} \quad (3)$$

то нормальні вектори набудуть вигляду

$$\vec{n}_1 = \left(\frac{A}{\sqrt{A^2 + B^2 + C^2}}, \frac{B}{\sqrt{A^2 + B^2 + C^2}}, \frac{C}{\sqrt{A^2 + B^2 + C^2}} \right), \quad (4)$$

де

$$A = \frac{\partial y}{\partial u} \frac{\partial z}{\partial v} - \frac{\partial z}{\partial u} \frac{\partial y}{\partial v}; \quad B = \frac{\partial z}{\partial u} \frac{\partial x}{\partial v} - \frac{\partial x}{\partial u} \frac{\partial z}{\partial v}; \quad C = \frac{\partial x}{\partial u} \frac{\partial y}{\partial v} - \frac{\partial y}{\partial u} \frac{\partial x}{\partial v}. \quad (5)$$

Підстановка виразів (2)–(5) в (1) дозволяє розрахувати коефіцієнт взаємного опромінення між факелом і елементарною площадкою і визначити щільність теплового потоку випромінюванням.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Інструкція щодо гасіння пожеж у резервуарах із нафтою та нафтопродуктами. НАПБ 05.035 – 2004.
2. Landucci G., Salzano E., Taveau J., Spadoni G., Cozzani V. Detailed Studies of Domino Scenarios. *Domino Effects in the Process Industries*. 2013. P. 229-243. doi: 10.1016/B978-0-444-54323-3.00011-7.