

Д.О. Саламов, ад'юнкт, НУЦЗУ,
 Ю.О. Абрамов, д.т.н., проф., головн.н.с., НУЦЗУ,
 О.Є. Басманов, д.т.н., проф., головн.н.с., НУЦЗУ

АНАЛІЗ СИСТЕМ ОХОЛОДЖЕННЯ РЕЗЕРВУАРІВ В РЕЗЕРВУАРНОМУ ПАРКУ З НАФТОПРОДУКТАМИ

Проведено аналіз систем охолодження резервуарів в резервуарному парку. Запропоновано використання системи з рухомих модулів, яка забезпечує збільшення інтенсивності подачі рідини для охолодження резервуара за рахунок переміщення модулів до заданого резервуара. Наведено опис системи, в якій реалізовано можливість заправки модулів рідиною.

Ключові слова: резервуар з нафтопродуктом, резервуарний парк система охолодження, рухомі модулі.

Постановка проблеми. Пожежа в групі резервуарів з нафтопродуктами являє особливу небезпеку внаслідок загрози розповсюдження пожежі на сусідні резервуари. Тому першочерговою задачею є охолодження резервуара, що горить, та сусідніх з ним. Основним засобом охолодження є подача води на стінки резервуарів. Однією з проблем при цьому є забезпечення достатньої інтенсивності і тривалості подачі води.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В Інструкції щодо гасіння пожеж в резервуарах з нафтою і нафтопродуктами [1] наведено нормативні інтенсивності подачі води на охолодження резервуарів – табл. 1. Наведені нормативні інтенсивності не враховують вид нафтопродукту, що горить, хоча це суттєво впливає на тепловий потік від пожежі. В [2] на прикладі резервуара РВС-5000 показано, що інтенсивність подачі води за допомогою пересувної техніки на охолодження резервуара, що горить, має складати $(0,22 \div 1,1)$ л/м \cdot с і залежить від виду нафтопродукту і висоти сухої стінки (частини стінки, що не контактує з нафтопродуктом).

Табл. 1. Нормативна інтенсивність подачі води на охолодження вертикальних сталевих резервуарів

Установки охолодження резервуарів	Інтенсивність подавання води на охолодження, л/с на 1 метр довжини		
	окружності резервуара, що горить	половини окружності сусіднього резервуара	окружності резервуара при пожежі в обслуванні
Стаціонарна установка для резервуарів зі стінками, висотою більше 12 м (крім резервуарів з плаваючою покрівлею)	0,75	0,3	1,2
для резервуарів зі стінками висотою 12 м і менше і резервуарів з плаваючою покрівлею	0,5	0,2	
Пересувна	0,8	0,3	

При цьому горючі рідини з меншою питомою теплою пожежі потребують меншої інтенсивності подачі води на охолодження. Зменшення висоти сухої стінки призводить до збільшення її температури і, відповідно, збільшення інтенсивності подачі води. В той же час нормативна інтенсивність подачі води складає 0,8 л/м·с. Особливістю пожежі в обвалуванні резервуара є можливість значно ближчого розташування осередку горіння до резервуара порівняно із випадком горіння в сусідньому резервуарі а, значить, і більшого теплового потоку від осередку горіння.

Постановка завдання та його вирішення. Метою роботи є аналіз систем охолодження резервуара в резервуарному парку з нафтопродуктами.

В роботі [3] побудовано модель теплового впливу пожежі на резервуар з нафтопродуктом, яка враховує променевий і конвекційний теплообмін стінки резервуара з полум'ям і навколишнім середовищем:

$$\frac{dT_w}{dt} = \frac{c_0 \varepsilon_{fr} \varepsilon_w}{\rho \delta_w c} \left[\left(\frac{T_{fr}}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_w}{100} \right)^4 \right] \psi + \frac{c_0 \varepsilon_w}{\rho \delta_w c} \left[\left(\frac{T_0}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_w}{100} \right)^4 \right] (1 - \psi) + \frac{\alpha_2 (T_f - T_w)}{\rho \delta_w c} + \frac{c_0 \varepsilon_w^2}{\rho \delta_w c} \left[\left(\frac{T_0}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_w}{100} \right)^4 \right] + \frac{\alpha_5 (T_0 - T_w)}{\rho \delta_w c}, \quad (1)$$

де T_w – температура елементарної площадки на стінці резервуара; $c_0 = 5.67 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \text{К}^4)$; ε_{fr} , ε_w – ступені чорноти факела і елементарної площадки; T_{fr} , T_w – температури випромінюючої поверхні факела і елементарної площадки відповідно; δ_w – товщина стінки резервуара; ρ , c – густина і теплоємність матеріалу стінки резервуара; ψ – коефіцієнт взаємного опромінення; α_2 – коефіцієнт конвекційного теплообміну стінки з навколишнім середовищем; T_f – температура навколишнього середовища; α_5 – коефіцієнт конвекційного теплообміну стінки резервуара з газовим простором всередині резервуара.

При конвекційному теплообміні стінки резервуара з пароповітряною сумішшю в газовому просторі має місце вільна конвекція [4], і коефіцієнт конвекційного теплообміну має вигляд

$$\alpha_5 = \left[-4.1 \cdot 10^{-3} (T_w + T_0) + 15.904 \right] \left| \frac{T_w - T_f}{T_w + T_f} \right|^{1/3}. \quad (2)$$

При охолодженні резервуара струменями води, або подачею води через зрошувальні кільця на стінці резервуара утворюється водна плівка, товщина δ і швидкість стікання w_c якої описуються виразами [5]

$$\delta = 0.055 \Gamma^{0.6}, \quad (3)$$

$$w_c = 18.2 \Gamma^{0.4}. \quad (4)$$

де I – інтенсивність подачі води на охолодження стінки (л/(м·с)). Тоді коефіцієнт конвекційного теплообміну між стінкою резервуара і водною плівкою має вигляд [5]

$$\alpha_2 = (238.53T_c - 45098)I^{0.25}, \quad (5)$$

де T_c – температура водної плівки.

Модель (1)-(5) є основою для розрахунку необхідної інтенсивності охолодження резервуарів у випадку пожежі в резервуарній групі.

Зважаючи на те, що надзвичайна подія, що призвела до проливу горючої рідини, може викликати пошкодження зрошувальних кілець, в [6] розглянуто використання пожежних гідромоніторів, розташованих за межами обвалування. Таке розташування дозволяє уникнути можливого руйнування системи охолодження. До її недоліків слід віднести стаціонарне розташування гідромоніторів, що не дозволяє використати їх разом для охолодження певного резервуара.

В [7] для забезпечення ефективності охолодження резервуарів в резервуарній групі запропоновано систему, яка складається із модулів, що пересуваються, які включають ємності із рідиною для охолодження резервуарів і засоби її доставки, із монорейок, на яких розміщені модулі, та із опор, додатково одна монорейка виконана у вигляді кола, діаметр якого перевищує максимальний розмір обвалування резервуарної групи у плані, друга монорейка встановлена вздовж діаметра першої монорейки, а опори, на яких розміщені монорейки, розташовані на кінцях діаметрів першої монорейки, що перпендикулярні між собою.

На рис. 1 наведено схему такої системи охолодження резервуарів.

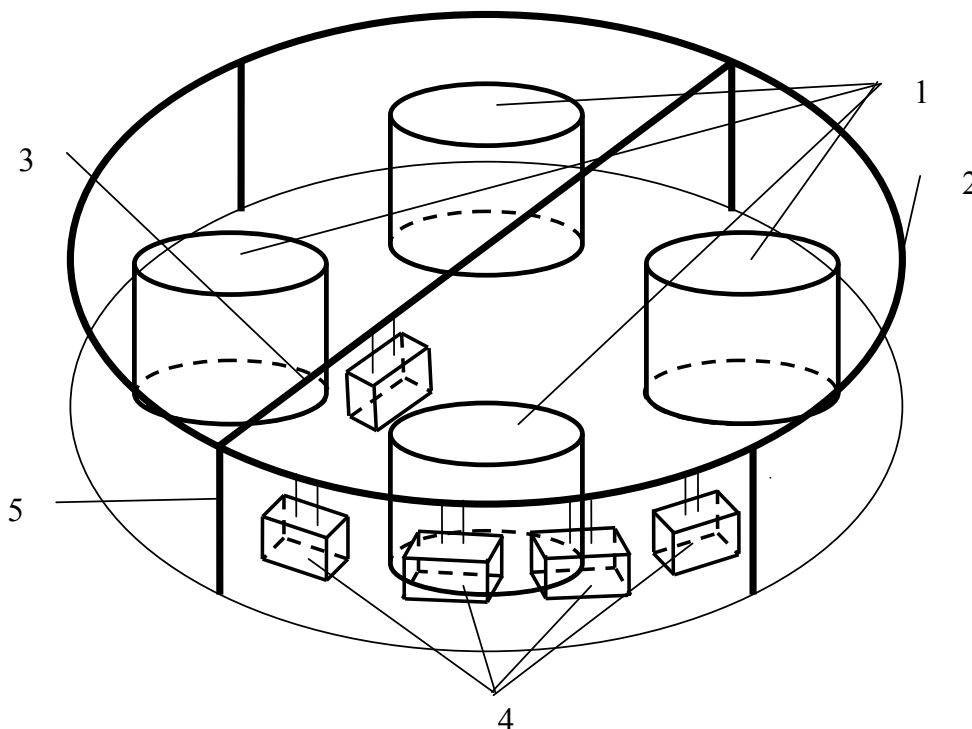


Рис. 1. Система для охолодження резервуарів в резервуарній групі: 1 – резервуари; 2, 3 – монорейки; 4 – модулі; 5 – опори

При цьому монорейка 2 виконана у вигляді кола, діаметр якого перевищує максимальний розмір обвалування резервуарної групи (діагональ квадрата, у вигляді якого виконано обвалування). Монорейка 3 встановлена вздовж діаметра монорейки 2. Опори 5, на яких розміщені монорейки 2, 3, розташовані на кінцях діаметрів монорейки 2 і перпендикулярні між собою. Чотири модулі 4 розташовані на монорейці 2, а один модуль 4 – на монорейці 3.

Система для охолодження резервуарів в резервуарній групі працює наступним чином (рис. 1). При виникненні пожежі на одному із резервуарів 1 модулі 4 пересуваються по монорейках 2 та 3 на найкоротшу відстань до цього резервуара і із ємностей цих модулів за допомогою лафетних стволів на резервуар 1 подається рідина для охолодження. Внаслідок того, що пожежа починається із загоряння одного із резервуарів 1, то при його охолодженні використовуються всі 5 модулів.

Головним недоліком системи, наведеної на рис. 1, є обмеженість запасів рідини в ємностях. Наприклад, запас води у $2,5 \text{ м}^3$ (як в пожежному автомобілі АЦ-40) забезпечує роботу ствола А (з витратою води $7,4 \text{ л/с}$) лише протягом $5,5 \text{ хв}$.

Збільшення часу охолодження може бути реалізовано за рахунок заправки ємностей з рідиною шляхом введення трубопроводу, встановленого вертикально в центрі резервуарної групи, нижній кінець якого з'єднаний із стаціонарною гідромагістраллю, а верхній кінець з'єднаний з іншими трубопроводами, які встановлені на опорах вздовж взаємно перпендикулярних діаметрів монорейки, а на їх інших кінцях встановлено запірні пристрої (рис. 2). Крім того, пожежний монітор, встановлений на порожнисту стійку з трубопроводом, який має лінійну ступінь свободи по вертикалі та кутовий ступінь свободи по азимуту, дозволяє проводити охолодження частини стінки резервуарів, оберненої всередину резервуарної групи. Причому кут розпилу рідини виконаний згідно із виразом

$$\alpha = 2\arctg \frac{R}{L},$$

де R – радіус резервуара; L – відстань від пожежного монітора до центра резервуара.

При виникненні пожежі в одному із резервуарів 1 модулі 3 із рідиною для його охолодження пересуваються по монорейці 2 до цього резервуара на найкоротшу відстань і із ємностей модулів 3 на цей резервуар подається рідина для його охолодження (рис. 2). Одночасно із цим пожежний монітор 8, який встановлений на стійці 7, повертається в азимуті таким чином, щоб бути націленим на резервуар, на якому відбувається пожежа, і за його допомогою на цей резервуар подається рідина для його охолодження. Пожежний монітор 8 може переміщуватися по стійці 7 вертикально.

Для поповнення рідини, яка використовується для охолодження резервуарів 1, використовуються трубопроводи 7, а також трубопровід, який встановлений в порожні стійки 7 (на рис. 2 він не показаний). Трубопровід, який встановлений в стійці 7, з'єднаний із стаціонарною гідромагістраллю,

а також із трубопроводами 7, що встановлені на опорах 4 вздовж взаємно перпендикулярних діаметрів монорейки 2. По мірі використання рідини в ємностях модулів 3 вони пересуваються по монорейці 2 до найближчого трубопроводу 7 і підключаються до нього. Після спрацювання запірної пристрою 6 рідина поступає до ємності модуля 3. Далі такий цикл повторюється для кожного модуля. Ємності цих модулів можуть заповнюватися рідиною одночасно. На пожежний монітор 8 рідина поступає безперервно.

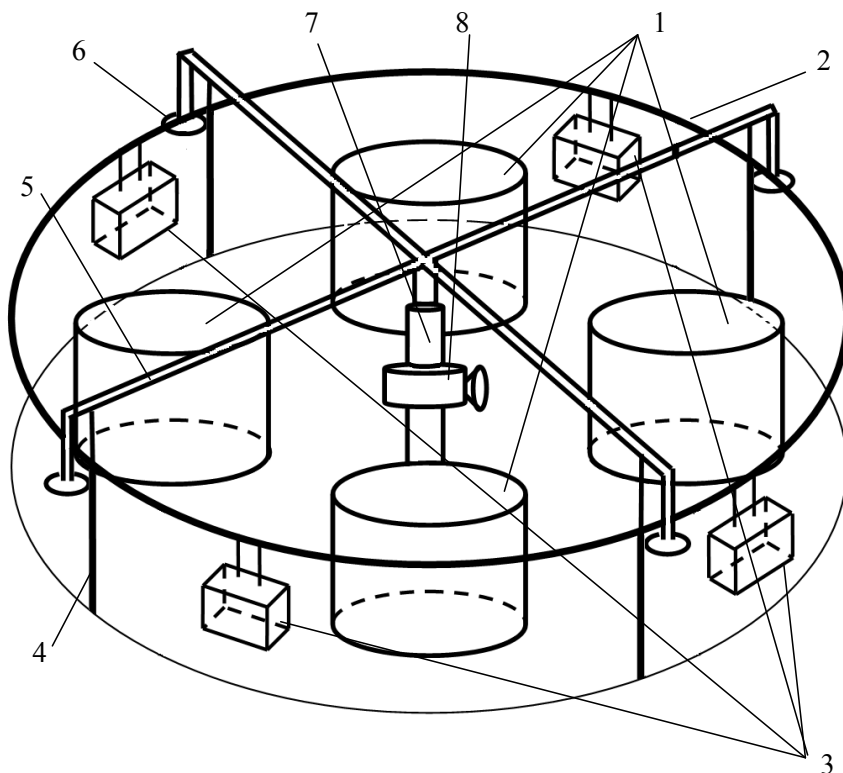


Рис. 2. Система для охолодження резервуарів в резервуарній групі з можливістю заправки модулів з рідиною: 1 – резервуари; 2 – монорейка; 3 – модулі із рідиною для охолодження резервуарів; 4 – опори; 5 – трубопроводами; 6 – запірні пристрої; 7 – порожниста стійка; 8 – пожежний монітор

Висновки. Проведено аналіз систем охолодження резервуарів в резервуарному парку. Захист резервуара за допомогою зрошувальних кілець, закріплених на його стінках, є неефективним у випадку коли надзвичайна подія, що передуює розливу нафтопродукту, також приводить до руйнування елементів системи охолодження. Пожежні гідромонітори, стаціонарно розташовані за межами обвалування, позбавлені цього недоліку, але стаціонарне розташування не дає можливості зосередити подачу охолоджувальної рідини на один резервуар. Запропоновано систему з рухомих модулів, яка забезпечує збільшення інтенсивності подачі рідини для охолодження резервуара за рахунок переміщення модулів до заданого резервуара. Наведено опис системи, в якій реалізовано можливість заправки модулів рідиною, що забезпечує тривалість охолодження резервуара.

ЛІТЕРАТУРА

1. Інструкція щодо гасіння пожеж у резервуарах із нафтою і нафто-

продуктами. НАПБ 05.02: Офіц. вид. – К.: М-во з питань надзвичайних ситуацій та у справах захисту населення від наслідків Чорнобильської катастрофи. 2003. – 81 с. – (нормативний документ МНС України. Інструкція). Режим доступу: http://univer.nuczu.edu.ua/tmp_metod/950/Nafta-Instrukcia8S.pdf.

2. Басманов А.Е. Локализация пожаров в резервуарах с нефтепродуктами [Текст] / А.Е. Басманов, А.А. Михайлюк. – Харьков: НУГЗУ. 2011. – 108 с. Режим доступу: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/261>.

3. Басманов А.Е. Моделирование теплового воздействия пожара в обваловании на резервуар с нефтепродуктом [Текст] / О.Є. Басманов, Я.С. Кулик // Проблемы пожарной безопасности. – Х.: НУГЗУ. 2013. №34. С. 25-29. <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/290>.

4. Kays W. Convective Heat and Mass Transfer, 4E [Text] / W. Kays, M. Crawford; B. Weigand – McGraw-Hill Professional. 2004.

5. Vasmanov O.E. Estimation of the convection heat exchange rate for tank shells covered with falling water film [Text] / O.E. Vasmanov, Y.S. Kylik // East journal of security studies. – 2017. – V. 1. – P. 145-154. Режим доступу: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/6121>.

6. Шароварников А.Ф. Тушение пожаров нефти и нефтепродуктов [Текст] / А.Ф. Шароварников, В.П. Молчанов, С.С. Воевода, С.А. Шароварников. – М.: Калан. 2002. – 448 с.

7. Система для охолодження резервуарів в резервуарній групі [Текст]: пат. 118445 Україна, МПК А62С 3/06 / Абрамов Ю.О., Басманов О.Є., Кулик Я.С.; заявник і патентовласник Національний університет цивільного захисту України. – № U201701623; заявл. 20.02.2017; опубл. 10.08.2017.

Отримано редколегією 10.03.2018

Д.О. Саламов, Ю.А. Абрамов, А.Е. Басманов

Анализ систем охлаждения резервуаров в резервуарном парке с нефтепродуктами

Проведен анализ систем охлаждения резервуаров в резервуарном парке. Предложено использование системы, состоящей из подвижных модулей, которая обеспечивает увеличение интенсивности подачи жидкости для охлаждения резервуара за счет перемещения модулей к заданному резервуару. Приведено описание системы, в которой реализована возможность заправки модулей жидкостью.

Ключевые слова: резервуар с нефтепродуктом, резервуарный парк, система охлаждения, подвижные модули.

D. Salamov, Yu. Abramov, O. Basmanov

Analysis of tank cooling systems in fuel tank storage

Keywords: The analysis of tank cooling systems in fuel tank storage is carried out. It is proposed to use a system of movable modules, which provides an increase of intensity of the liquid supply for cooling the tank. It is reached by moving the modules to the tank. The system which allows the charging of the modules is described.