

О.М. Роянов, к.т.н., ст. викладач, НУЦЗУ,  
Гарбуз С.В., к.т.н., викладач, НУЦЗУ

## ОЦІНКА ВПЛИВУ ТЕХНІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ РЕЗЕРВУАРІВ ЗБЕРІГАННЯ СВІТЛИХ НАФТОПРОДУКТІВ НА ЧАС ПРИМУСОВОЇ ВЕНТИЛЯЦІЇ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЇХ ПОЖЕЖОВИБУХОБЕЗПЕКИ ПЕРЕД РЕМОНТНИМИ РОБОТАМИ

(представлено д.т.н. Тарасенком О.А.)

Проведені дослідження, які відображають залежність режиму примусової вентиляції резервуарів зберігання світлих нафтопродуктів від технічних характеристик світлових люків.

**Ключові слова:** дегазація резервуарів, примусова вентиляція, рідкі залишки.

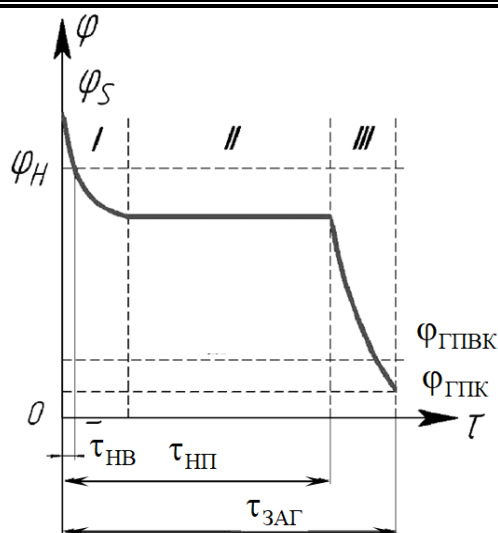
**Постановка проблеми.** Забезпечення експлуатаційної надійності резервуарів зберігання нафтопродуктів потребує дотримання правил їх технічної експлуатації, своєчасного контролю та ремонту. Ремонтні роботи в резервуарних парках необхідно проводити згідно вимог нормативних документів з метою забезпечення високого рівня пожежовибухобезпеки. Проведення ремонтних робіт в ємностях зберігання світлих нафтопродуктів потребує зачистки від їх залишків та відкладень [1]. Процес очищення резервуарів є поетапним. Одним з етапів очищення є примусова вентиляція, яка є багатопараметричним процесом [2-4]. Основною проблемою примусової вентиляції є зменшення часу, необхідного для досягнення пожежовибухобезпечних концентрацій парів легкозаймистих (ЛЗР) та горючих рідин (ГР) та визначення чинників, які на нього впливають [5].

**Аналіз останніх досягнень і публікацій.** Проведений огляд з питання забезпечення пожежовибухобезпеки ремонтних робіт на резервуарах зберігання світлих нафтопродуктів на цей час стає все актуальнішим та отримує значну увагу щодо досліджень [6, 7].

Так в роботі [5] було введено показник вірогідності правильного прийняття рішення на проведення регламентних робіт –  $P_{pp}$ , який характеризує правильність прийняття рішення про припинення примусової вентиляції за умов відсутності концентрації парів ЛЗР та ГР ( $\Phi_0$ ). Рішення про припинення приймається за умови мінімізації часу  $\tau_{i\delta_i}$  та витрат ( $B_{u_{зад}}$ ) на її проведення, а також з урахуванням параметрів навколишнього середовища, типу рідини, температури та швидкості повітря, вологості повітря, що подається до ємності

$$P_{DD} \left[ \Phi_0 \rightarrow \min; i\delta \in \left\{ \tau_{i\delta_i} \leq \tau_{i\delta_{max}} \right\} \right] \geq P_{i_i} \quad (1)$$

Як відомо [2], час примусової вентиляції складається з трьох етапів



**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

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

де  $V$  – об’єм резервуару,  $m^3$ ;  $q$  – продуктивність вентилятора,  $\frac{m^3}{c}$ ,  $\varphi_0$  – початкова концентрація парів у газовому просторі резервуару,  $\frac{кг}{m^3}$ ;  $M_0$  – початкова масова швидкість випаровування,  $\frac{кг}{c}$ ;  $\alpha$  – коефіцієнт, що враховує властивості нафтопродукту,  $\frac{1}{c}$  (визначається експериментально).

Час другого етапу вентиляції визначається виразом

$$\tau_2 = \frac{1}{\alpha} \cdot \ln \left| \frac{\frac{M_0 \cdot q}{\alpha(q - \alpha \cdot V)}}{\frac{M_0 \cdot q}{\alpha(q - \alpha \cdot V)} - G_0} \right|, \tag{3}$$

Час тривання останнього етапу примусової вентиляції обчислюється за виразом

$$\tau_3 = \frac{V}{q} \cdot \ln \frac{\frac{M_0 \cdot q}{q - \alpha \cdot V} - \frac{\alpha \cdot G_0}{q}}{\varphi_{без}}, \tag{4}$$

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

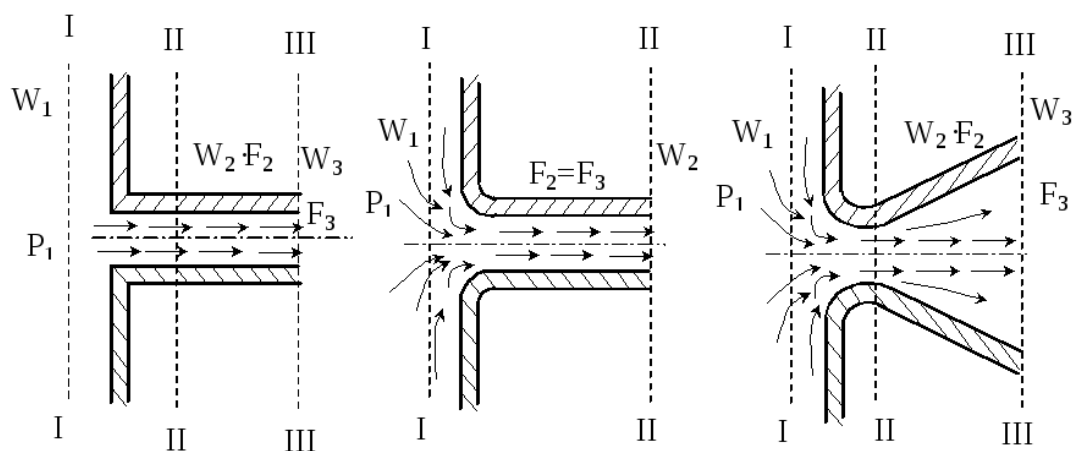
З формул (2-4) стає очевидним, що на час тривання примусової вентиляції на всіх трьох етапах оказують вплив об'єм резервуару, продуктивність вентилятора, початкова концентрація парів у газовому просторі резервуару, початкова маса, швидкість випаровування та властивості ЛЗР та ГР. В роботах [3-5] приділено увагу на можливість зміни часу примусової вентиляції у бік її зменшення за рахунок вибору певних параметрів: температури, швидкості припливного повітря та розмірів люків-лазів, до яких подається повітря.

**Постановка завдання та його вирішення.** Метою проведених досліджень було дослідити вплив технічних характеристик вертикальних сталевих резервуарів (РВС) на час проведення примусової вентиляції, а саме – геометричних розмірів світлових люків. При виготовленні РВС-5000 заводами-виробниками згідно опитувальних листів резервуари комплектуються світовим люками з характеристиками, зазначеними в табл. 1.

**Табл. 1. Характеристики світлових люків (ЛС)**

Найменування параметрів	ЛС-400	ЛС-500	ЛС-1000
Умовний прохід, DN	400	500	1000
Габаритні розміри, мм, не більше			
- діаметр люка зовнішній, мм	535	640	1175
- висота, Н, мм	462	565	603

З метою вивчення впливу технічних характеристик світового люку РВС-5000 на час примусової вентиляції розглянемо його як насадок на ємність з отвором. Насадком називають короткий патрубок, приєднаний до отвору в тонкій стінці або поверхні. Довжина насадку зазвичай складає 3–4 його діаметри. Кількість газу, що проходить через насадок, залежить від форми вхідних кромek та форм самого насадку. Розглянемо циліндричні насадки трьох видів (рис. 2).



**Рис. 2. Види циліндричних насадок**

Згідно закону Бернуллі розрахункові формули для визначення швидкості витоку парогазової суміші  $W$ (м/с) та розходу газу  $V$ (м<sup>3</sup>/с) мають вид

$$V = W_2 \cdot f, \quad (5)$$

$$V = \varphi \cdot \varepsilon \cdot f_0 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot (P_1 - P_2)}{\rho}} = \mu \cdot f_0 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot (P_1 - P_2)}{\rho}}, \quad (6)$$

де  $f$  – площа отвору в ємності,  $f_0$  – площа отвору насадка,  $\mu = \varepsilon \cdot \varphi$  – коефіцієнт витрат,  $\varepsilon = \frac{f}{f_0}$ ,  $\varphi$  – коефіцієнт швидкості, який враховує гідравлічний опір отвору,  $P_1$  – тиск всередині резервуару,  $P_2$  – тиск зовні резервуару (атмосферний).

У разі насадки з гострими кромками ( $\varepsilon=0,85$ ):

$$W_3 = 0,85 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot (P_1 - P_2)}{\rho}}. \quad (7)$$

$$V = 0,85 \cdot F_3 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot (P_1 - P_2)}{\rho}}. \quad (8)$$

У разі насадків із закругленими кромками та дифузора

$$V = F_3 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot (P_1 - P_2)}{\rho}}. \quad (9)$$

Для цих насадків за рахунок закруглених кромок в перетині III розмір потоку та отвору рівні один одному, тому  $\varepsilon=1,0$ . Порівняння формул (8) та (9) показує, що найбільша витрата при однаковому значенні  $P_1 - P_2$  і при однаковому мінімальному перетині насадків при витоку газоповітряної суміші через дифузор. Розширення в області стисненого перерізу потоку, що виходить з отвору, дозволяє збільшити так звану вакуумну порожнину. Це дає збільшення витрати до 45-50% [9].

В умовах примусової вентиляції в ємність нагнітається повітря з швидкістю від 2 до 10 м/с (при концентрації парів  $C \geq 2 \frac{\Gamma}{M^3}$ ) та 50 м/с (при концентрації парів  $C \leq 2 \frac{\Gamma}{M^3}$ ) [1]. Таким чином, потік повітря примусової вентиляції утворює надлишковий (динамічний) тиск в ємності при швидкості подачі повітря 50 м/с [8]

$$P_{\text{дин}} = \frac{\rho \cdot \omega^2}{2}, \quad (10)$$

де  $\omega$  – середня швидкість робочого середовища (м/с),  $\rho$  – щільність робочого середовища (кг/м<sup>3</sup>). Для випадку примусової вентиляції РВС-5000 після бензину А-95 щільність робочого середовища в ємності складатиме

$$\rho_r = \frac{M}{V_0 \cdot (1 + 0,00367t_p)} = \frac{113,3}{22,41 \cdot (1 + 0,00367 \cdot 25)} = 4,6 \text{ кг/м}^3, \quad (11)$$

де,  $M$  – молярна маса,  $\text{кг} \cdot \text{кмоль}^{-1}$ ;  $V_0$  – мольний об'єм, що дорівнює  $22,413 \text{ м}^3 \cdot \text{кмоль}^{-1}$ ;  $t_p$  – розрахункова температура,  $^{\circ}\text{C}$ .

Щільність вихідного потоку, що виходить назовні для бензину А-95 з урахуванням концентраційних меж поширення полум'я при температурі  $25^{\circ}\text{C}$  дорівнює

$$\rho_{\text{вих}} = \rho_{\text{б}} \cdot C_{\text{б}} + \rho_{\text{п}} \cdot C_{\text{п}} = 4,6 \cdot 0,05 + 1,184 \cdot 0,95 = 1,3548 \text{ кг/м}^3, \quad (12)$$

де  $\rho_{\text{б}}$  – щільність парів бензину,  $C_{\text{б}}$  – відсоток парів у ємності,  $\rho_{\text{п}}$  – щільність повітря,  $C_{\text{п}}$  – відсоток повітря у ємності.

Динамічний тиск в ємності складатиме

$$P_{\text{дин}} = \frac{\rho \cdot \omega^2}{2} = \frac{1,3548 \cdot 50^2}{2} = 1693,5 \text{ Па}.$$

Тоді згідно (7) швидкість витоку парогазової суміші буде дорівнювати  $42,5 \text{ м/с}$ .

Таким чином, стає очевидним, що під час примусової вентиляції виникає супротив повітряному потоку, який подається до ємності: нагнітається повітря зі швидкістю  $50 \text{ м/с}$  (при концентрації парів  $C \leq 2 \frac{\Gamma}{\text{М}^3}$ ), а може виходити з ємності пароповітряна суміш тільки зі швидкістю  $42,5 \text{ м/с}$ , тобто падіння швидкості складає  $15 \%$ . Згідно (2) – (4) падіння швидкості призводить до збільшення середньої тривалості часу примусової вентиляції на  $15\text{-}20 \%$ , що на практиці може відповідати близько  $2\text{-}3$  діб.

Для визначення можливих шляхів розв'язання цієї задачі слід звернутися до формул (5) та (6). Аналіз показав, що параметри, які впливають на швидкість витоку парогазової суміші, тобто на час примусової вентиляції, залежать від швидкості потоку, що нагнітається, та фізичних характеристик насадку (світлового люку). Основне значення, що характеризує насадок, є коефіцієнт витрат.

Коефіцієнт витрат  $\mu$ , залежить від відносної довжини насадку  $\frac{\ell}{d}$  та числа Рейнольдса, визначається за емпіричною формулою [9]

$$\mu = \frac{1}{1,23 + \frac{58}{\text{Re}} \cdot \frac{\ell}{d}}, \quad (13)$$

де  $\ell$  – довжина насадку,  $d$  – діаметр насадку,  $\text{Re}$  – число Рейнольдса (в умовах круглих сталених неполюрованих труб для розрахунків можна обирати в інтервалі від  $2000$  до  $3000$ ).

В результаті досліджень були розраховані значення коефіцієнтів витрат для стандартних ЛС згідно табл. 1 (табл. 2).

**Табл. 2. Коефіцієнти витрат ЛС**

Найменування параметрів	ЛС-400	ЛС-500	ЛС-1000
Габаритні розміри, мм, не більше			
- діаметр люка зовнішній, мм	535	640	1175
- висота, Н, мм	462	565	603
$\mu$ , (Re=2000)	0,7966747	0,796305	0,782416
$\mu$ , (Re=3000)	0,8020458	0,801796	0,792354

Аналіз отриманих значень показує, що вибір типу ЛС впливає на величину коефіцієнту витрат: збільшення діаметру ЛС тягне за собою зменшення коефіцієнту витрат. В свою чергу, це призводить до зменшення швидкості витoku парогазової суміші, яка характеризує витрати ( $\hat{A}_{u_{\text{газ}}}$ ) (1) та час  $\tau$  (2-4) примусової вентиляції.

**Висновки.** Проведені розрахунки показали, залежність протікання режиму примусової вентиляції резервуарів РВС-500 від технічних характеристик світлових люків, а саме діаметру та висоти. Розрахунок необхідного типу світлового люка для РВС-500 дозволить підвищити швидкість витoku залишків парів бензину на 15-20%, а отже, доволить зменшити час примусової вентиляції.

## 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. Волков О.М. Пожарная безопасность резервуаров с нефтепродуктами. – М.: Недра, 1984. – 151 с.
3. 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. Проблемы пожарной безопасности. // Проблемы пожарной безопасности. – Х.: НУГЗУ, 2018. – Вып. 42. 194 с. – С. 110–114.
4. Роянов О.М. Спосіб оцінки залишків світлих нафтопродуктів під час проведення примусової вентиляції резервуарів [Текст] / В.В. Олійник, О.М. Роянов // Проблемы пожарной безопасности. – Х.: НУГЗУ, 2018. – Вып. 43. 198 с. – С.129-135.
5. Роянов О.М. Дослідження впливу параметрів примусової вентиляції на пожежовибухонебезпеку резервуарів під час їх виведення на ремонтні та регламентні роботи [Текст] / О.М. Роянов, О.О. Тесленко, О.Є. // Проблемы пожарной безопасности : Сб. науч. тр. Вып. 40 . 2016 . 210 с. – С. 147 – 152.
6. Липовий В. О. Дослідження можливих об'ємів утворення продукту

ктів очищення резервуарів для зберігання нафти і нафтопродуктів з вмістом шкідливих речовин [Текст] / В. О. Липовий, М. М. Удянський // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. Вип. 4. – Харків: ХУПС, 2014. – С. 121-123.

7. 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.

8. [Електронний ресурс]// Режим доступу [http://intech-gmbh.ru/radial\\_fan\\_with\\_motor/](http://intech-gmbh.ru/radial_fan_with_motor/).

9. Альтшуль А.Д., Гидравлика и аэродинамика / А.Д. Альтшуль, П.С. Шивотовский, П.П. Иванов – М.: Стройиздат. – 1987. – 414 с.

*Отримано редколегією 04.10.2018*

О.М. Роянов, С.В. Гарбуз

**Оценка влияния технических параметров резервуаров хранения светлых нефтепродуктов на время принудительной вентиляции для обеспечения их пожаровзрывобезопасности перед ремонтными работами**

Проведены исследования, отображающие зависимость режима принудительной вентиляции резервуаров хранения светлых нефтепродуктов от технических характеристик световых люков.

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

A. Roianov, S. Garbuz

**Evaluation of the impact of technical parameters of light non-oil products storage tanks on the forced ventilation time to ensure their fire and explosion safety before repair work**

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.

The main problem of compulsory ventilation is the reduction of the time required to reach the fire and explosion-proof concentrations of flammable vapor and combustible liquids and to determine the factors affecting it.

The conducted survey on fire safety of repair works at the storage tanks of light petroleum products at this time is becoming more and more relevant and receives considerable attention to research.

The purpose of the research was to investigate the effect of the technical characteristics of vertical steel tanks on the time of compulsory ventilation, namely, the geometric dimensions of the light hatches.

The study showed that during forced ventilation resistance to the air flow, which is fed into the vessel, occurs. This leads to a decrease in the efficiency of the forced ventilation process.

The performed calculations showed the dependence of the regime of forced ventilation of the tanks on the technical characteristics of the light hatches, namely diameter and height. The calculation of the required type of light hatch for the tanks will increase the rate of evaporation of the residues of gasoline vapor by 15-20%, and consequently, will reduce the time of forced ventilation.

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