

НАГРІВ РЕЗЕРВУАРА З НАФТОПРОДУКТОМ ПРИ ПОЖЕЖІ В КІЛЬКОХ РЕЗЕРВУАРАХ РЕЗЕРВУАРНОЇ ГРУПИ

*Басманов О. Є., д.т.н., професор,
Карпова Д. І.,
Бенедюк В. С.,
Зазимко О. В.,
Володченко М. А.*

Національний університет цивільного захисту України

В умовах воєнного часу основною причиною надзвичайних ситуацій на об'єктах зберігання нафти і нафтопродуктів є їх обстріли. Майже всі вони супроводжуються пожежами. Характерною особливістю пожеж в резервуарних парках є «ефект доміно», коли одна аварія створює умови для виникнення наступної. Важливою відмінністю від пожеж у мирний час є те, що внаслідок обстрілу може мати місце одночасне горіння в кількох резервуарах резервуарної групи, що призводить до збільшення величини теплового потоку до сусідніх резервуарів. В той же час згідно з нормативним документом [1] прогнозування розвитку пожежі в резервуарній групі спирається на експериментальні дослідження горіння одного резервуара із групи РВС-5000. Відповідно до Кодексу цивільного захисту України [2] реагування на надзвичайні ситуації включає в себе дії щодо локалізації зони надзвичайної ситуації, а також ліквідації або мінімізації її наслідків.

В [3] розглянуто пожежу в групі із чотирьох вертикальних сталевих резервуарів (РВС) і побудовано модель нагріву резервуара з нафтопродуктом під тепловим впливом пожежі в сусідніх резервуарах. Модель спирається на рівняння теплового балансу для стінки і покрівлі вертикального сталевого резервуара.

$$\frac{\partial T_1}{\partial t} = a_s \left(\frac{1}{R^2} \frac{\partial^2 T_1}{\partial \varphi^2} + \frac{\partial^2 T_1}{\partial z^2} \right) + \frac{q_1}{\delta_s c_s \rho_s}; \quad 0 \leq \varphi < 2\pi; \quad 0 < z < H, \quad (1)$$

$$\frac{\partial T_2}{\partial t} = a_s \left(\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial T_2}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 T_2}{\partial \varphi^2} + \operatorname{tg}^2 \beta \frac{\partial^2 T_2}{\partial r^2} \right) + \frac{q_2}{\delta_s c_s \rho_s}; \quad (2)$$

$$0 < r < R; \quad 0 \leq \varphi < 2\pi,$$

де $T_1(\varphi, z, t)$ – температура стінки у точці (φ, z) в момент часу t ; δ_s – товщина стінки; a_s , c_s , ρ_s – коефіцієнт теплопровідності, питома теплоємність і густина сталі відповідно; q_1 , q_2 – щільності теплового потоку на стінку та покрівлю резервуара відповідно; R , H – радіус і висота резервуара; β – кут, який утворює конічна поверхня покрівлі з горизонтальною площиною.

Щільності теплового потоку на поверхню резервуара q_1 і q_2 визначаються сумою щільностей теплових потоків випромінюванням від пожежі, навколишнього середовища, внутрішньої поверхні стінки та покрівлі резервуара; конвекцією з навколишнім повітрям, пароповітряною сумішшю в газовому просторі резервуара (для частини стінки вище рівня нафтопродукту), рідиною в резервуарів (для частини стінки нижче рівня нафтопродукту).

З урахуванням симетрії для резервуарної групи з чотирьох резервуарів було розглянуто наступні ситуації:

– горіння одного з резервуарів;

- горіння двох сусідніх або двох розташованих по діагоналі резервуарів;
- горіння трьох резервуарів.

Основною небезпекою нагріву резервуарів, що не горять, є досягнення їх стінками або покрівлею температури самоспалахування парів рідини, що зберігається в резервуарі. Це може призвести до вибуху пароповітряної суміші у газовому просторі резервуара (якщо концентрація парів знаходиться між нижньою і верхньою концентраційним межами розповсюдження полум'я) або до горіння парів на виході з дихальних пристроїв (якщо концентрація парів перевищує верхню концентраційну межу розповсюдження полум'я). Розв'язання системи диференціальних рівнянь (1)–(2) з відповідними крайовими і початковими умовами дозволило визначити розподіл температури по поверхні резервуара в довільний момент часу. Це, в свою чергу, дало можливість оцінити час досягнення сталого оболонкою резервуара небезпечних значень температури.

В якості прикладу було розглянуто сценарії пожежі в резервуарній групі з чотирьох резервуарів РВС-10000 (діаметр 28,5 м, висота 18 м) з бензином і визначено час, через який температурою стінки або покрівлі резервуара, що не горить, буде досягнуто значення 250 °С в залежності від напрямку і швидкості вітру. Показано, що вітер помірної швидкості, якої недостатньо для нахилу осі полум'я, призводить до збільшення теплового потоку до резервуара і зменшення часу досягнення ним небезпечних значень температури навіть тоді, коли напрям вітру не співпадає з напрямом від пожежі до резервуара. Зокрема, при швидкості вітру 2 м/с час досягнення температури самоспалахування парів бензину зменшується в приблизно в 1,5 рази порівняно з ситуацією, коли вітер відсутній. При швидкості вітру, достатньої для нахилу осі полум'я, час досягнення небезпечного значення температури значно зменшується, якщо вітер нахилиє полум'я в бік резервуара, що нагрівається. При швидкості вітру понад 4 м/с цей час зменшується в 2–3 рази.

Показано, що у випадку горіння двох резервуарів з резервуарної групи більш небезпечною є ситуація, коли горять два діагонально розташовані резервуари. Тепловий вплив пожежі в трьох резервуарах є подібним до теплового впливу пожежі в двох діагонально розташованих резервуарах, але час досягнення резервуаром, що не горить, критичних значень температури є в середньому на 20 % меншим. Побудована модель може бути використана для визначення частин стінки і покрівлі резервуара, які підлягають охолодженню, а також визначення граничного часу початку подачі води на охолодження

ЛІТЕРАТУРА

1. НАПБ 05.035 – 2004 Інструкція щодо гасіння пожеж у резервуарах із нафтою та нафтопродуктами.
2. Кодекс цивільного захисту України. 2012.
URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/5403-17#Text>
3. Басманов О. Є., Карпова Д. І., Бенедюк В. С., Зазимко О. В., Забаровський В. А. Модель нагріву резервуара з нафтопродуктом під впливом пожежі в кількох резервуарах резервуарної групи. Науковий вісник: Цивільний захист та пожежна безпека. 2025. № 2(20). С. 4–13. DOI: 10.33269/nvcz.2025.2.4-13.