

# Запобігання та ліквідація надзвичайних ситуацій

УДК 504.05.662

DOI: 10.30748/zhups.2018.55.21

Б.Д. Халмурадов<sup>1</sup>, С.В. Гарбуз<sup>2</sup>, Е.А. Дармофал<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Національний авіаційний університет, Київ

<sup>2</sup> Національний університет цивільного захисту України, Харків

<sup>3</sup> Харківська державна академія фізичної культури, Харків

## ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ВЕНТИЛЯЦІЇ РЕЗЕРВУАРІВ ІЗ ЗАЛИШКАМИ НАФТОПРОДУКТІВ ПРИ РІЗНИХ МЕТОДАХ ПОДАЧІ ПОВІТРЯ

На підставі теоретичного й експериментального дослідження підтверджені закономірності процесу вентиляції резервуара із залишками світлих нафтопродуктів. Обґрунтована методика моделювання процесів вентиляції резервуарів із залишками однокомпонентних і багатокомпонентних рідин, а також процесів дегазації. При моделюванні процесів вентиляції резервуарів із залишками однокомпонентних і багатокомпонентних рідин припустиме використання однакових методик.

**Ключові слова:** вентиляція резервуарів, світлі нафтопродукти, математичне моделювання.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Інтенсивність перенесення маси парів, що виділяються з нафти в резервуарі, істотно відрізняється від процесу випаровування нафти у відкритих просторах. Різниця концентрацій цих парів поблизу поверхні і відстані від неї поступово зменшується, що призводить до зменшення швидкості масопереносу і установаження в ряді випадків динамічної рівноваги між рідиною і парами. Явище ускладнюється тим, що нафтопродукт є багатокомпонентною середовищем зі змінним складом в часі і просторі. У рідкій фазі містяться розчинні газові компоненти, які виділяються при зміні зовнішніх умов [1]. Автори [2–3] справедливо підкреслюють наближеність відомих математичних моделей випаровування і дегазації нафти. Однак для створення сучасних імітаційних моделей все ж доводиться розробляти і уточнювати математичні моделі про процесу масопереносу в резервуарах. По суті, відбувається про процес накопичення інформації, а одержувані емпіричні і напівемпіричні (засновані на законах збереження і законах тепломасопереносу) моделі повинні доповнюватися і уточнюватися по мере накопичення нових досвідчених даних, отриманих в модельних і натурних умовах.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Обговорення означеної проблеми у сучасній науковій та публіцистичній літературі ведеться достатньо широким колом як вітчизняними так і закордонними науковцями [2–11].

### Виклад основного матеріалу

**Результати дослідження.** Для визначення пожежовибухонебезпеки нафтових резервуарів при прове-

денні вентиляції проводилися лабораторні й промислові дослідження. Усі дослідження виконувалися у світлий час доби та при відсутності грозових й передгрозових метеоумов. Температура зовнішнього повітря: в межах 20–27° С. Під час вимірювання рухливості повітря за допомогою термоанемометра «ТКА-ПКМ» швидкість припливного повітря (в м/с) відображалася на цифровому дисплеї анемометра.

При різних способах подачі припливного повітря в простір експериментальних резервуарів проводилися виміри втрати маси горючими й легкозаймистими рідинами. Для точності вимірів втрати маси при вентиляції експериментальних резервуарів експеримент проводився також на воді. Обробка дослідних даних по втраті маси рідинами в процесі вентиляції проводилася в середніх відносних значеннях величин маси. Відносне значення втрати маси рідиною виражається в такий спосіб:

$$\bar{m} = \frac{m_i}{m_{ж}}, \quad (1)$$

де  $m_i$  – маса рідини в  $i$ -ю одиницю часу, г;  $m_{ж}$  – маса рідини, залитої в експериментальну ємність, г.

Результати досліджень свідчать про те, що зміни відносних значень втрати маси для багатокомпонентних рідин (а саме – дизельне паливо та бензини) у вентильованих резервуарах не є лінійними. При цьому швидкість зміни відносних значень втрати маси для запропонованого ежекторно-вихрового способу подачі повітря для всіх досліджуваних рідин суттєво вище, ніж при інших способах організації вентиляції.

Визначення розрахункових величин втрати маси рідинами при вентиляції експериментальних резервуарів.

Для порівняння даних щодо втрати маси рідини у внутрішньому просторі резервуарів при їх вентиляції, отриманих експериментальним шляхом, з розрахунковими даними були проведені розрахунки за відомими та широко вживаними формулами.

1. Маса рідини, що випарувалася,  $m$ :

$$m = W \cdot F_u \cdot T, \quad (2)$$

де  $W$  – інтенсивність випару,  $\text{кг} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{м}^{-2}$ ;  $F_u$  – площа випару,  $\text{м}^2$ ;  $T$  – час випару,  $\text{с}$  (1 год. = 3600 с).

2. Інтенсивність випару  $W$ :

$$W = 10^{-6} \cdot \eta \cdot \sqrt{\mu} \cdot P_s, \quad (3)$$

де  $\eta$  – коефіцієнт, прийнятий залежно від швидкості й температури повітряного потоку над поверхнею випару;  $\mu$  – молярна маса рідини,  $\text{м}^3 \text{кмоль}^{-1}$ ;  $P_s$  – тиск насиченої пари при розрахунковій температурі рідини  $t_p$ , кПа.

Коефіцієнт  $\eta$  розраховується в залежності від низки параметрів повітряного потоку. Деякі його значення представлені в табл. 1.

Таблиця 1

Значення коефіцієнта  $\eta$  в залежності від швидкості й температури повітряного потоку

Швидкість повітряного потоку в приміщенні, м/с	Значення коефіцієнта $\eta$ при різних температурах повітря в приміщенні (в °С)				
	10	15	20	30	35
0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
0,1	3,0	2,6	2,4	1,8	1,6
0,2	4,6	3,8	3,5	2,4	2,3
0,5	6,6	5,7	5,4	3,6	3,2
1,0	10,0	8,7	7,7	5,6	4,6

Значення коефіцієнта  $\eta$ , які не визначені в табл. 1, визначаємо методом найменших квадратів [4]. Графік значень коефіцієнта  $\eta$  залежно від швидкості повітряного потоку над поверхнею випару при температурі 26 °С представлений на рис. 1.

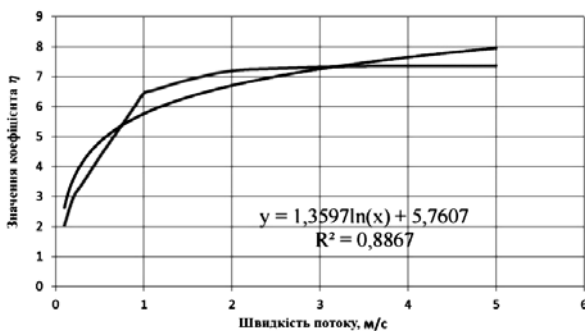


Рис. 1. Графік зміни коефіцієнта  $\eta$  залежно від швидкості повітряного потоку

3. Тиск насиченої пари:

$$\lg P_s = A - \frac{B}{C + t_p}, \quad (4)$$

де  $A, B, C$  – константи рівняння Антуана (за довідковим даними), кПа;  $t_p$  – розрахункова температура повітря, °С.

Для нафтопродуктів, що перебувають поза температурним інтервалом, тиск насиченої пари, кПа, визначають за формулою [5]:

$$P_s = \frac{\exp[6,908 + 0,0443 \cdot (t_p - 0,924 \cdot t_{\text{всп}} + 2,055)]}{1047 + 7,48 \cdot t_{\text{всп}}}, \quad (5)$$

де  $t_{\text{всп}}$  – температура спалаху, °С.

Відповідно до [6] тиск насиченої пари води дорівнює 0,03 атм. (або 3,03 кПа).

Ефективність способів вентиляції. Отже, при вентиляції газового простору всередині резервуара можна використовувати будь-які способи подачі припливного повітря у внутрішній простір резервуара. Ефективність способів вентиляції оцінюється шляхом порівняння середньооб'ємних втрат маси рідини при однакових параметрах подачі припливного повітря. Другий параметр ефективності – це матеріальні витрати.

Було встановлено [7], що для вертикального резервуара без понтона зміна схеми подачі повітря незначно впливає на ефективність вентиляції. З отриманих у дисертаційній роботі даних вбачається, що способи вентиляції внутрішнього простору резервуара мають істотне значення. Результати експериментальних досліджень відносних значень швидкостей повітря у внутрішньому просторі резервуара й часток, що випарувалися з рідин при однакових витратах повітря, наведені в табл. 2.

Таблиця 2

Результати експериментальних досліджень відносних значень швидкостей повітря у внутрішньому просторі резервуара й часток, що випарувалися з рідин при однакових витратах повітря

Номери схем подачі повітря	Відносна швидкість повітря	Частки, що випарувалися з рідини			
		вода	диз-паливо	бензини А-92/95	толуол
1 – інноваційна	2,4	0,08	0,08	0,63	0,7
2 – назустріч	1,8	0,01	0,01	0,35	0,32
3 – традиційна	1	0,02	0,02	0,25	0,11
4 – змішана	1,9	0,01	0,01	0,34	0,15

З даних табл. 2 видно, що при ежекторно-вихровому способі подачі повітря у внутрішній простір резервуара відносна швидкість в 2,4 рази вища, ніж при організації подачі припливного повітря традиційним способом. При цьому частка рідини, що випарувалася, більша в 4 рази для води й дизпалива, в 2,52 – для бензинів, й в 6,3 – для толуолу при однаковій витраті повітря.

Узагальнення результатів досліджень процесу конвективного масообміну. Забезпечення пожежовибухобезпеки при проведенні вентиляції резервуарів також може здійснюватися насиченням їх газового простору вище верхньої концентраційної межі поширення полум'я при витіканні вільного струменя нафти.

У роботі запропонована методика оцінки динаміки зміни концентрації парів у резервуарі при витіканні вільних струменів повітря. Для визначення динаміки зміни концентрації парів у резервуарі при конвективному масообміні проводилися лабораторні експерименти. Для досліджень була обрана однокомпонентна рідина – толуол і багатоконцентні нафтопродукти – дизельне паливо та бензини. Для «чистоти» експерименту дослідження із втрати маси рідинами при примусовій вентиляції резервуара проводилися на воді.

Перед проведенням експериментів за допомогою анемометра замірялась швидкість потоків повітря всередині резервуара в чотирьох режимах.

Для визначення концентрації домішок вибухонебезпечних речовин в газовому просторі вентиляваного резервуара необхідно знати інтенсивність випару (потік маси) нафтопродукту, що знаходиться в середині резервуара. Математичну обробку даних проводили у вигляді залежності:

$$\pi_p = f(\text{Re}, \text{Pr}, \pi_d, \mu), \quad (6)$$

де  $\pi_p = \frac{j_l}{\rho v}$  – число, що враховує поперечний потік маси.

У роботі [7] була визначена емпірична формула для резервуарів:

$$\pi_p = 0,065 \cdot \text{Re}^{0,8} \cdot \text{Pr}_d \cdot \theta^2 \cdot \pi_d \cdot \mu^{0,5}. \quad (7)$$

Інтенсивність випару в тій же роботі він визначає як:

$$M_0 = 0,065 \cdot \frac{\rho \cdot v \cdot F_u \cdot F_0}{V} \cdot \text{Re}^{0,8} \cdot \text{Pr}_d \cdot \pi_d \cdot \mu^{0,5}; \quad (8)$$

$$\text{Pr}_d = \frac{v}{D_t}; \quad (9)$$

$$D_t = D_0 \cdot \left( \frac{T}{273} \right)^n, \quad (10)$$

де  $D_0$  – значення коефіцієнта дифузії [8],  $\text{m}^2/\text{c}$ ;  $T_b$  – температура навколишнього повітря, К;  $n$  – показник ступеня, прийнятий відповідно до довідкової літератури.

Відносна експериментальна інтенсивність випарів досліджуваних рідин у схемах вентиляції експериментального стенда розраховані у вигляді

$\frac{W_3}{\sqrt{\mu} \cdot P_s}$  в залежності від коефіцієнта дифузії  $D_t$  і чи-

сла подоби Прандтля дифузійного  $\text{Pr}_d$ . Результати представлені на рис. 2 та 3.

Концентрацію насичених парів визначаємо як:

$$\pi_d = \frac{P_s}{P_0}. \quad (11)$$

Тиск насичених пар визначаємо з рівняння Антуана:

$$P_s = 10^{A - \frac{B}{C+t}}. \quad (12)$$

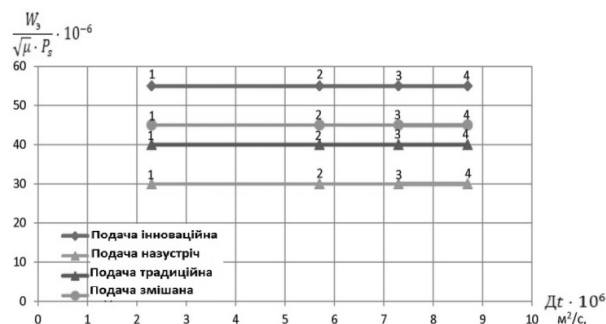


Рис. 2. Залежність відносної інтенсивності випару від коефіцієнта дифузії: 1 – вода; 2 – дизпаливо; 3 – бензини; 4 – толуол

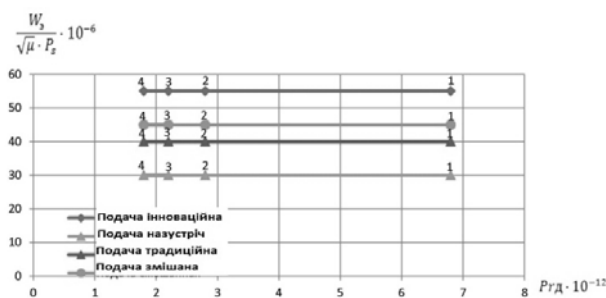


Рис. 3. Залежність відносної інтенсивності випару від числа Прандтля дифузійного: 1 – вода; 2 – дизпаливо; 3 – бензини; 4 – толуол

Відносну молекулярну масу:

$$\mu^{0,5} = \left( \frac{M}{M_B} \right)^{0,5}. \quad (13)$$

Щільність і коефіцієнт кінематичної в'язкості повітря:

$$\rho_B = \frac{353}{T_B}; \quad (14)$$

$$v = [14,7 + 0,09 \cdot (T_B - 283)] \cdot 10^{-6}. \quad (15)$$

Число Рейнольдса визначаємо по стандартній формулі:

$$\text{Re} = \frac{\omega \cdot l}{v}, \quad (16)$$

де  $l$  – характерний лінійний розмір об'єкту,  $l = \frac{V}{F_0}$ .

Загальна площа поверхонь резервуара:

$$F_0 = F_d + F_k + F_{б.п.}, \quad (17)$$

де  $F_d$  – площа днища,  $\text{m}^2$ ;

$F_k$  – площа даху,  $\text{m}^2$ ;

$F_{б.п.}$  – площа бічної поверхні,  $\text{m}^2$ .

Середню рухливість повітря в резервуарі визначаємо по формулі В.М. Эльтермана [9]:

$$\omega = 0,7 \cdot \varepsilon_n^{1/3} \cdot \left( \frac{V}{F_0} \right)^{1/3}, \quad (18)$$

де  $\varepsilon_n$  – енергія припливного струменя;  $V$  – об’єм резервуара, м<sup>3</sup>;  $F_0$  – загальна площа поверхні резервуара, м<sup>2</sup>.

Енергія припливного струменя:

$$\varepsilon_n = \frac{f_{\Pi} \cdot v_{\Pi}^3}{2V}, \quad (19)$$

де  $f_{\Pi}$  – площа припливного отвору, м<sup>2</sup>;  $v_{\Pi}$  – швидкість подачі повітря в припливний отвір, м/с.

Швидкість подачі повітря та площа припливного отвору відповідно:

$$v_{\Pi} = \frac{q}{f_{\Pi}}; \quad (20)$$

$$f_{\Pi} = 0,785 \cdot d_{\text{пр.от}}^2, \quad (21)$$

де  $d_{\text{пр.от}}$  – діаметр припливного отвору, м.

Інтенсивність випару рівна:

$$W = \frac{M_0}{F_u}. \quad (22)$$

Коефіцієнт нерівномірності розподілу концентрацій визначається по формулі [8]:

$$\eta = 0,48 \cdot \left( \frac{q}{V} \right)^{0,132}. \quad (23)$$

Відповідно до існуючих методик інтенсивність випару визначається як:

$$W = 10^{-6} \cdot \eta \cdot \sqrt{\mu \cdot P_s}. \quad (24)$$

А маса рідини, що випарувався, як:

$$m = W \cdot F_u \cdot T. \quad (25)$$

Результати розрахунків та отримані експериментальні значення середньої рухливості повітря при різних способах подачі припливних струменів у внутрішньому просторі резервуарів наведено в табл. 3.

Таблиця 3

Середня рухливість повітря всередині резервуарів

Схема подачі струменя припливного повітря	ЕР		ЕНПС	
	ω розрахунки	ω експеримент	ω розрахунки	ω експеримент
1 – інноваційна	0,55	2,9	0,23	0,88
2 – назустріч	0,60	3,5	0,21	0,70
3 – традиційна	0,50	2,7	0,11	0,42
4 – змішана	0,57	3	0,22	0,74

З отриманих результатів випливає, що при вентильованні резервуарів із залишками однокомпонентних рідин, значення інтенсивності випару в часі прагнуть до стаціонарності. При вентиляції резерву-

арів з залишками багатокомпонентних рідин для всіх схем подачі повітря експериментальні інтенсивності випарів змінюються в часі залежно від зміни властивостей цих рідин, тобто процес масообміну не є стаціонарним.

Результати досліджень показали, що визначені в ході експерименту швидкості повітря значно вищі, ніж швидкості повітря, що розраховані по формулі (20). Це вимагає коректування розрахункових формул.

Складність компонентного состава нафтопродуктів визначає складність протікання процесів конвективного масообміну. В процесі випару нафтопродуктів відбувається безперервна зміна властивостей газової (парової) та рідкої фаз, зміна тиску насичених парів, молекулярної маси, в'язкості, фракційного состава, інших властивостей. Постійна зміна в часі властивостей нафтопродуктів обумовлює нестаціонарність процесу конвективного масообміну. Результати досліджень по зміні властивостей нафтопродуктів у процесі випару досить докладно описані в роботі В.П. Назарова [7]. При розрахунках втрат нафтопродуктів від випарів тиск насиченої пари зазвичай визначають по виведеній ним же формулі [10]:

$$P_s = P_{SO} e^{-KG}, \quad (26)$$

де  $P_{SO}$  – вихідний тиск насичених парів;

$K$  – коефіцієнт, що залежить від властивостей рідини.  $K$  для бензинів становить:

$$K \approx 0,188(t_{20} - t_{\text{нк}}) \approx 0,376(t_{10} - t_{\text{нк}}). \quad (27)$$

Молекулярна маса нафтопродуктів збільшується в процесі його випару. Для бензинів молекулярну масу можна визначити за допомогою емпіричних формул [10]:

$$\mu = 45 + 0,6t_{\text{нк}}; \quad (28)$$

$$\mu = 50 + \frac{6000}{P_{20}}, \quad (29)$$

де  $t_{\text{нк}}$  – температура початку кипіння бензину;

$P_{20}$  – тиск насичених парів при температурі 20° С.

В.П. Назаров [10] установив, що формула (26) цілком прийнятна для розрахунків процесу повного випару нафтопродуктів. Результати його досліджень [7; 10] дозволяють зробити висновок про можливість використання емпіричних формул для розрахунків молекулярної маси й тиску насичених парів. Шляхом підстановки значень температури википання тієї або іншої частки бензину розраховуємо необхідні данні щодо втрат нафтопродуктів:

$$P_s = a \cdot e^{b(t-t_{\text{нк}})}. \quad (30)$$

Порівняння даних розрахунків молекулярної маси по формулі (26) для бензину, з даними експерименту по визначенню зміни молекулярної маси в процесі випару, проведені В.П. Назаровим [7], показали, що дані дослідів і розрахунків узгоджуються. Спираючись на проведені дослідження В.П. Назарова [10], можна зробити висновок про коректність

використання при обробці дослідних даних по конвективному масообміну  $\mu$  формули (24), а по втра-там нафтопродуктів  $P_s$  – формули (26).

Безперервна зміна властивостей бензину в процесі випарювання обумовлює зменшення коефіцієнта масопереносу, рушійної сили масопереносу та дифузійних чисел  $P_{r_d}$ ,  $Nu_d$ ,  $\pi_d$ ,  $\pi_r$ .

Спираючись на роботи [7; 10] в ході дослідження встановлено, що найбільш різко в процесі випару бензину змінюються рушійна сила масопереносу й чисел подоби  $\pi_d$  та  $\pi_r$ . Досить незначно змінюються відношення  $\frac{\phi_{пп}}{\phi_s}$  й дифузійне число  $P_{r_d}$ .

Зміна рушійної сили масопереносу й чисел  $\pi_d$  та  $\pi_r$  підкоряються експонентному закону.

## Висновки

У процесі випару нафтопродуктів збільшується щільність, в'язкість, і поверхневий натяг. У дослідженні [11] встановлено, що при випарі 90 % об'єму бензину його кінематична в'язкість підвищується на 15 %, а поверхневий натяг на 10 %. А щільність бензину в процесі його випару збільшується не більше ніж на 10 % [10].

Отже, результати теоретичних і експериментальних досліджень довели, що найбільше суттєво в процесі випару змінюється тиск насичених парів і молекулярна маса нафтопродукту.

## Список літератури

1. Кузнецов Е.В. Методы сокращения потерь светлых нефтепродуктов при проведении технологических операций на нефтебазах / Е.В. Кузнецов // ГИАБ. – 2008. – № 2-1. – С. 316-322.
2. Исследование состояния днища вертикального стального резервуара, анализ методик диагностики его состояния и выявления причин его деформации / П.В. Бурков, С.П. Буркова, В.Ю. Тимофеев, А.А. Алешкина, А.А. Ащеулова // Вестник КузГТУ. – 2013. – № 4 (98). – С. 79-81.
3. Молчанов О.В. Метод определения технологических потерь нефтепродуктов при приеме в резервуары / О.В. Молчанов, С.В. Старый, М.В. Новиков // Научный вестник МГТУ ГА. – 2012. – № 183.
4. Черненко В.Д. Высшая математика в примерах и задачах: учеб. пос. для вузов. В 3 т.: Т. 3 / В.Д. Черненко. – СПб.: Политехника, 2003. – 476 с.
5. Сучков В.П. Методы оценки пожарной опасности технологических процессов: практикум: учеб.-метод. пособ. / В.П. Сучков. – М.: Академия ШПС МЧС России, 2010. – 155 с.
6. Варгафтик Н.Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей / Н.Б. Варгафтик. – М.: Старс, 2006. – 720 с.
7. Назаров В.П. Очистка резервуаров от остатков светлых нефтепродуктов перед проведением огневых ремонтных работ: дис. ... канд. техн. наук : 05.26.01 / В.П. Назаров. – М., 1980. – 238 с.
8. Горячев С.А. Задачник по курсу пожарная профилактика технических процессов / С.А. Горячев, В.С. Кубань. – М.: ВИПТШ МВД РФ, 1996. – 121 с.
9. Эльтерман В.М. Вентиляция химических производств / В.М. Эльтерман. – М.: Химия, 2001. – 238 с.
10. Назаров В.П. Пожаровзрывобезопасность предремонтной подготовки и проведения огневых работ на резервуарах: дис. ... докт. техн. наук: 05.26.03 / В.П. Назаров. – М., 1995. – 444 с.
11. Ирисов А.С. Испаряемость топлив для поршневых двигателей и методы его исследования / А.С. Ирисов. – М.: Госоптехиздат, 1955. – 306 с.
12. Самойлов Н.А., Математическое моделирование испаряемости нефти и нефтепродуктов при их аварийных разливах / Н.А. Самойлов, А.А. Да Консейсао // Известия Самарского научного центра РАН. – 2010. – № 1-9. – С. 2251-2254.

## References

1. Kuznetsov, E.V. (2008), "Metody sokrachnija poter svetlykh nefteporoduktov pri provedenii tekhnologicheskikh operatsij na neftebazakh" [Methods for reducing the losses of light oil products in the course of technological operations at oil depots], *Mining information and analytical bulletin* (scientific and technical journal), No. (2-1), pp. 316-322.
2. Burkov, P.V., Burkova, S.P., Timofeev, V.Yu., Aleshkina, A.A. and Ascheulova, A.A. (2013), "Isledovanie sostojanija dnicha vertikalnogo stalnogo rezervuara, analiz metodik diagnostiki ego sostojanija i vyjavlenie prichyn ego deformacii" [Investigation of the bottom condition of a vertical steel tank, an analysis of the methods for diagnosing its state and identifying the causes of its deformation], *Bulletin of the Kuzbass State Technical University*, No. 4 (98), pp. 79-81.
3. Molchanov, O.V., Stary, S.V. and Novikov, M.V. (2012), "Metod opredelenia tekhnologicheskikh poter nefteproduktov pri prieme v rezervuary" [Method for determining the technological losses of petroleum products when taken into reservoirs], *Scientific Bulletin of the Moscow State Technical University of Civil Aviation*, No. 183, pp. 88-91.
4. Chernenko, V.D. (2003), "Vysshaja matematyka v primerakh i zadachakh: uchebnoe posobie dla VUZOV" [Higher mathematics in examples and tasks: study. allowance for high schools], St. Petersburg, Polytechnic, 476 p.
5. Suchkov, V.P. (2010), "Metody otsenki pozarnoj opasnosti tekhnologicheskikh protsesov: Praktikum" [Methods for assessing the fire hazard of technological processes: Workshop: teaching method. allowance], Academy of ShPS of the Ministry of Emergency Measures of Russia, Moscow, 155 p.
6. Vargaftik, N.B. (2006), "Spravochnik po teplofizicheskim svojstvam gazov i zydkostej" [Handbook of thermophysical properties of gases and liquids], Stars, Moscow, 720 p.
7. Nazarov, V.P. (1980), "Ochistka rezervuarov ot ostatkov svetlykh nefteproduktov pered provedeniem ognevnykh rabot: dissertatsion" [Cleaning of tanks from the remains of light oil products before the fire repair works: dissertation], Moscow, 238 p.

8. Goryachev, S.A. (1996) "Zadachnik po kursu pozarnaja profilaktika tekhnicheskikh protsesov" [Task on the course of fire prevention of technical processes], Kuban, Moscow, 121 p.
9. Elterman, V.M. (2001), "Ventiljatsija khimicheskikh proizvodstv" [Ventilation of chemical industries], Chemistry, Moscow, 238 p.
10. Nazarov, V.P. (1995), "Pozarovzryvobezopasnost predremontnoj podgtovki I provedenie ognevnykh rabot na rezervuarakh: dissertacija" [Fire and explosion safety of pre-repair preparation and carrying out of fire works on tanks: dissertation], Moscow, 444 p.
11. Irisov, A.S. (1955), "Isporjaemost topliv dlja porshnevnykh dvigatelej I metody ego issledovanija" [Evaporability of fuels for reciprocating engines and methods of its investigation], Gostoptekhizdat, Moscow, 306 p.
12. Samoilov, N.A. and Da Conseisao, A.A. (2010), "Matematicheskoe modelirovanie isparjaemosti nefi i nefteproduktov pri ikh avarijnnykh razlivakh" [Mathematical modeling of volatility of oil and oil products during their emergency spills], *Izvestiya of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*, No. 1-9, pp. 2251-2254.

Надійшла до редколегії 9.02.2018  
Схвалена до друку 20.02.2018

#### Відомості про авторів:

##### Халмурадов Батир Данатарович

кандидат медичних наук доцент  
доцент Національного авіаційного університету,  
Київ, Україна  
<https://orcid.org/0000-0003-2225-6528>  
e-mail: batyrk@ukr.net

##### Гарбуз Сергій Вікторович

викладач Національного університету  
цивільного захисту України,  
Харків, Україна  
<https://orcid.org/0000-0001-6345-6214>  
e-mail: sgarbuz65@gmail.com

##### Дармофал Елеонора Анатоліївна

старший викладач  
Харківської державної академії фізичної культури,  
Харків, Україна  
<https://orcid.org/0000-0001-9868-0486>  
e-mail: elyadarmofal@gmail.com

#### Information about the authors:

##### Batyr Khalmuradov

Candidate of Medical Sciences Associate Professor  
Senior Lecturer of National Aviation University,  
Kyiv, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0003-2225-6528>  
e-mail: batyrk@ukr.net

##### Sergey Garbuz

Instructor of National University  
of Civil Protection of Ukraine,  
Kharkiv, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0001-6345-6214>  
e-mail: sgarbuz65@gmail.com

##### Eleonora Darmofal

Senior Instructor  
Kharkiv State Academy of Physical Culture,  
Kharkiv, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0001-9868-0486>  
e-mail: elyadarmofal@gmail.com

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВЕНТИЛЯЦИИ РЕЗЕРВУАРОВ С ОСТАТКАМИ НЕФТЕПРОДУКТОВ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДАХ ПОДАЧИ ВОЗДУХА

Б.Д. Халмурадов, С.В. Гарбуз, Е.А. Дармофал

На основании теоретического и экспериментального исследования подтверждены закономерности процесса вентиляции резервуара с остатками светлых нефтепродуктов. Обоснованная методика моделирования процессов вентиляции резервуаров с остатками однокомпонентных и многокомпонентных жидкостей, а также процессов дегазации. При моделировании процессов вентиляции резервуаров с остатками однокомпонентных и многокомпонентных жидкостей допустимо использование одинаковых методик.

**Ключевые слова:** вентиляция резервуаров, светлые нефтепродукты, математическое моделирование.

### EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE PROCESS OF VENTILATION OF RESERVOIRS WITH OIL PROPERTIES AT DIFFERENT WAYS OF SUBSTANCE OF AIR

B. Khalmuradov, S. Garbuz, E. Darmofal

The object of the study is the methods of modeling the processes of ventilation of the above-ground vertical steel reservoir. The tank is used to store light petroleum products (gasoline, diesel fuel, kerosene). One of the most problematic places in this operation is the extremely high level of explosion and fire hazard, and therefore, a significant danger to the life and health of people in the zone of influence of the revivers. During the forced ventilation of the reservoir (VST-5000 1,5 tons), a couple of petroleum products fall into the atmosphere. To minimize this disadvantage, the application of the technology of absorption-condensation recovery of petroleum vapor, whose efficiency reaches 99%, is proposed in this document. The use of the ejector air supply during forced ventilation of tanks with the subsequent capture of oil vapor through the absorption and condensation means provides for the prevention of such a risk. The maintenance of petroleum products is subject to further use, which provides additional income. On the basis of theoretical and experimental research confirmed the regularities of the process of ventilation of the tank with residual light petroleum products. The method of modeling the processes of ventilation of tanks with residues of one-component and multi-component liquids, as well as degassing processes, is substantiated. In the simulation of the processes of ventilation of tanks with residues of single-component and multi-component liquids it is possible to use the same methods. Thus, the proposed method allows not only to reduce the technogenic load on the environment, but also has an economic effect.

**Keywords:** ventilation of reservoirs, light oil products, mathematical modeling.