

Олійник Володимир Вікторович,
*кандидат технічних наук, доцент,
начальник кафедри пожежної і техногенної безпеки об'єктів та технологій
факультету пожежної безпеки,
Національний університет цивільного захисту України
ORCID ID: 0000-0002-5193-1775*

Басманов Олексій Євгенович,
*доктор технічних наук, професор,
головний науковий співробітник наукового відділу з проблем цивільного
захисту та техногенно-екологічної безпеки науково-дослідного центру,
Національний університет цивільного захисту України
ORCID ID: 0000-0002-6434-6575*

ТЕПЛОВИЙ ВПЛИВ ПОЖЕЖІ РОЗЛИВУ ГОРЮЧОЇ РІДИНИ НА РЕЗЕРВУАР З НАФТОПРОДУКТОМ

Резервуарні парки є основним місцем зберігання сирової нафти і нафтопродуктів на нафтопереробних заводах, і нафтобазах. З початком війни резервуарні парки стали однією із цілей при ударах по об'єктах енергетичної інфраструктури [1, с. 20]. Майже всі атаки резервуарних парків супроводжувалися пожежами. Аналіз аварій в резервуарних парках показує, що багатьом з них притаманний ефект «доміно». Це така ситуація, коли одна аварія, навіть відносно незначна, створює підґрунтя для іншої. Причиною цього є скупчення легкозаймистих і горючих рідин на відносно невеликій площі. Аналіз світової статистики таких надзвичайних ситуацій показує, що пожежі спричиняють близько 43% усіх подій, що супроводжувалися «ефектом доміно» в резервуарних парках, причому найбільш поширеним сценарієм є пожежа в резервуарі або розливу горючої рідини.

Першочерговою задачею пожежно-рятувальних підрозділів є запобігання «ефекту доміно» шляхом охолодження сусідніх з пожежею резервуарів. Комплексний характер ударів по критичній інфраструктурі призводить до блекаутів, порушень водопостачання, великої кількості одночасних викликів пожежно-рятувальних підрозділів. Все це означає дефіцит сил та засобів для реагування на надзвичайні ситуації в резервуарних парках. В цих умовах важливим є визначення резервуарів, які наражаються на небезпеку нагріву до небезпечних значень температури.

При побудові моделі теплового впливу пожежі розливу на вертикальний сталевий резервуар з нафтопродуктом будемо виходити з наступних припущень

1. Зовнішня поверхня стінки ємності приймає участь в променевому теплообміні з поверхнею факела і навколишнім середовищем, а також конвекційному теплообміні з повітряним середовищем.

2. Внутрішня поверхня сухої частини стінки приймає участь в променевому теплообміні з поверхнею рідини, залитої в ємність, та іншими точками на внутрішній поверхні стінки, а також в конвекційному теплообміні з пароповітряною сумішшю в газовому просторі ємності.

3. Внутрішня поверхня змоченої частини стінки приймає участь в конвекційному теплообміні з рідиною, залитою в ємність.

4. Температура на зовнішній і внутрішній поверхнях стінки є однаковою.

5. Тепло розповсюджується по стінці ємності внаслідок теплопровідності матеріалу стінки (сталі).

Із припущення 4 випливає, що для стінки резервуара

$$\frac{\partial T}{\partial r} = 0, \quad (1)$$

де T – температура стінки резервуара. Аналогічна ситуація має місце і для покрівлі резервуара: вважаючи температуру однаковою по всій товщині покрівлі, отримуємо

$$\frac{\partial T}{\partial z} = 0. \quad (2)$$

Рівняння теплопровідності в циліндрі має вигляд

$$\frac{\partial T}{\partial t} = a \left(\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 T}{\partial \varphi^2} \right), \quad (3)$$

де $T(r, \varphi, z)$ – температура; a – коефіцієнт температуропровідності:

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

λ_c , c_c , ρ_c – коефіцієнт теплопровідності, коефіцієнт теплоємності та густина сталі відповідно. Для стінки резервуара із врахуванням (1) вираз (3) перетворюється на

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

де $T(\varphi, z)$ – температура стінки резервуара у точці з координатами (φ, z) ; R , H – радіус та висота резервуара відповідно. Враховуючи променевий і конвекційний теплообмін стінки, отримуємо

$$\frac{\partial T}{\partial t} = a \left(\frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \frac{1}{R^2} \frac{\partial^2 T}{\partial \varphi^2} \right) + \frac{q}{c_c \rho_c \delta}; \quad 0 < z < H; \quad 0 < \varphi < 2\pi, \quad (4)$$

де δ – товщина стінки резервуара. Підстановка (2) в (3) дає рівняння розподілу температур для покрівлі резервуара

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

Із урахуванням променевого у конвекційного теплообміну покрівлі останнє рівняння перетворюється на

$$\frac{\partial T}{\partial t} = a \left(\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 T}{\partial \varphi^2} \right) + \frac{q}{c_c \rho_c \delta}; \quad 0 < r < R; \quad 0 < \varphi < 2\pi. \quad (5)$$

Нижній край стінки будемо вважати теплоізольованим. Тоді крайова умова для стінки резервуара набуде вигляду

$$\left. \frac{\partial T}{\partial z} \right|_{z=0} = 0. \quad (6)$$

Температура на краю покрівлі в місці з'єднання зі стінкою співпадає з температурою верхнього краю стінки. В якості початкової умови приймемо

$$T|_{t=0} = T_0. \quad (7)$$

Отже, диференціальні рівняння в частинних похідних (4), (5) з крайовою умовою (6) і початковою умовою (7) описують розподіл температури по стінці і покрівлі резервуара. Побудована модель може враховувати променевий і конвекційний теплообмін з пожежею, навколишнім середовищем, рідиною в резервуарі і пароповітряною сумішшю в його газовому просторі. Це дозволяє знайти розподіл температур в довільний момент часу і визначити необхідність захисту резервуара.

Список використаних джерел

1. Аналітична довідка про пожежі та їх наслідки в Україні за 12 місяців 2022 року. URL: <https://idundcz.dsns.gov.ua/upload/1/6/0/8/6/7/7/analitichna-dovidka-pro-pojeji-122022.pdf>