УДК 614.8

ВИБІР ІНТЕНСИВНОСТІ ПОДАЧІ ВОДИ НА ОХОЛОДЖЕННЯ РЕЗЕРВУАРА В УМОВАХ ПОЖЕЖІ

Басманов О.Є., д-р тех. наук, професор,
Олійник В.В., канд. техн. наук, доцент
Національний університет цивільного захисту України

Склади нафти і нафтопродуктів є основним місцем зберігання нафти і нафтопродуктів в процесі їх переробки і транспортування. З початку повномасштабної російської агресії нафтопереробні заводи, склади зберігання нафти і нафтопродуктів стали однією з цілей при ударах по критичній інфраструктурі. Основним методом локалізації пожежі на складах нафти і нафтопродуктів є охолодження водою резервуарів, що горять, та сусідніх з ними. Ситуація додатково ускладнюється дефіцитом сил та засобів, викликаним масованими ударами по критичній інфраструктурі, що призводить до одночасних викликів, перебоїв з подачею води та електрики тощо. Тому постає максимально ефективного використання води для охолодження резервуарів.

В [1] побудовано модель охолодження стінки вертикального сталевого резервуара водою, що стікає по ній, в умовах теплового впливу пожежі розливу. Модель дозволяє визначити розподіл температури по стінці резервуара при даній об'ємній інтенсивності подачі води і, тим самим, з'ясувати чи є охолодження достатнім.

В якості умови достатності охолодження пропонується використовувати нерівність

$$T(\varphi, z, t) \le T_{max};\ 0 \le \varphi \le 2\pi;\ 0 \le z \le H, \qquad (1)$$

де $T(\varphi, z, t)$ – температура у точці (φ, z) на поверхні стінки вертикального сталевого резервуара висотою H в момент часу t; $T_{max} = const$ – гранично припустима температура стінки резервуара. В якості такого значення доцільно обрати $T_{max} = 105$ ºС. При більших значеннях температури стінки процес кипіння інтенсифікується, внаслідок чого спостерігається відкидання водної плівки, утворюються незмочені ділянки, виникають клиноподібні струмені [2].

Традиційно охолодження має проводитися по всьому напівпериметру резервуара, оберненому в бік пожежі. При цьому і нормативні документи рекомендують певну інтенсивність подачі води, однакову для всього напівпериметра. В [3] запропоновано підхід до визначення оптимальної інтенсивності подачі води на охолодження стінки резервуара, який полягає в пошуку мінімально достатньої інтенсивності. Під достатньою розуміється така інтенсивність подачі води, яка забезпечує охолодження стінки до температури, що не перевищує апріорі заданого граничного значення. При цьому припускається рівномірна інтенсивність охолодження по всьому напівпериметру з боку пожежі. Але щільність теплового потоку від пожежі не є однаковою для всієї поверхні стінки резервуара. Про це свідчить, зокрема, розподіл температури по стінці резервуара в умовах теплового впливу пожежі, отриманий в [4]. Це означає, що значення інтенсивності подачі води, отримане за алгоритмом, наведеним в [3], в дійсності є оптимальним лише для тієї частини стінки резервуара, яка нагрівається до максимальної температури. Для інших частин стінки така інтенсивність подачі води є надмірною.

Отже, з огляду на необхідність зменшення витрат води, доцільною є не рівномірна за довжиною периметра подача води на охолодження, а така, що забезпечує виконання умови (1).

Критерієм оптимізації є

$$I(\varphi) \to \min;\ 0 \le \varphi \le 2\pi, \qquad (2)$$

де $I(\varphi)$ – об'ємна інтенсивність подачі води на охолодження стінки в точку на верхньому краї

стінки з кутовою координатою φ. Критерій (2) разом з умовою (1) являють собою математичну постановку задачі оптимального вибору інтенсивності подачі води на охолодження вертикального сталевого резервуара в умовах пожежі. Результатом її розв'язання є функція I(φ), яка описує розподіл інтенсивності подачі води на охолодження стінки периметра вертикального сталевого резервуара.

Оптимальна інтенсивність подачі води буде визначатися щільністю теплового потоку від пожежі, а також рівнем нафтопродукту в резервуарі та його типом. Вплив нафтопродукту пов'язаний із його охолоджувальною дією на стінку резервуара. Щільність теплового потоку від пожежі розливу, в свою чергу, визначається геометричними розмірами розливу, відстанню до резервуара, типом рідини, напрямком і швидкістю вітру. Все це обумовлює необхідність розв'язання задачі оптимізації (6.1), (6.2) для конкретних умов.

Введемо функцію

$$G(\varphi, I) = \max_{\substack{0 \le z \le H \\ 0 \le t \le t_{max}}} \left(T_{max} - T(\varphi, z, t, I) \right), \tag{3}$$

де T(φ, z, t, I) – температура у точці (φ, z) на поверхні стінки резервуара в момент часу t при сталій інтенсивності подачі води I; t_{max} – максимальний момент часу, до якого проводяться розрахунки розподілу температури по стінці. Цей час має бути не меншим, ніж час виходу температури стінки на усталений режим. Такий режим буде мати місце після досягнення розливом максимального розміру. При розрахунку значень G(φ, I) припускається, що охолодження стінки водою починається одночасно з пожежею.

Із побудови функції G(φ, I) випливає, що при фіксованому значенні кута $\varphi = \varphi_0$ функція $G(\varphi_0, I)$ є неспадною відносно інтенсивності подачі води I. При цьому

- $G(\varphi_0, I) < 0$ відповідає недостатній інтенсивності подачі води на охолодження;
- $G(\varphi_0, I) \ge 0$ відповідає достатній інтенсивності подачі води на охолодження.

Із зазначених нерівностей, а також з неспадності функції $G(\varphi_0, I)$ за змінною I випливає, що розв'язання задачі оптимізації (1), (2) еквівалентно розв'язанню рівняння

$$G(\varphi, I) = 0 ; \ 0 \le \varphi \le 2\pi . \tag{4}$$

Розв'язанням задачі (4) є $I^*(\varphi)$ – розподіл інтенсивності подачі води вздовж периметра резервуара. Задача (4) є оберненою до задачі знаходження розподілу температури по поверхні стінки резервуара при заданій інтенсивності подачі води на охолодження.

Отже, розв'язання задачі (4) для кожного кута φ дозволяє скоротити витрати води на охолодження стінки резервуара за рахунок її нерівномірної подачі. З практичної точки зору доцільно розв'язувати задачу (4) з певним кроком Δφ.

ЛІТЕРАТУРА

1. Basmanov O., Oliinyk V., Afanasenko K., Hryhorenko O., Kalchenko Y. Developing the model of water cooling an oil tank in the case of fire. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2024. Vol. 5/10 (131). Doi: 10.15587/1729-4061.2024.313827.

2. Воронцов Е. Г., Тананайко Ю. М. Теплообмен в жидкостных пленках. Київ: Техніка, 1972. – 194 с.

3. Basmanov O., Maksymenko M. Model for choosing optimal water flow rate for tank wall cooling. Проблеми надзвичайних ситуацій. 2023. Vol. 2 (38). P. 4-16. Doi: 10.52363/2524-0226-2023-38-1

4. Oliinyk V., Basmanov O., Romanyuk I., Rashkevich O., Malovyk I Building a model of heating an oil tank under the thermal influence of a spill fire. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2024. Vol. 4/10 (130). P. 21-28. Doi: 10.15587/1729-4061.2024.309731