

## МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛООВОГО ВПЛИВУ ПОЖЕЖІ РОЗЛИВУ НА ЗАЛІЗНИЧНУ ЦИСТЕРНУ

*Олійник В.В., к.т.н., доцент,  
Басманов О.Є., д.т.н., професор*

*Національний університет цивільного захисту України*

Значна кількість аварійних ситуацій, що виникають на залізничному транспорті, пов'язана з розливом горючих рідин. Такі ситуації трапляються як при транспортуванні, так і на зливно-наливних естакадах. Особливу небезпеку становить поява джерела запалювання: спалахування розливу і тепловий вплив пожежі на сусідні ємності з горючою рідиною здатні призвести до каскадного розповсюдження пожежі. Тому розробка планів локалізації і ліквідації такого типу пожеж вимагає прийняття рішення щодо захисту сусідніх ємностей від теплового впливу пожежі. Це, в свою чергу, призводить до необхідності визначення теплового впливу пожежі на сусідні ємності з горючими рідинами і розрахунку часу досягнення критичних значень їх температурою [1].

Стінка цистерни може бути умовно поділена на дві частини: суху (яка не контактує з рідиною всередині цистерни) і змочену (яка контактує з рідиною). Саме нагрів сухої частини стінки є найбільш небезпечним, оскільки вона не охолоджується рідиною всередині цистерни і може швидко досягти температури самоспалахування парів горючої рідини. В загальному випадку суха стінка цистерни приймає участь в наступних видах теплообміну:

– зовнішня поверхня стінки цистерни приймає участь в променевому теплообміні з поверхнею факела і навколишнім середовищем, а також конвекційному теплообміні з навколишнім середовищем;

– внутрішня поверхня стінки приймає участь в променевому теплообміні з поверхнею рідини, залитої в цистерну, та іншими точками на внутрішній поверхні стінки, а також в конвекційному теплообміні з пароповітряною сумішшю в газовому просторі цистерни.

Рівняння теплопровідності в циліндрі має вигляд

$$\frac{\partial T}{\partial t} = a \left( \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 T}{\partial \varphi^2} \right), \quad 0 < x < L, \quad 0 < r < R, \quad 0 < \varphi < 2\pi, \quad (1)$$

де  $T(r, \varphi, z)$  – температура;  $a$  – коефіцієнт температуропровідності;  $L$  – довжина цистерни;  $R$  – її радіус;  $r^2 = x^2 + z^2$ ; полярний кут  $\varphi$  відкладається від осі  $OY$  в напрямку осі  $OZ$  (рис. 1);

$$a = \frac{\lambda_c}{c_c \rho_c};$$

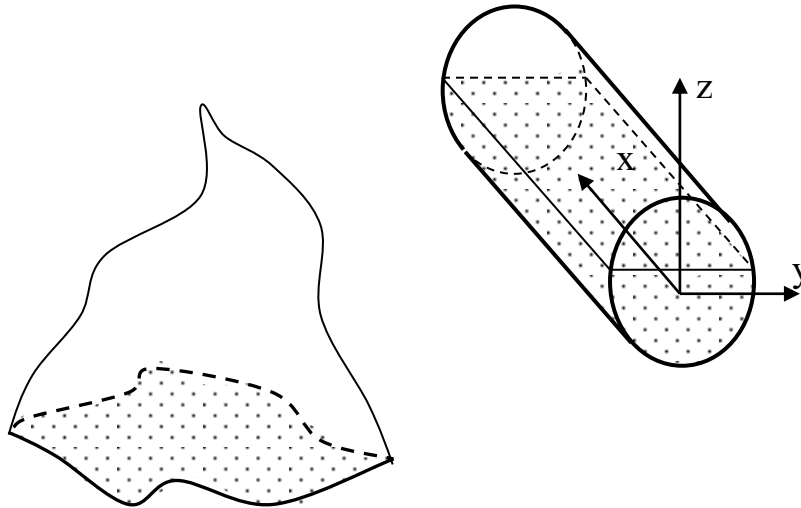
$\lambda_c$ ,  $c_c$ ,  $\rho_c$  – коефіцієнт теплопровідності, коефіцієнт теплоємності та густина сталі відповідно.

Типова товщина стінки залізничної цистерни складає 10-12 мм. Разом з високим значенням теплопровідності сталі (45,4 Вт/(м·К)) це дозволяє вважати розподіл по товщині стінки рівномірним. Це означає, що для стінки циліндра виконується умова

$$\frac{\partial T}{\partial r} = 0,$$

а для основ циліндра

$$\frac{\partial T}{\partial x} = 0.$$



**Рис. 1. Вибір системи координат при моделюванні нагріву поверхні цистерни.**

Тоді рівняння (1) з урахуванням теплообміну за навколишнім середовищем і внутрішнім простором цистерни набуває вигляду

$$\frac{\partial T}{\partial t} = a \left( \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{1}{R^2} \frac{\partial^2 T}{\partial \varphi^2} \right) + \frac{q}{c_c \rho_c \delta}; \quad 0 < x < L; \quad 0 < \varphi < 2\pi; \quad (2)$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} = a \left( \frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 T}{\partial \varphi^2} \right) + \frac{q}{c_c \rho_c \delta}; \quad 0 < r < R; \quad 0 < \varphi < 2\pi, \quad (3)$$

де  $q$  – щільність теплового потоку, що припадає на дану точку поверхні цистерни.

Сумісне розв'язання рівнянь (2)–(3) дозволяє визначити розподіл температур по поверхні цистерни в умовах теплового впливу пожежі.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Oliinik, V. (2023). Construction of the stochastic model of thermal radiation from a flammable liquid spill fire. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 5(10 (125)). 25–33.