

### МОДЕЛЬ НАГРІВУ СТІНКИ РЕЗЕРВУАРА ПІД ТЕПЛОВИМ ВПЛИВОМ ПОЖЕЖІ В СУСІДНЬОМУ РЕЗЕРВУАРІ

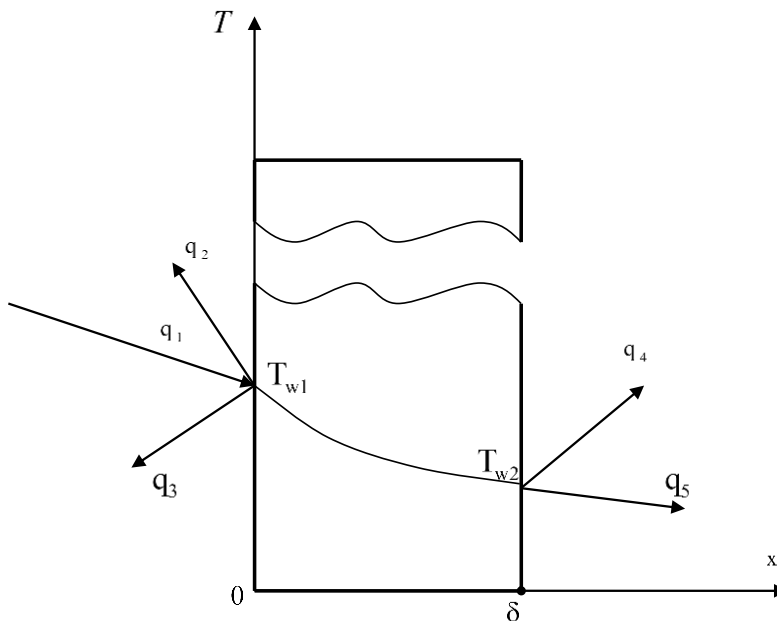
Розглянемо довільну точку на зовнішній поверхні стінки резервуара і відповідну до неї точку на внутрішній поверхні. На точку на зовнішній поверхні припадає тепловий потік щільністю

$$q_{\text{out}} = q_1 - q_2 - q_3,$$

де  $q_1$  – щільність теплового потоку випромінюванням від пожежі;  $q_2$  – щільність теплового потоку випромінювання від нагрітої стінки до навколишнього середовища;  $q_3$  – щільність теплового потоку внаслідок конвекційного теплообміну з повітрям (рис. 1). Внаслідок нагріву внутрішня поверхня стінки віддає тепло в газовий простір резервуара з щільністю

$$q_{\text{in}} = q_4 + q_5,$$

де  $q_4$  – щільність теплового потоку випромінюванням від точки на внутрішній поверхні стінки;  $q_5$  – щільність теплового потоку внаслідок конвекційного теплообміну стінки з пароповітряною сумішшю в газовому просторі резервуара.



**Рис. 1. Нагрів сухої стінки резервуара під тепловим впливом пожежі**

Розповсюдження тепла вглибину стінки описується одномірним рівнянням теплопровідності

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

де  $T(x, t)$  – температура у точці  $x$  в момент часу  $t$ ;  $a$  – коефіцієнт теплопровідності;  $\lambda, c, \rho$  – коефіцієнт теплопровідності, питома теплоємність і густина сталі відповідно;  $x = 0$  – точка на зовнішній поверхні стінки;  $x = \delta$  – точка на внутрішній поверхні стінки;  $\delta$  – товщина стінки резервуара.

В початковий момент часу (до початку пожежі) температура всередині стінки дорівнює температурі навколишнього середовища  $T_0$ :

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

Наявність теплових потоків обумовлює крайові умови другого роду на зовнішній і внутрішній стінках:

$$\left. \frac{\partial T}{\partial x} \right|_{x=0} = -\frac{1}{\lambda} (q_1 - q_2 - q_3). \quad (3)$$

$$\left. \frac{\partial T}{\partial x} \right|_{x=\delta} = -\frac{1}{\lambda} (q_4 + q_5). \quad (4)$$

Визначимо складові теплових потоків, що припадають на зовнішню і внутрішню поверхні стінки резервуара. Щільність теплового потоку від факела пожежі визначається законом Стефана-Больцмана:

$$q_1 = c_0 \varepsilon_f \varepsilon_w \left[ \left( \frac{T_f}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_{out}}{100} \right)^4 \right] \Phi, \quad (5)$$

де  $c_0 = 5,67 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$  – стала;  $\varepsilon_f, \varepsilon_w$  – ступіні чорноти випромінюючої поверхні факела і стінки резервуара відповідно;  $T_f$  – температура поверхні факела;  $T_{out}$  – температура зовнішньої поверхні стінки резервуара;  $\Phi$  – коефіцієнт взаємного опромінення між факелом і точкою на поверхні резервуара.

Нагріваючись, стінка віддає тепло в навколишнє середовище випромінюванням. Щільність цього теплового потоку, відповідно до закону Стефана-Больцмана, складає

$$q_2 = c_0 \varepsilon_w \left[ \left( \frac{T_{out}}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_0}{100} \right)^4 \right] (1 - \Phi), \quad (6)$$

Також стінка приймає участь в конвекційному теплообміні з навколишнім повітрям. Щільність утвореного цим теплового потоку складає

$$q_3 = \alpha_{out} (T_{out} - T_0), \quad (7)$$

де  $\alpha_{out}$  – коефіцієнт конвекційного теплообміну з навколишнім повітрям. Підставляючи (5), (6), (7) в (3), отримаємо вираз для крайової умови на зовнішній поверхні стінки резервуара

$$\frac{\partial T}{\partial x} \Big|_{x=0} = -\frac{c_0 \varepsilon_f \varepsilon_w}{\lambda} \left[ \left( \frac{T_f}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_{out}}{100} \right)^4 \right] \varphi + \frac{c_0 \varepsilon_w}{\lambda} \left[ \left( \frac{T_{out}}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_0}{100} \right)^4 \right] (1 - \varphi) + \frac{\alpha_{out}}{\lambda} (T_{out} - T_0). \quad (8)$$

Щільність теплового потоку випромінюванням від внутрішньої поверхні стінки:

$$q_4 = c_0 \varepsilon_w \left[ \left( \frac{T_{in}}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_0}{100} \right)^4 \right], \quad (9)$$

де  $T_{in}$  – температура внутрішньої поверхні стінки резервуара. Щільність теплового потоку внаслідок конвекційного теплообміну з пароповітряною сумішшю в газовому просторі резервуара:

$$q_5 = \alpha_{in} (T_{in} - T_0), \quad (10)$$

де  $\alpha_{in}$  – коефіцієнт конвекційного теплообміну з пароповітряною сумішшю. Підставляючи (9) і (10) в (4), отримуємо крайову умову на внутрішній поверхні стінки

$$\frac{\partial T}{\partial x} \Big|_{x=\delta} = -\frac{c_0 \varepsilon_w}{\lambda} \left[ \left( \frac{T_{in}}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_0}{100} \right)^4 \right] - \frac{\alpha_{in}}{\lambda} (T_{in} - T_0). \quad (11)$$

Таким чином, диференціальне рівняння параболічного типу (1) разом з крайовими умовами (8) і (11), а також початковою умовою (2) описують динаміку зміни температури в стінці вертикального сталевого резервуара [1].

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Басманов О.Є., Максименко М.В., Олійник В.В. Моделювання теплового впливу пожежі в резервуарі з нафтопродуктом на сусідній резервуар. Проблеми надзвичайних ситуацій. 2021. 2 (34). С. 4-20.

*O. Basmanov, Doctor of technical science, Professor, National University of Civil Defence of Ukraine, M. Maksymenko, National University of Civil Defence of Ukraine*  
**MODEL OF HEATING OF THE TANK SHELL UNDER THE THERMAL INFLUENCE OF A FIRE IN AN ADJACENT TANK**

The forecasting of the consequences of emergencies caused by the fire of a vertical steel tank with oil product in the tank group is considered. Due to the thermal impact of the fire on the next tanks, there is a threat of cascading fire.. Assumptions based on the model of heating the tank shell under the thermal influence of a fire in the adjacent tank are substantiated. This model is a differential equation that describes the process of heat transfer inside the tank shell, with boundary conditions on the outer and inner surfaces of the shell. These boundary conditions describe the heat exchange of the shell surfaces with the torch, the environment and the vapor-air mixture in the gas space of the tank. The model takes into account heat exchange by radiation and convection.