

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

ОХОЛОДЖЕННЯ РЕЗЕРВУАРА З НАФТОПРОДУКТАМИ ЗА ДОПОМОГОЮ ГІДРОМОНІТОРА З ФІКСОВАНИМ КУТОМ НАХИЛУ

Побудовано модель руху струменя охолоджуючої рідини після виходу з пожежного ствола. Обґрунтовано можливість охолодження резервуара з нафтопродуктом, що горить, за допомогою пожежного монітора з фіксованим кутом нахилу. Зазначений результат досягається завдяки варіюванню початкової швидкості охолоджуючої рідини.

Ключові слова: резервуар з нафтопродуктом, охолодження, пожежний гідромонітор, траєкторія струменя.

Постановка проблеми. Пожежа в резервуарному парку з нафтопродуктами становить особливу небезпеку внаслідок загрози її каскадного розповсюдження на сусідні резервуари. Основним методом запобігання поширенню пожежі є охолодження резервуара, що горить, та сусідніх з ним за допомогою кілець охолодження, розташованих на стінці резервуара, або пожежних гідромоніторів з-поза меж обвалування. Перевагою другого способу є захищеність систем подачі охолоджуючої рідини від теплового впливу пожежі та руйнування, спричиненого первинним вибухом парів нафтопродукту. При цьому однією з проблем є підвищення ефективності охолодження стінок резервуара.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В [1] розглянуто традиційний підхід до охолодження резервуара лафетним стволом, розташованим за межами обвалування. Лафетний ствол сканує поверхню резервуара у вертикальній і горизонтальній площинах. Сканування забезпечується за рахунок зміни просторового розташування ствола. Відомий більш економний підхід [2], при якому сканування в горизонтальній площині відбувається без переміщення ствола, а забезпечується за рахунок послідовної комутації швидкодіючих клапанів в пожежному моніторі. Однак такий підхід не забезпечує переміщення струменя по стінці резервуара у вертикальному напрямку.

Постановка завдання та його вирішення. Метою роботи є обґрунтування можливості охолодження резервуара з нафтопродуктом, що горить, з використанням пожежного монітора, у якого кут подачі охолоджуючої рідини апріорі фіксований.

Пожежний монітор, схему якого наведено в [2], розташований на висоті $y = h$ і на відстані $x = x_0$ від стінки резервуара з нафтопродуктом, що горить (рис. 1). Охолоджуюча рідина подається пожежним монітором зі швидкістю v_0 , а кут її подачі дорівнює β . Необхідно забезпечити охолодження резервуара в зоні, яка визначається координатами y_1 і y_2 .

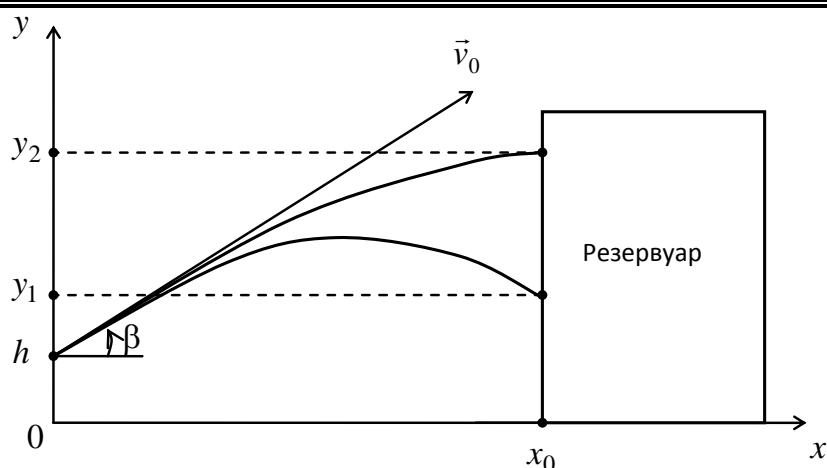


Рис. 1. Схема охолодження резервуара

У відповідності до основного рівняння динаміки руху частинки охолоджуючої рідини одиничної маси в проекціях на вісі декартової системи координат XOY буде описуватися системою незв'язаних лінеарізованих рівнянь

$$\begin{aligned} \frac{d^2 x}{dt^2} + \alpha \frac{dx}{dt} &= 0; \\ \frac{d^2 y}{dt^2} + \alpha \frac{dy}{dt} &= -g, \end{aligned} \quad (1)$$

де α – коефіцієнт опору; g – прискорення сили тяжіння.

Початковими умовами для системи (1) є

$$\begin{aligned} x(0) &= 0; \quad y(0) = h; \\ \frac{dx(0)}{dt} &= v_1 = v_0 \cos \beta; \quad \frac{dy(0)}{dt} = v_2 = v_0 \sin \beta. \end{aligned} \quad (2)$$

Якщо ввести нову змінну $z(t) = y(t) - h$, то друге диференціальне рівняння системи (1) за формою не зміниться, а початкові умови набудуть вигляду

$$z(0) = 0; \quad \frac{dz(0)}{dt} = v_2 = v_0 \sin \beta. \quad (3)$$

Для розв'язання системи диференціальних рівнянь застосуємо до неї інтегральне перетворення Лапласа, в результаті чого отримаємо

$$\begin{aligned} p(p + \alpha)X(p) - v_1 &= 0; \\ p(p + \alpha)Z(p) - v_2 &= -\frac{g}{p}, \end{aligned} \quad (4)$$

де $X(p)$, $Z(p)$ – зображення за Лапласом функцій $x(t)$ і $z(t)$ відповідно; p – комплексна змінна.

З першого рівняння системи (4) випливає розв'язок для функції $x(t)$, який описується виразом

$$x(t) = L^{-1} \left[v_1 [p(p + \alpha)]^{-1} \right] = \frac{v_1}{\alpha} [1 - \exp(-\alpha t)], \quad (5)$$

де L^{-1} – оператор зворотного перетворення Лапласа.

Для функції $z(t)$ із другого рівняння системи (4) можна записати

$$z(t) = L^{-1} \left[(v_2 p - g) [p^2 (p + \alpha)]^{-1} \right]. \quad (6)$$

Для визначення цієї функції скористаємося методом невизначених коефіцієнтів [3, 4], у відповідності до якого має місце наступне співвідношення

$$(v_2 p - g) [p^2 (p + \alpha)]^{-1} = A p^{-1} + B p^{-2} + C (p + \alpha)^{-1}, \quad (7)$$

з якого випливає

$$A p^2 + A \alpha p + B p + B \alpha + C p^2 = v_2 p - g. \quad (8)$$

Виразу (8) буде відповідати система алгебраїчних рівнянь

$$\begin{aligned} A + C &= 0; \\ A \alpha + B &= v_2; \\ B \alpha &= -g, \end{aligned} \quad (9)$$

розв'язками якої є

$$A = \frac{1}{\alpha} \left(v_2 + \frac{g}{\alpha} \right); \quad B = -\frac{g}{\alpha}; \quad C = -\frac{1}{\alpha} \left(v_2 + \frac{g}{\alpha} \right). \quad (10)$$

Тоді з врахуванням (7) і (10) вираз (6) трансформується наступним чином:

$$\begin{aligned} z(t) &= L^{-1} \left[\frac{1}{\alpha} \left(v_2 + \frac{g}{\alpha} \right) [p^{-1} - (p + \alpha)^{-1}] - \frac{g}{\alpha} p^{-2} \right] = \\ &= \frac{1}{\alpha} \left(v_2 + \frac{g}{\alpha} \right) [1 - \exp(-\alpha t)] - \frac{g}{\alpha} t. \end{aligned} \quad (11)$$

Переходячи до змінної $y(t)$, отримаємо

$$y(t) = h + \frac{1}{\alpha} \left(v_2 + \frac{g}{\alpha} \right) [1 - \exp(-\alpha t)] - \frac{g}{\alpha} t. \quad (12)$$

Для визначення траєкторії, по якій рухаються частинки охолоджуючої рідини, із (5) можна записати, що

$$1 - \exp(-\alpha t) = \alpha v_1^{-1} x, \quad (13)$$

що дозволяє представити вираз для часу наступним чином

$$t = -\alpha^{-1} \ln(1 - \alpha v_1^{-1} x). \quad (14)$$

Після підстановки (14) в (12) остаточно отримаємо рівняння траєкторії у вигляді

$$y = (g + \alpha v_2)(\alpha v_1)^{-1} x + g \alpha^{-2} \ln(1 - \alpha v_1^{-1} x). \quad (15)$$

Із цього виразу випливає, що при $\beta = \text{const}$ (див. співвідношення (2)) охолодження резервуара з нафтопродуктом, що горить, в зоні, яка визначається координатами y_1 і y_2 (див. рис. 1), можливо шляхом зміни величини початкової швидкості v_0 подачі охолоджуючої рідини. Визначення діапазону зміни величини початкової швидкості подачі охолоджуючої рідини при цьому аналітичним шляхом є неможливим, що обумовлено трансцендентністю системи рівнянь.

Якщо представити рівняння (15) наступним чином

$$y = (g + \alpha v_1 t g \beta)(\alpha v_1)^{-1} x + g \alpha^{-2} \ln(1 - \alpha v_1^{-1} x), \quad (16)$$

в якому покласти $x = x_0$, то можна отримати розв'язок для діапазону зміни величини проекції швидкості v_1 для $y \in [y_1, y_2]$ графічним шляхом. На рис. 2 наведено графічну ілюстрацію для такої процедури для $\beta = 50^\circ$; $x_0 = 10,0 \text{ м}$; $y_1 = 11,0 \text{ м}$; $y_2 = 12,0 \text{ м}$; $\alpha = 0,15 \text{ с}^{-1}$. З рис. 2 випливає, що величина проекцій швидкості v_1 для таких значень параметрів належить діапазону $(16,6 \div 23,8) \text{ мс}^{-1}$, що відповідає діапазону зміни величини початкової швидкості v_0 , що дорівнює $(25,9 \div 37,2) \text{ мс}^{-1}$.

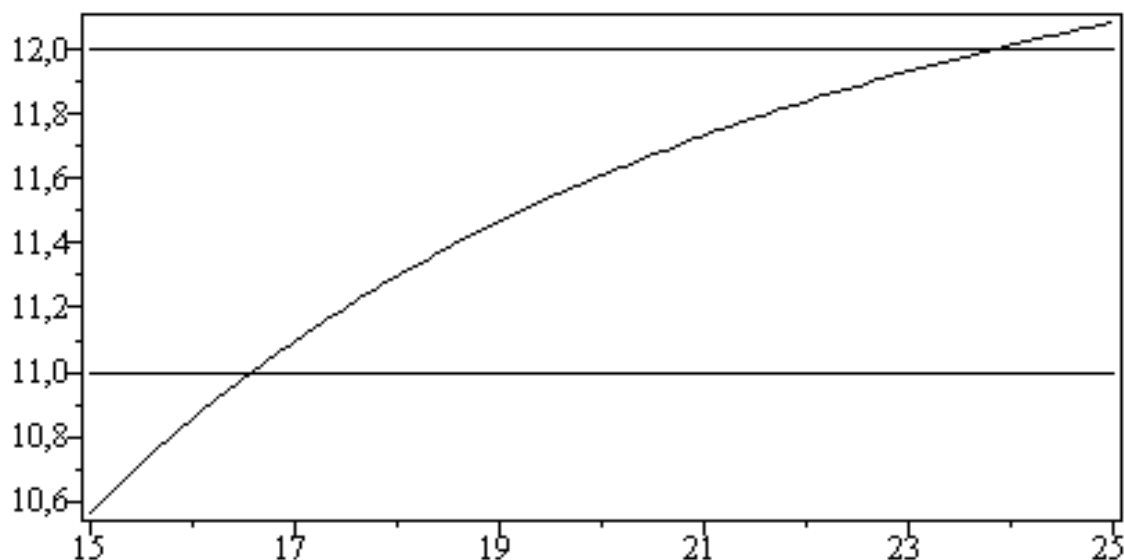


Рис. 2. До визначення величини v_1

Таким чином, при використанні пожежних моніторів з фіксований кутот подачі охолоджуючої рідини, наприклад, запропонованих в [2], охолодження резервуара з нафтопродуктом, що горить, в апріорі заданому по висоті діапазоні можливе шляхом варіювання величини початкової швидкості у відповідному діапазоні її значень.

Висновки. Обґрунтовано можливість охолодження резервуара з нафтопродуктом, що горить, з використанням пожежного монітора, у якого кут подачі охолоджуючої рідини апріорі фіксований. Побудовано модуль руху струменя охолоджуючої рідини після виходу із пожежного гідромонітора. Показано, зокрема, що для монітора, розташованого під кутом 50° до горизонту, варіювання початкової швидкості струменя рідини в діапазоні $(16,6 \div 23,8) \text{ мс}^{-1}$ забезпечує охолодження верхнього поясу стінки резервуара в діапазоні висот $(11,0 \div 12,0) \text{ м}$.

Перспективи подальших досліджень пов'язані з визначенням інтенсивності подачі охолоджуючої рідини, яка забезпечує охолодження стінки резервуара до безпечної температури.

ЛІТЕРАТУРА

1. Шароварников А.Ф. Тушение пожаров нефти и нефтепродуктов / А.Ф. Шароварников, В.П. Молчанов, С.С. Воевода, С.А. Шароварников. М.: Калан, 2002. 448 с.
2. Пат. 122938 Україна, МПК А62С 31/00, А62С 2/00. Пожежный монітор / Абрамов Ю.О., Басманов О.Є., Саламов Д.О., Тищенко Є.О.; власник – Національний університет цивільного захисту України. – № 201710046; заявл. 17.20.2017, опубл. 25.01.2018, Бюл. №2.
3. Абрамов Ю.А. Операционное исчисление / Ю.А. Абрамов, Н.Ю. Иохвидович, П.С. Червяков. – Х.: ХВПТУ, 1993. – 36 с.
4. Абрамов Ю.А. Основы пожарной автоматики / Ю.А. Абрамов. – Х.: ХПТУ, 1993. – 288 с.

Отримано редколегією 13.03.2019

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

Охлаждение резервуара с нефтепродуктами с помощью гидромонитора с фиксированным углом наклона

Построена модель движения струи охлаждающей жидкости после выхода из пожарного ствола. Обоснована возможность охлаждения резервуара с горящим нефтепродуктом с помощью пожарного монитора с фиксированным углом наклона. Данный результат достигается благодаря варьированию начальной скорости охлаждающей жидкости.

Ключевые слова: резервуар с нефтепродуктом, охлаждение, пожарный гидромонитор, траектория струи.

D. Salamov, Yu. Abramov, O. Basmanov

Cooling the fuel tank using a fire hydromonitor with a fixed tilt angle

A model of the motion of the cooling jet after leaving the fire barrel is built. The possibility of cooling the burning tank via the fire monitor with a fixed title angle is substantiated. This result is achieved by varying the initial speed of cooling jet.

Keywords: fuel tank, cooling, fire hydromonitor, jet trajectory.