

МОДЕЛЮВАННЯ ОХОЛОДЖЕННЯ ПОКРІВЛІ ВЕРТИКАЛЬНОГО СТАЛЕВОГО РЕЗЕРВУАРА

Басманов О.Є., д.т.н., професор,

Максименко М.В.

Національний університет цивільного захисту України

Першочерговою задачею при локалізації і ліквідації пожежі в резервуарному парку є охолодження резервуарів, сусідніх з пожежею. Нагрів їх сталевих конструкцій до температури самоспалахування парів рідини, що зберігається в резервуарі, здатний призвести до поширення пожежі на них. При горінні в резервуарі найбільше значення теплового потоку припадає на верхню частину стінки та покрівлю сусіднього резервуара, особливо у випадку, коли вітер нахилиє полум'я в його бік. Це свідчить про необхідність врахування охолодження покрівлі сусідніх резервуарів при розробці плану локалізації і ліквідації пожежі в резервуарному парку.

В [1] побудовано модель нагріву покрівлі резервуара, яка ґрунтується на рівнянні, що описує теплопровідність по товщині покрівлі резервуара

$$\frac{\partial T}{\partial t} = a \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}, \quad 0 < x < \delta, \quad t > 0, \quad (1)$$

де $T(x, t)$ – температура на відстані x від зовнішньої поверхні покрівлі в момент часу t ; δ – товщина покрівлі. В якості початкової умови може бути прийнято

$$T(x, 0) = T_0, \quad (2)$$

де T_0 – температура навколишнього середовища.

На зовнішній поверхні покрівлі резервуара задано крайову умову, що у випадку охолодження водою має вигляд

$$\left. \frac{\partial T}{\partial x} \right|_{x=0} = -\frac{c_0 \varepsilon_f \varepsilon_w}{\lambda} \left[\left(\frac{T_f}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{out}}{100} \right)^4 \right] \varphi + \frac{c_0 \varepsilon_w}{\lambda} \left[\left(\frac{T_{out}}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_0}{100} \right)^4 \right] (1 - \varphi) + \frac{\alpha_{out}}{\lambda} (T_{out} - T_c), \quad (3)$$

де $c_0 = 5,67 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \text{ К}^4)$; ε_f , ε_w – ступені чорноти факела і покрівлі відповідно; λ – коефіцієнт теплопровідності сталі; T_f – температура факела; T_c – температура водної плівки у даній точці покрівлі; T_{out} – температура зовнішньої поверхні покрівлі резервуара; α_{out} – коефіцієнт конвекційного теплообміну між водною плівкою і покрівлею резервуара.

Крайова умова для внутрішньої поверхні покрівлі має вигляд

$$\left. \frac{\partial T}{\partial x} \right|_{x=\delta} = -\frac{c_0 \varepsilon_w}{\lambda} \left[\left(\frac{T_{in}}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_0}{100} \right)^4 \right] - \frac{\alpha_{in}}{\lambda} (T_{in} - T_0), \quad (4)$$

де T_{in} – температура внутрішньої поверхні покрівлі резервуара; α_{in} – коефіцієнт конвекційного теплообміну з пароповітряною сумішшю в газовому просторі резервуара [1]. На зовнішній поверхні покрівлі резервуара має місце вимушений конвекційний теплообмін з водною плівкою, тому коефіцієнт конвекційного теплообміну визначається залежністю

$$\alpha_{out} = 0,0364 \frac{\lambda_f}{L^{0,2}} \left(\frac{w}{v} \right)^{0,8} \text{Pr}^{0,4} \left(\frac{\mu_f}{\mu_w} \right)^{0,11}, \quad (5)$$

де λ_f – коефіцієнт теплопровідності води; w – швидкість руху води; v , Pr – кінематична в'язкість і число Прандтля води; μ_f , μ_w – динамічна в'язкість води при температурі водної плівки і покрівлі відповідно; L – характерний розмір. Враховуючи конічну форму покрівлі і те, що, стікаючи від центру покрівлі до її краю, вода проходить шлях близько половини діаметру резервуара D , можна покласти $L = D/2$. Тоді (5) набуде вигляду

$$\alpha_{out} = 0,0418 \frac{\lambda_f}{D^{0,2}} \left(\frac{w}{v} \right)^{0,8} \text{Pr}^{0,4} \left(\frac{\mu_f}{\mu_w} \right)^{0,11}. \quad (6)$$

У формулі (6) величини λ_f , μ_f , v , Pr залежать від температури води, а μ_w – від температури покрівлі. З урахуванням цього коефіцієнт конвекційного теплообміну (6) може бути представлений у вигляді

$$\alpha_{out} = D^{-0,2} w^{0,8} f(T_c) g(T_w), \quad (7)$$

де

$$f(T_c) = 0,0418 \lambda_f v^{-0,8} \text{Pr}^{0,4} \mu^{0,11}; \quad (8)$$

$$g(T_w) = \mu^{-0,11}. \quad (9)$$

При цьому множники в (8) залежать від температури води, а (9) – від температури покрівлі резервуара.

Розв'язання рівняння (1) з початковою умовою (2) і крайовими умовами (3), (4) дозволяє визначити температуру покрівлі резервуара в умовах її охолодження водою. Це, в свою чергу дозволяє таку інтенсивність подачі води на охолодження, яка б унеможливила досягнення температурою покрівлі критичних значень.

ЛІТЕРАТУРА

1. Максименко М.В. Модель нагріву покрівлі резервуара під впливом пожежі в сусідньому резервуарі. Проблеми надзвичайних ситуацій. 2022. № 2 (36). С. 233–247.