

МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛОВОГО ВПЛИВУ ПОЖЕЖІ В РЕЗЕРВУАРІ НА ПОКРІВЛЮ СУСІДНЬОГО РЕЗЕРВУАРА

Басманов Олексій Євгенович,

Максименко Максим Володимирович

Національний університет цивільного захисту України

Резервуарні парки є основним місцем накопичення нафти і нафтопродуктів в процесі їх переробки, транспортування і зберігання. Найбільш розповсюдженим типом резервуарів в світі та в Україні є вертикальні сталеві резервуари (РВС). Концентрація великої кількості горючих і легкозаймистих рідин на відносно невеликій площі призводить до підвищеної пожежної небезпеки. Особливу небезпеку являє розповсюдження пожежі на сусідні резервуари. Такі пожежі носять затяжний характер і призводять як до значних матеріальних збитків, так і людських жертв [1].

Нагрів сталевих конструкцій сусідніх резервуарів до температури самоспалахування горючої рідини, яку вони містять, може призвести до вибуху пароповітряної суміші у газовому просторі резервуара (якщо концентрація парів знаходиться між нижньою і верхньою концентраційними межами розповсюдження полум'я) або до горіння парів на виході із дихальних пристроїв резервуара (якщо концентрація парів перевищує верхню концентраційну межу розповсюдження полум'я). Таким чином, оцінка теплового впливу пожежі на сусідній резервуар є актуальною задачею. В [2] побудовано модель теплового балансу для стінки резервуара, що нагрівається від пожежі в сусідньому резервуарі з нафтопродуктом. Модель додатково враховує нерівномірність нагріву внутрішньої і зовнішньої поверхонь стінки і дозволяє отримати динаміку зміни температури стінки в залежності від умов пожежі.

В [3] розглянуто нагрів покрівлі вертикального сталевого резервуара (РВС) при пожежі в аналогічному сусідньому резервуарі. При цьому форма полум'я приймається кінечною [4], а її деформацію під впливом вітру такою, що зводиться до нахилу конуса в напрямку вітру. Рівняння випромінюючої поверхні факела в параметричній формі має вигляд:

$$\begin{cases} x_1 = u \cos v + c(R - u) \sin \beta \cos \gamma; \\ y_1 = u \sin v + c(R - u) \sin \beta \sin \gamma; \\ z_1 = c(R_f - u) \cos \beta; \\ 0 \leq u \leq R_f, 0 \leq v \leq 2\pi, \end{cases}$$

де β – кут нахилу полум'я відносно вертикальної вісі; напрямок вектора $(\cos \gamma, \sin \gamma)$ співпадає з напрямком вітру; R – радіус резервуара; c – коефіцієнт, що залежить від типу рідини і приймає значення $c = 2,4$ для легкозаймистих і $c = 1,4$ для горючих рідин;

$$\beta = \arctg \frac{w}{2};$$

w – швидкість вітру. Це дозволяє обчислити коефіцієнт взаємного опромінення ϕ між факелом і покрівлю [3].

Максимальне значення коефіцієнта взаємного опромінення досягається на краю покрівлі з боку пожежі. Нахил факела вітром в бік сусіднього резервуара призводить до збільшення коефіцієнта взаємного опромінення.

У випадку відсутності вітру для коефіцієнта конвекційного теплообміну з навколишнім повітрям буде мати місце співвідношення:

$$\alpha_{\text{out}} = 0,176 \lambda_f \left(\frac{2g \text{Pr}}{v^2} \right)^{1/3} \left(\frac{T - T_0}{T + T_0} \right)^{1/3},$$

де λ_f , v , Pr – коефіцієнт теплопровідності, коефіцієнт кінематичної в'язкості і число Прандтля повітря відповідно; T – температура покрівлі резервуара; T_0 – температура навколишнього середовища.

Коефіцієнт конвекційної тепловіддачі в пароповітряну суміш набуде вигляду:

$$\alpha_{\text{in}} = 0,095 \lambda_f \left(\frac{2g \text{Pr}}{v^2} \right)^{1/3} \left(\frac{T - T_0}{T + T_0} \right)^{1/3}.$$

За наявності вітру має місце співвідношення коефіцієнт конвекційного теплообміну між покрівлею і навколишнім повітрям набуде вигляду:

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

де μ_f , μ_w – динамічна в'язкість повітряного середовища при температурі повітряного середовища і температурі поверхні відповідно; D – діаметр резервуара.

Розповсюдження тепла в глибину покрівлі описується одновимірним рівнянням теплопровідності:

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

де $T(x,t)$ – температура у точці x в момент часу t ; δ – товщина покрівлі; a – коефіцієнт теплопровідності:

$$a = \frac{\lambda}{c\rho},$$

де λ , c , ρ – коефіцієнт теплопровідності, питома теплоємність і густина сталі відповідно; $x=0$ – відповідає точці на зовнішній поверхні покрівлі; $x=\delta$ – точці на внутрішній поверхні покрівлі.

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

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

Крайова умова на зовнішній поверхні покрівлі буде визначатися променевим теплообміном з факелом і навколишнім середовищем, а також конвекційним теплообміном з повітрям. Крайова умова на внутрішній поверхні покрівлі – променевим теплообміном з внутрішнім простором резервуара і конвекційним теплообміном з пароповітряною сумішшю в його газовому просторі.

В якості прикладу на рис. 1 наведено динаміку зміни температури краю зовнішньої поверхні покрівлі резервуара РВС-10000 з боку пожежі в аналогічному резервуарі з нафтою, для різних швидкостей вітру. При цьому були прийняті наступні значення параметрів: температура факела 1100 °С; ступінь чорноти випромінюючої поверхні факела 0,85; ступінь чорноти поверхні резервуара 0,8; товщина покрівлі резервуара 4 мм; вітер направлений в бік резервуара, що нагрівається.

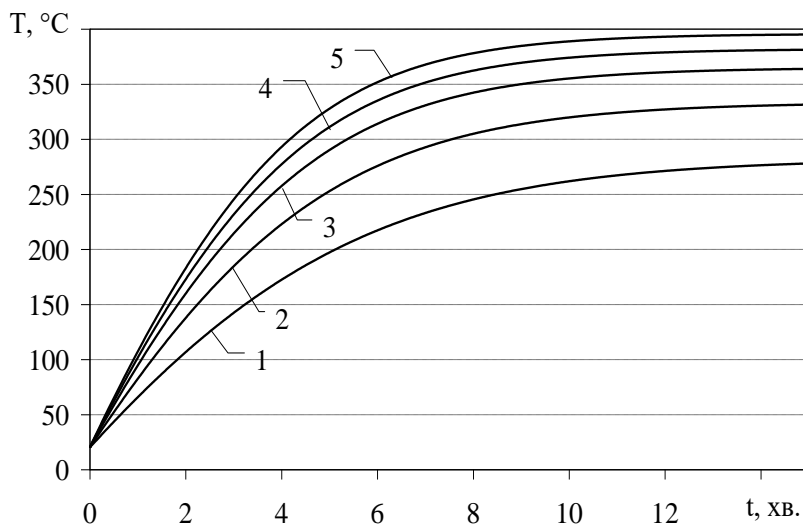


Рис. 1. Динаміка зміни температури зовнішньої покрівлі резервуара з боку пожежі при різних швидкостях вітру: 1 – $w=0$; 2 – $w=1$ м/с; 3 – $w=2$ м/с; 4 – $w=3$ м/с; 5 – $w=5$ м/с

Аналіз графічних залежностей на рис. 1 показує наступне:

- вітер, направлений від резервуара, що горить, до сусіднього збільшує небезпеку розповсюдження пожежі. Зокрема, при швидкості вітру 2 м/с покрівля досягає температури 250 °С вже через 4,3 хв., а при 5 м/с – через 2,5 хв;
- скорочення часу досягнення небезпечних значень температури покрівлю резервуара означає необхідність охолодження сусідніх резервуарів вже через 2–3 хв. після початку пожежі.

Список джерел

1. Yang R., Wang Z., Jiang J., Shen S, Sun P., Lu Y. Cause analysis and prevention measures of fire and explosion caused by sulfur corrosion. *Engineering Failure Analysis*. 2020. Vol. 108. P. 104342. Doi: <https://10.1016/j.engfailanal.2019.104342>
2. 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. Doi: <https://10.52363/2524-0226-2021-34-1>
3. Максименко М.В. Модель нагріву покрівлі резервуара під впливом пожежі в сусідньому резервуарі // *Проблеми надзвичайних ситуацій*. 2022. Вип. 2 (36). С. 233-247. Doi: <https://doi.org/10.52363/2524-0226-2022-36-18>
4. Басманов О. Є., Максименко М. В., Олійник В. В. Моделювання теплового впливу пожежі в резервуарі з нафтопродуктом на сусідній резервуар. *Проблеми надзвичайних ситуацій*. 2021. Вип. 2(34). С. 4–20. Doi: <https://doi.org/10.52363/2524-0226-2021-34-1>

ПРОБЛЕМИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ УПРАВЛІННЯ У СФЕРІ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ УКРАЇНИ В СУЧАСНИХ УМОВАХ НАЦІОНАЛЬНОГО ДЕРЖАВОТВОРЕННЯ

Блошакка Тетяна

*Державне агентство меліорації та рибного господарства України,
Національний університет «Одеська Політехніка»*

Упродовж останніх років Верховна Рада України та Кабінет Міністрів України досить систематично приймали закони та постанови щодо охорони навколишнього природного середовища, але ці закони практично не виконувалися з ряду об'єктивних та суб'єктивних причин.

При огляді Конституції та законів України, можна визначити вичерпний перелік обов'язків, які покладаються на громадян, у тому числі у сфері екології.

Суб'єкти публічного управління – органи виконавчої влади, органи місцевого самоврядування та інші суб'єкти, яким делеговано державно-владні повноваження [4, с. 151].

Виходячи із визначення «Суб'єкти публічного управління – це сукупність загальнодержавних, регіональних і місцевих органів державної влади, органів місцевого самоврядування, їх посадових і службових осіб, а також інших адміністративних і громадянських інституцій, уповноважених на виконання публічних функцій» [3, с. 90]. Отже це ті