

**УДК 614.841**

*В.В. Олійник, к.т.н., доцент, заст. нач. каф., НУЦЗУ,  
О.М. Роянов, к.т.н., ст. викладач, НУЦЗУ*

**СПОСІБ ОЦІНКИ ЗАЛИШКІВ СВІТЛИХ НАФТОПРОДУКТІВ ПІД ЧАС ПРОВЕДЕННЯ ПРИМУСОВОЇ ВЕНТИЛЯЦІЇ РЕЗЕРВУАРІВ**

(представлено д.т.н. Басмановим О.Є.)

Запропоновано спосіб оцінки залишків світлих нафтопродуктів в резервуарах під час проведення в них примусової вентиляції з метою забезпечення пожежовибухобезпеки ремонтних робіт.

**Ключові слова:** пожежовибухобезпека резервуарів, примусова вентиляція.

**Постановка проблеми.** Під час експлуатації резервуарів для зберігання світлих нафтопродуктів завжди виникають ситуації, які потребують проведення профілактичних та ремонтних робіт. Небезпека проведення таких робіт пов'язана з наявністю як рідких залишків легкозаймистих рідин, так і з наявністю середовища, насиченого парами таких залишків. В результаті дій обслуговуючого персоналу можуть виникнути джерела запалювання, які стануть ініціаторами виникнення вибуху або пожежі. Тому існує проблема – підвищення рівня пожежовибухобезпеки резервуарів для зберігання світлих нафтопродуктів під час проведення профілактичних та ремонтних робіт та оцінка факторів, які впливають на час проведення примусової вентиляції. Крім цього, необхідність визначення часу на проведення примусової вентиляції резервуарів та його скорочення пояснюється можливим порушенням технологічного процесу, який може виникнути в резервуарних парках через відсітність вільних та придатних для використання резервуарів.

**Аналіз останніх досягнень і публікацій** показав, що забезпечення високого рівня пожежовибухобезпеки резервуарів зберігання світлих нафтопродуктів під час проведення профілактичних та ремонтних робіт є актуальним питанням у всьому світі. Основні нормативно-настановчі акти України [1–2] регламентують певний перелік дій, щодо забезпечення безпеки проведення профілактичних та ремонтних робіт на резервуарах. Світовий досвід свідчить, що питанням забезпечення пожежовибухобезпеки також приділяється достатня увага [3–6]. Так, наприклад, існуючі у США Правила і норми попередження пожеж регламентують допуск до виконання робіт при забезпеченні концентрації парів легкозаймистих рідин (ЛЗР) та горючих рідин (ГР) [7] на рівні не вище 10 % від нижньої межі спалахування [8, 9]. В ряді робіт [5, 6, 10–14] визначені чинники, які впливають на час проведення примусової вентиляції та процес зниження пожежовибухобезпечних концентрацій парів легкозаймистих рідин (ЛЗР) та горючих рідин (ГР).

Існуючі на цей час інструкції та способи [1–2] не досить повно відображають стан процесу примусової вентиляції та носять лише прогнозний або рекомендований характер [10], мають певні математичні допущення [6].

**Постановка завдання та його вирішення.** Метою проведених досліджень було розробити спосіб щодо оцінки об'єму залишків світлих нафтопродуктів в середині резервуару, які впливають на час проведення примусової вентиляції вертикальних сталевих резервуарів (РВС).

За умов наявності залишків світлих нафтопродуктів, які присутні у рідкому стані в резервуарі, у просторі резервуару утворюється певна концентрація парів ЛЗР та ГР. Їх концентрація може сягати вибухонебезпечного рівня, тому сам процес проведення вимірів параметрів газового середовища і залишків рідини може сприяти виникненню вибуху або пожежі.

Задача дослідження обумовлена необхідністю визначення обсягів залишків нафтопродуктів за такими питаннями:

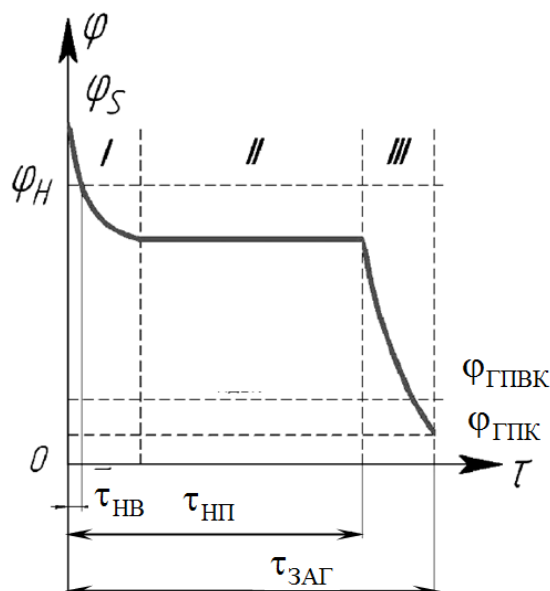
- вплив кількості залишків на тривалість процесу примусової вентиляції;
- кількість залишків, яку необхідно вилучити і утилізувати;
- оцінка обсягів та вартості робіт щодо зачищення резервуарів;
- оцінка втрат нафтопродуктів, які не таруються під час виведення резервуарів на ремонтні та регламентні роботи.

Процес вентиляції технологічного апарату описується диференціальним рівнянням матеріального балансу [12]

$$Vd\varphi + q\varphi dt - q\varphi_V dt = Mdt, \quad (1)$$

де  $V$  – об'єм резервуару;  $q$  – витрати припливного повітря;  $\varphi$  та  $\varphi_V$  – концентрації парів рідини в газовому просторі апарату та в припливному повітрі;  $M$  – інтенсивність випаровування;  $t$  – час.

Основні періоди примусової вентиляції зображено на рис. 1.



**Рис. 1.** Зміна концентрації парів рідини у часі за умов наявності в резервуарі рідких залишків ЛЗР та ГР:  $\tau_{НВ}$  – тривалість небезпеки вибуху;  $\tau_{НП}$  – тривалість небезпеки пожежі;  $\tau_{ЗАГ}$  – загальна тривалість примусової вентиляції

Для першого періоду час примусової вентиляції визначається [6]

$$\tau_1 = \frac{V}{2 \cdot q} \cdot \ln \frac{\varphi_0 - \frac{M_0}{q}}{\frac{M_0}{2 \cdot q - \alpha \cdot V} - \frac{M_0}{q}}, \quad (2)$$

де  $V$  – об'єм резервуару,  $\text{м}^3$ ;  $q$  – продуктивність вентилятора,  $\frac{\text{м}^3}{\text{с}}$ ,  $\varphi_0$  – початкова концентрація парів у газовому просторі резервуару,  $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ ;  $M_0$  – початкова масова швидкість випаровування,  $\frac{\text{кг}}{\text{с}}$ ;  $\alpha$  – коефіцієнт, що враховує властивості нафтопродукту,  $\frac{1}{\text{с}}$  (визначається експериментально). За експериментальними даними величина  $\alpha$  визначається за виразом [12]

$$\alpha = 2,8 \cdot 10^{-5} \cdot \left( \ln \frac{C_{S0}}{C_{SK}} \right) \frac{M_{\max}}{G_0}, \quad (3)$$

де  $C_{S0}$  – насичена концентрація парів залишків світлих нафтопродуктів на початок вентиляції;  $C_{SK}$  – насичена концентрація парів залишків світлих нафтопродуктів в кінці випаровування;  $G_0$  – маса світлих нафтопродуктів.

Час другого етапу вентиляції визначається шляхом вирішення рівняння (1) методом варіації змінної виходячи з умови, що вся рідина під час вентиляції випарувалась

$$G_0 = \int_0^{\tau_2} \varphi(\tau) q d\tau. \quad (4)$$

Тоді  $\tau_2$  буде обчислюватись за виразом

$$\tau_2 = \frac{1}{\alpha} \cdot \ln \left| \frac{\frac{M_0 \cdot q}{\alpha(q - \alpha \cdot V)}}{\frac{M_0 \cdot q}{\alpha(q - \alpha \cdot V)} - G_0} \right|, \quad (5)$$

Час тривання останнього етапу примусової вентиляції обчислюється за виразом

$$\tau_3 = \frac{V}{q} \cdot \ln \frac{\frac{M_0 \cdot q}{q - \alpha \cdot V} - \frac{\alpha \cdot G_0}{q}}{\varphi_{\text{без}}}, \quad (6)$$

де  $\varphi_{\text{без}}$  – безпечна концентрація парів ЛЗР та ГР в газовому просторі резервуару, яка є наперед заданою величиною.

З метою вирішення завдання дослідження було розглянуто можливість використання оптичних датчиків. Вони використовують видимий, інфрачервоний діапазон або світло лазера для виявлення рівня рідини. Такі оптичні датчики можуть використовуватися в контактному і безконтактному зондуванні. Різні рідини можуть бути виявлені на різних рівнях, якщо використовується кілька фотоелементів. Ці пристрої мають просту конструкцію і є надійними, не вимагають перекалібрування між завантаженнями датчиків. Вони можуть бути інтегровані в системи з різними матеріалами і умовами проведення процесу. Їх час відгуку практично миттєвий і має високу точність. Оптичні датчики можуть також бути використані для виявлення високого рівня піни або специфічних матеріалів.

За допомогою отриманих сигналів з інфрачервоних датчиків передбачається визначення кількості рідких залишків в резервуарі. Час отримання відгуку під час вимірювання ( $\tau_{\text{б}}$ ) буде характеризувати рівень залишків нафтопродуктів та рівень осаду ( $\tau_{\text{о}}$ ) на дні резервуару ( $\tau_{\text{д}}$ ), а інтенсивність отриманого відгуку:  $I_{\text{б}}$  – рідких залишків,  $I_{\text{о}}$  – осаду,  $I_{\text{д}}$  – рівень днища). Принцип оцінки кількості рідких залишків та осаду зображено на рис. 2.

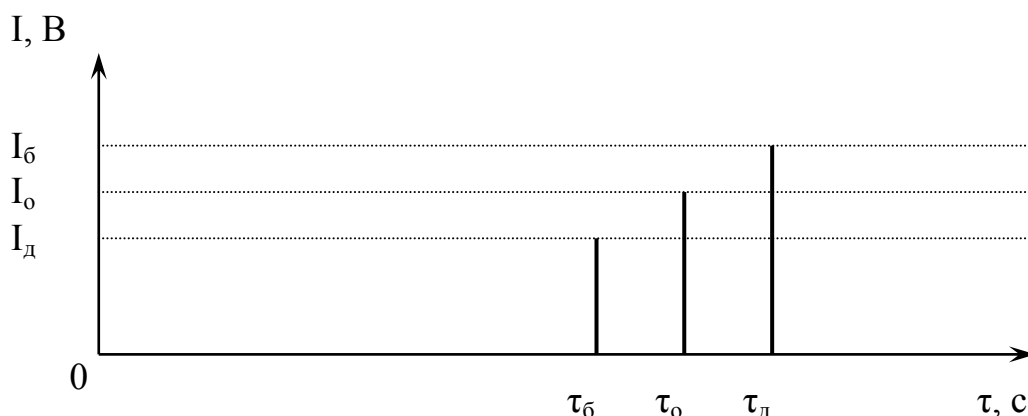


Рис. 2. Принцип оцінки кількості рідких залишків та осаду

У разі резервуару, який має рівну поверхню днища, об'єм рідких залишків буде визначатися величиною шару та діаметром резервуару

$$V = h \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4}, \quad (7)$$

де  $D$  – внутрішній діаметр резервуару (для РВС-5000 варіант 1: висота 12000 мм, діаметр 22800 мм, варіант 2: висота 15000 мм, діаметр 20920 мм),  $h$  – товщина шару рідкого залишку.

У разі резервуару, який має сфероподібну поверхню днища внаслідок тривалої експлуатації (рис. 3), об'єм рідких залишків буде визначатися за виразом (8)

$$V = \frac{\pi \cdot h \cdot (3 \cdot r_1^2 + 3 \cdot r_2^2 + h^2)}{6}, \quad (8)$$

де  $r_1$  – радіус шару рідких залишків в резервуарі (для РВС-5000 варіант 1 (діаметр 22800 мм): максимальне значення 11400 мм, варіант 2 (діаметр 20920 мм): максимальне значення 10460 мм),  $h$  – товщина шару рідкого залишку,  $r_2$  – радіус шару осаду, на практиці завжди менший за  $r_1$ .

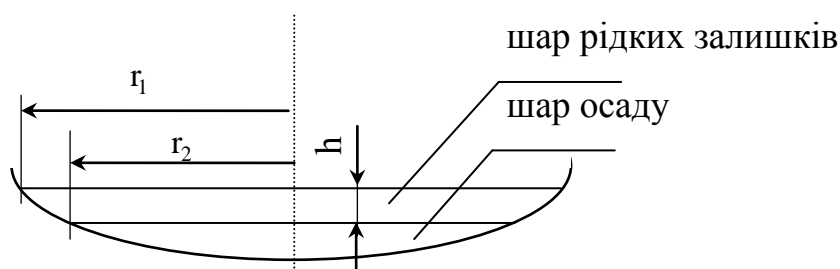


Рис. 3. Принцип оцінки кількості рідких залишків зі сфероподібною поверхнею днища

Проведені дослідження показали, що похибка вимірювання шару рідких залишків в резервуарі, який має рівну поверхню днища, об'єм рідких залишків навіть в 1 мм для варіанта 1 складає  $0,4083 \text{ м}^3$ , а для варіанта 2 –  $0,3437 \text{ м}^3$ . У разі обчислень стосовно резервуару, який має сфероподібну поверхню днища, похибка вимірювання шару рідких залишків в 1 мм для варіанта 1 складає  $0,3942 \text{ м}^3$ , а для варіанта 2 –  $0,3289 \text{ м}^3$ , при цьому враховувалось, що різниця між радіусами шарів складала умовно 0,4 м. Враховуючи отримані значення обсягів рідких залишків було проведено оцінку зміни тривалості другого етапу примусової вентиляції для умов видалення з резервуару бензина марки А-92 за рахунок підвищення точності оцінки оптичними датчиками рідких залишків нафтопродукту. Оцінки виконувались для наступних умов: резервуар – РВС-5000, температура навколишнього середовища –  $25^0 \text{ С}$ , визначений залишок –  $0,4083 \text{ м}^3$ , продуктивність вентилятора –  $20 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$ . Проведений аналіз розрахунку показав, що похибка у вимірюванні шару бензину у РВС-5000 в 1 мм призводить до похибки оцінки часу примусової вентиляції на другому етапі у 84634 с, тобто – майже 24 години.

З трьох етапів примусової вентиляції, які розглянуті під час досліджень, найбільш тривалим є другий етап – коли вибухонебезпечна концентрація парів ЛЗР та ГР в резервуарі знизилась, але в ємності ще залишились їх рідкі залишки. Згідно формули (3) обсяг таких залишків не є вимірним, а під час обчислення тривалості другого етапу (4) знання його величини є необхідним. Визначенню величини залишків присвячено запропонований спосіб, який розглянуто під час досліджень.

Реалізація запропонованого способу буде полягати в наступному: на відкритий світловий люк встановлюється вимірювальний пристрій з оптичним датчиком, який мінімізує операції обслуговуючого персоналу щодо визначення обсягів залишків світлих нафтопродуктів та осаду у резервуарі. За допомогою портативного обчислювача, наприклад портативного комп'ютеру, виконується визначення обсягів залишків.

Використання сучасних оптичних вимірювальних систем та при-

строїв дозволяє проводити контроль та вимір параметрів технологічних процесів безконтактним способом. При цьому, запропонований спосіб оцінки об'єму залишків світлих нафтопродуктів можна також використати і для вимірювання інших параметрів, які впливають на інтенсивність випаровування ЛЗР та ГР та на час проведення примусової вентиляції.

**Висновки.** В роботі запропонований спосіб вимірювання залишків світлих нафтопродуктів в середині резервуару, які впливають на час примусової вентиляції резервуарів, на основі використання оптичних датчиків. На прикладі наведено кількість рідких залишків, яка вміщується в товщині шару в 1 мм, з якою забезпечують точність виміру оптичні датчики, для двох варіантів виготовлення РВС -5000. Визначення об'єму рідких залишків та осаду також дозволить обирати режими роботи примусової вентиляції з метою зміни часу примусової вентиляції, визначити кількість незворотних втрат нафтопродуктів під час зачистки резервуару, а також оцінити обсяги та вартість робіт із зачистки при приведенні резервуару до пожежобезпечного стану для ремонтних робіт.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Временная инструкция по дегазации резервуаров от паров нефтепродуктов методом принудительной вентиляции [Текст]. – Утв. Госкомнефтепродуктом РСФСР 08.09.1981 г. – Изд. офиц. – М.: Стройиздат, 1982. – 32 с.
2. Инструкция по зачистке резервуаров от остатков нефтепродуктов [Текст] Утв. Госкомнефтепродуктом СССР 10.11.89. – Изд. офиц. – М.: Стройиздат. 1990. – 41 с.
3. Robinson, M. Recommendations for the design of push-pull ventilation systems for open surface tanks [Text] / M. Robinson, D.B. Ingham // The Annals of Occupational Hygiene. – 1996. – 6. – P. 693–704.
4. Fardell, P.J. The evaluation of an improved method of gasfreeing an aviation fuel storage tank [Text] / P.J. Fardell, B.W. Houghton // Journal of Hazardous Materials. – 1976. – 1(3). – P. 237–251.
5. Гарбуз С.В., Ковалёв А.А.. Разработка новой технологии дегазации резервуаров хранения светлых нефтепродуктов. Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences. – 2015. – Вып № III (8), (73). – С.94 – 98.
6. Назаров В.П., Киршев А.А. Вентиляция резервуаров перед ремонтными работами [Электронный ресурс: <http://ipb.mos.ru/ttb>]. "Технологии техносферной безопасности". Вып. № 4 (44) – 2012 г.
7. National Fire Protection Association. (2015). NFPA 30: Flammable and Combustible Liquids Code.
8. National Fire Protection Association. (2018). NFPA 1, Fire Code.
9. OSHA Permit-Required Confined Spaces Standard (29 CFR 1910.146).
10. Пузік С.О. Методика розрахунку процесу примусової вентиляції резервуарів від залишків рідких нафтопродуктів [Текст] / С.О. Пузік,

Б.О. Островський, Д.А. Комар // Вісник Національного авіаційного університету. Вип. 2 (55). – Київ: НАУ, 2013. – С. 109–113.

11. Липовий В.О. Дослідження можливих об'ємів утворення продуктів очищення резервуарів для зберігання нафти та нафтопродуктів з вмістом шкідливих речовин. / В.О. Липовий, М.М. Удянський // Збірник наукових праць ХУПС, Харків, ХУПС, 2014. – Вип. 4 (417). – С. 121–123.

12. Волков О.М. Пожарная безопасность резервуаров с нефтепродуктами. – М.: Недра, 1984. – 151 с.

13. Роянов О.М. Визначення впливу характеристик резервуарів на інтенсивність випаровування світлих нафтопродуктів під час проведення в них примусової вентиляції. [Текст] / Роянов О.М., Гарбуз С.В. Проблеми пожарной безопасности, Вып. 42. – Х: НУЦЗУ, 2017. – С. 110-114.

14. Shaik Usman Dowla, Dr. Nehal A Siddique, SMH.Parvase. Methods & Calculation Required for Ventilation in Confined Spaces IJSET – International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology, Vol. 2 Issue 10, October 2015.

*Отримано редколегією 13.03.2018*

В.В. Олейник, А.Н. Роянов

**Способ оценки остатков светлых нефтепродуктов во время проведения принудительной вентиляции резервуаров**

Предложен способ оценки остатков светлых нефтепродуктов в резервуарах во время проведения в них принудительной вентиляции с целью обеспечения пожаровзрывобезопасности ремонтных работ.

**Ключевые слова:** пожаровзрывобезопасность резервуаров, принудительная вентиляция.

V. Oliynik, A. Roianov

**Method for estimating residual light petroleum products during the forced ventilation of tanks**

During the operation of storage tanks for light oil products, there are always situations that require maintenance and repair work. The danger of such work is associated with the presence of both liquid residues of flammable liquids and with the presence of a medium saturated with vapors of such residues. In order to solve the research problem, the possibility of using optical sensors was considered. They use visible, infrared or laser light to detect the level of liquid. Such optical sensors can be used in contact and non-contact probing. Various liquids can be detected at different levels if several photocells are used. The paper considers the problem of ensuring high fire and explosion safety of storage tanks for light oil products during preventive and repair works and assessment of factors affecting the time of forced ventilation. The main stages of forced ventilation of reservoirs during tank cleaning are considered. A method is proposed for estimating residual light petroleum products in tanks during forced ventilation in order to ensure fire and explosion safety of repair works. Determination of the volume of liquid residues and sediment will also allow selection of the modes of operation of forced ventilation in order to change the time of forced ventilation, determine the amount of irreversible losses of oil products during the cleaning of the reservoir, and also estimate the volume and cost of cleaning operations when transferring the tank to a fireproof state for repair work.

**Keywords:** fire and explosion safety of tanks, forced ventilation.