УДК 504.05.662

С. В. ГАРБУЗ

СИСТЕМНИЙ ПІДХІД ДО ЗНИЖЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ НЕБЕЗПЕКИ ВЕНТИЛЯЦІЇ РЕЗЕРВУАРІВ З НАФТОПРОДУКТАМИ

Розглядається несприятливий екологічний вплив на довкілля викидів із резервуарів з залишками нафтопродуктів під час їх провітрювання перед проведенням ремонтних та інших видів робот. Наведені розрахунки щодо екологічного впливу об'єктів на атмосферу. Результатом досліджень є розроблений механізм системного підходу до зниження екологічної небезпеки вентиляції резервуарів з нафтопродуктами. Скорочення тривалості робіт з очищення резервуарів і зниження рівня пожежовибухонебезпеки при їх вентиляції потрібує вивчення всіх фізичних факторів та закономірностей, що впливають на цей процес.

Ключові слова: екологічна небезпека, атмосфера, забруднювачі повітря, вентиляція резервуарів, залишки нафтопродуктів

Рассматривается неблагоприятное экологическое воздействие на окружающую среду выбросов из резервуаров с остатками нефтепродуктов во время их проветривания перед проведением ремонтных или иных видов подготовительных робот. Приведены расчеты для различных видов экологически неблагоприятного воздействия объектов на атмосферу. Результатом исследований является разработанный механизм системного подхода к повышению экологической безопасности вентиляции резервуаров с нефтепродуктами. Сокращение продолжительности работ по очистке резервуаров и снижение уровня пожаровзрывоопасности при их вентиляции требует изучения всех физических факторов и закономерностей, влияющих на этот процесс.

Ключевые слова: экологическая безопасность, атмосфера, загрязнители воздуха, вентиляция резервуаров, остатки нефтепродуктов

The article examines cases of the adverse ecological impact on the environment of emissions from tanks of oil residues during their airing before the repairs or other types of preparatory works, as well as before the changing of the class of petroleum products. Reducing the duration of cleaning tanks and reducing the level of fire and explosion hazard during their ventilation requires exploring all physical factors and consistency that affect this process. At the article was shown a complex of mathematical calculations for various types of environmentally adverse impacts of objects on the atmosphere. The result of research is the developed mechanism of systematic approach to improve the environmental safety of the ventilation of tanks with petroleum products. Diesel oil, gasoline, toluene were used as fluids for research. Laboratory studies to water were used as a fluid for comparison. Supply air in the designed and constructed experimental tanks was supplied in four ways. Three of which have previously been studied and described in the literature (traditional supply, contrary and mixed), and also the supply which was developed by the author using the innovative ejector-vortex flow method. Its effectiveness is proven on several parameters – ventilation speed, environmental compatibility and efficiency.

Keywords: ecological safety, atmosphere, air pollutants, ventilation of tanks, oil residues

Вступ. Для практичного підтвердження теоретичних викладок щодо зниження екологічної небезпеки при вентиляції резервуарів з залишками нафтопродуктів, наведених у попередніх роботах автора [1–5], стало за потрібне спроектувати, розробити та виготовити спеціальний стенд, за допомогою якого проводилися дослідження способів примусової вентиляції резервуарів, в тому числі й запропонованого нами інноваційного способу [6]. Стенд призначений для визначення рухливості повітря при різних способах його подачі у внутрішній простір резервуарів, швидкості випару та втрати маси рідинами, що в них зберігалися.

Метою експериментальних досліджень, що описуються, було одержання низки експериментальних даних щодо пожежовибухобезпеки процесу вентиляції резервуарів нафтогазового комплексу перед проведенням вогневих (ремонтних) робіт за рахунок підвищення продуктивності очищення викидів. Поставлена мета досягається за рахунок максимального перемішування подаваного повітря з газом у резервуарі.

Результати досліджень масообміну при вентиляції резервуарів можуть бути використані для практичного застосування способів очищення резервуарів. Також результати досліджень ефективності процесу вентиляції й процесу випару рідин є більш екологічними, ніж ті, що застосовуються до сьогодні.

Аналіз літературних даних та постановка проблеми. Обговорення проблеми забруднення атмосферного повітря – однієї із самих гострих екологічних проблем сьогодення, у сучасній науковій та публіцистичній літературі ведеться достатньо поширено як вітчизняними так і закордонними науковцями [7–9]. З означеної проблеми витікає наукова задача щодо забезпечення сталої фільтрації (очищення) викидів із резервуарів з залишками нафтопродуктів під час їх провітрювання перед ремонтними, профілактичними та іншими видами робіт або при зміні класу нафтопродуктів, що в них зберігаються, з мінімальною кількісною складовою потрапляння шкідливих речовин в атмосферу.

У роботах «класиків» моделювання вентиляційних процесів [10–16], описані нині відомі способи та методики їх застосування. Ми ж пропонуємо новий спосіб провітрювання [17].

Ціль та задачі дослідження. Метою дослідження є одержання репрезентативного ряду даних щодо пожежовибухобезпеки процесу вентиляції резервуарів нафтогазового комплексу перед проведенням вогневих (ремонтних) робіт за рахунок підвищення продуктивності очищення викидів, що досягається за рахунок максимального перемішування подаваного повітря з газом у резервуарі.

Задачею дослідження є підвищення екологічної безпеки при очищенні й ремонті резервуарів з нафтопродуктами не тільки для нафтової й нафтопереробної промисловості, де так встаткування застосовується скрізь, а також для інших галузей народного господарства, що споживають нафтопродукти та мають резервуари для їхнього зберігання.

При розв'язанні поставленої задачі створено універсальний метод розрахунку, єдиний для різних типів джерел та отримані рівняння, що дають описи процесів, що відбуваються при цьому.

Таким чином, актуальним завданням є створення універсальних моделей та технічних комплексів для оцінки впливу вентиляційних екологічно небезпечних процесів, що протікають в вертикальних циліндрич-

них резервуарах з нафтопродуктами.

© С. В. Гарбуз. 2016

Матеріали та методи дослідження щодо розробки системного підходу для зниження екологічної небезпеки забруднення атмосфери викидами із резервуарів з залишками нафтопродуктів під час їх провітрювання. Методи дослідження, в тому числі й при обробці результатів експериментальних досліджень процесів вентиляції резервуарів із залишками нафтопродуктів при різних (відомих та запропонованому автором інноваційному) способах подачі повітря, містять в собі аналітичні та експериментальні дослідження з використанням сучасної контрольно-вимірювальної апаратури та використовують загальні та спеціальні методи наукового дослідження.

Усі дослідження виконувалися у світлий час доби та при відсутності грозових й передгрозових метеоумов. Температура зовнішнього повітря – в межах 20–27 ^{o}C. При вимірі рухливості повітря за допомогою термоанемометра «ТКА-ПКМ» швидкість припливного повітря (в м/с) відображалася на його цифровому дисплеї.

При різних способах подачі припливного повітря (а саме – назустріч, традиційному, змішаному та інноваційному) в просторі експериментального резервуару проводилися виміри втрати маси горючих й легкозаймистих рідин (для точності вимірів втрати маси рідин, що випаровуються, 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:

$$\overline{m} = \frac{m_i}{m_{ж}} \qquad (1)$$

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

Результати досліджень зміни відносних значень втрати маси однокомпонентних рідин (вода, толуол, октан, гексан) представлені на рис. 1–4.

Результати досліджень однокомпонентних рідин свідчать про те, що зміни відносних значень втрати маси для них у вентильованих резервуарах є лінійними.

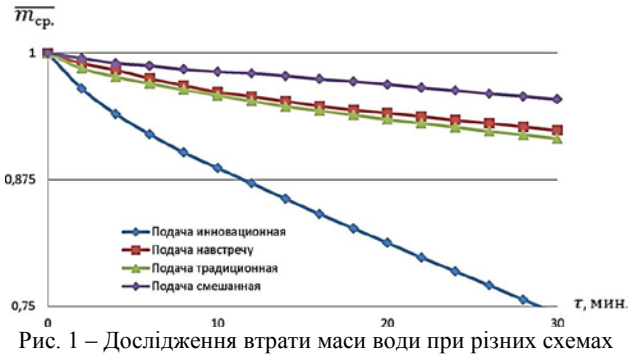


Рис. 1 – Дослідження втрати маси води при різних схемах подачі припливного повітря

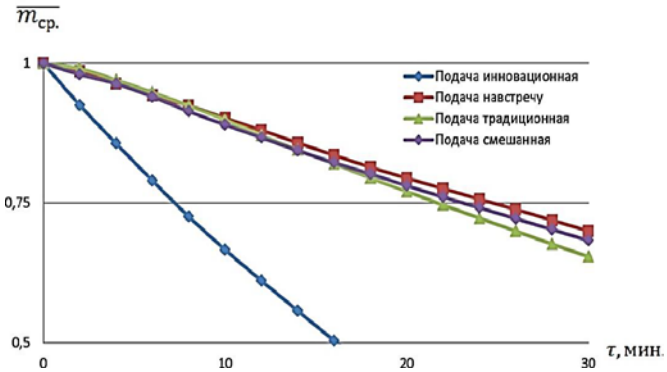


Рис. 2 – Дослідження втрати маси толуолу при різних схемах подачі припливного повітря

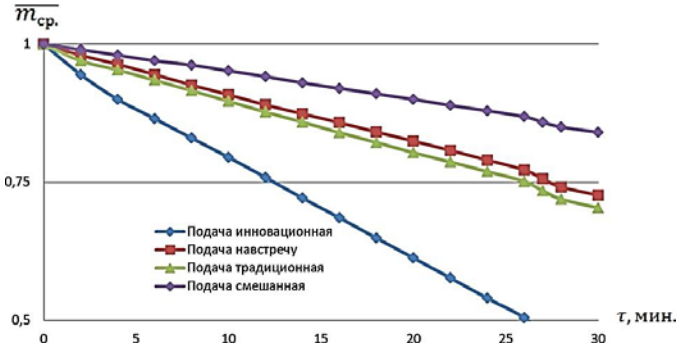


Рис. 3 – Дослідження втрати маси октану при різних схемах подачі припливного повітря

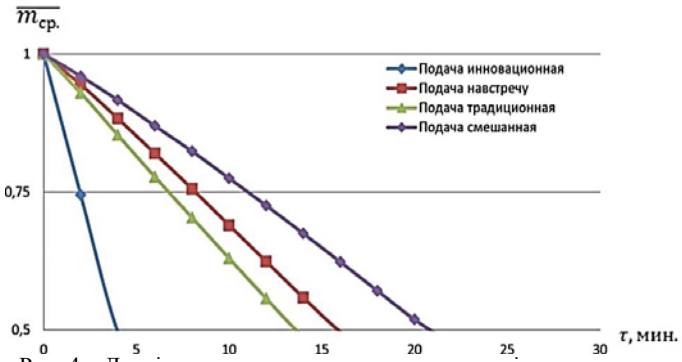


Рис. 4 – Дослідження втрати маси гексану при різних схемах подачі припливного повітря

Результати досліджень зміни відносних значень втрати маси для багатокомпонентних рідин (бензини, дизельне паливо) представлені на рис. 5, 6.

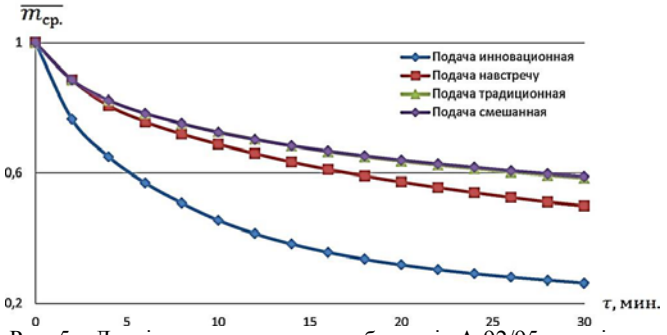


Рис. 5 – Дослідження втрати маси бензинів А-92/95 при різних схемах подачі припливного повітря

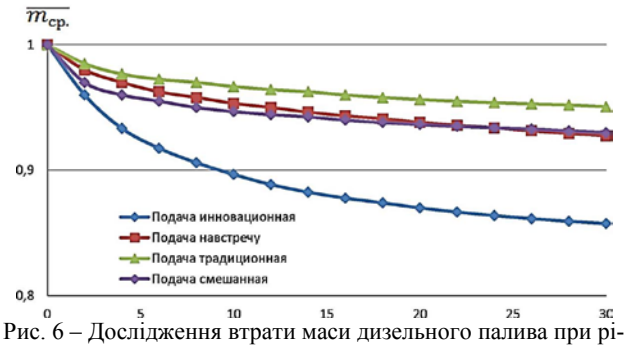


Рис. 6 – Дослідження втрати маси дизельного палива при різних схемах подачі припливного повітря

Результати досліджень для багатокомпонентних рідин свідчать про те, що зміни відносних значень втрати їх маси у вентильованих резервуарах не є лінійними. При цьому швидкість зміни відносних значень втрати маси для запропонованого нами іноваційного ежекторно-вихрового способу подачі повітря для всіх досліджуваних рідин суттєво вище, ніж при інших способах організації вентиляції.

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

1. Маса рідини, що випарувався, *m*:

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

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

2. Інтенсивність випару *W*:

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

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

3. Тиск насиченої пари:

$$LgP_S = A - \frac{B}{C + t_p}, \qquad (4)$$

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 по формулі [15]:

$$P_s = \frac{exp\left[6,908 + 0,0443\cdot\left(t_{pcn} - 0,924\cdot t \quad + 2,055\right)\right]}{1047 + 7,48\cdot t_{cn}}, \qquad (5)$$

де t_{cn} – температура спалаху, °С.

Відповідно до [18] тиск насиченої пари води дорівнює 0,03 атм. (або 3,03 кПа).

Для детальності та наочності порівняння розрахункових і експериментальних значень залежності зміни маси досліджуваних рідин від швидкості припливного повітря у внутрішньому просторі резервуара, в процесі експерименту варто розбити внутрішній простір резервуара на площини перетину – рис. 7.

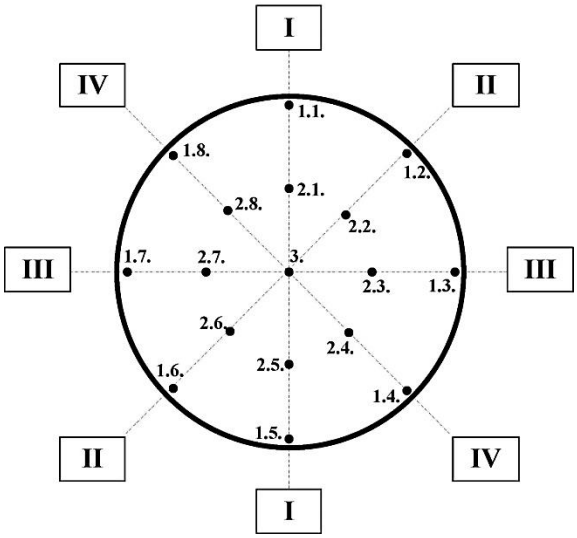
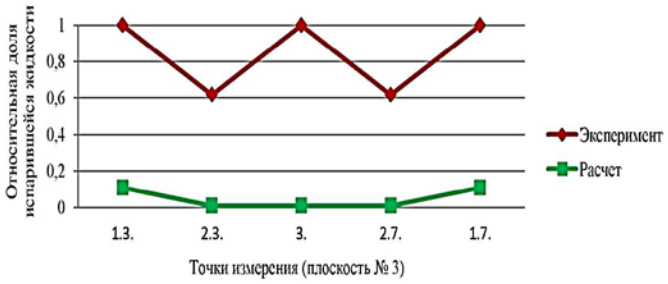
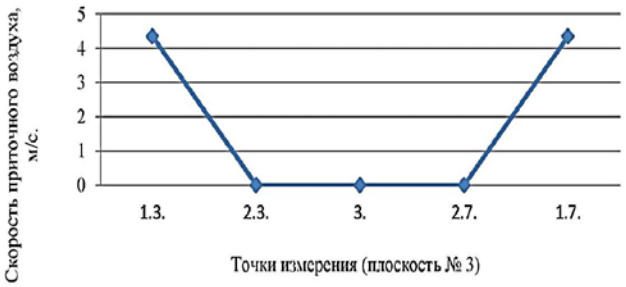


Рис. 7 – Крапки й площини перетину резервуара

Порівняння експериментальних і розрахункових змін відносної інтенсивності випару в площині перетину III експериментального резервуара, обмеженої крапками виміру 1.3., 2.3., 3., 2.7., 1.7., при організації схеми вентиляції інноваційним способом для однокомпонентної рідини толуол представлено на рис. 8.



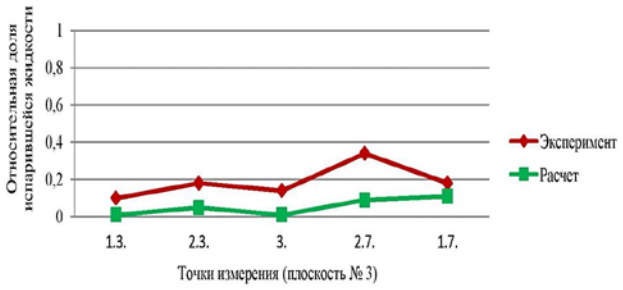
а



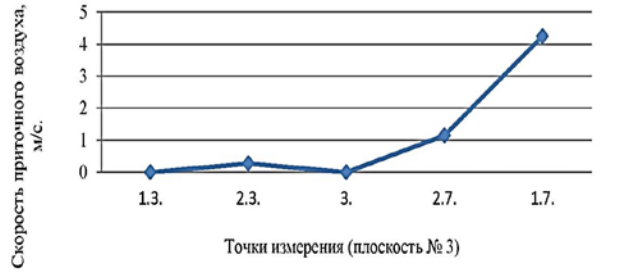
б

Рис. 8 – Графіки зміни інтенсивності випару толуолу залежно від рухливості повітря над поверхнею випару в експериментальному резервуарі при подачі припливного повітря запропонованим способом: а – графік зміни втрати маси толуолу в площині перетину III; б – графік зміни швидкості припливного повітря в площині перетину III

Порівняння експериментальних і розрахункових змін відносної інтенсивності випару в площині перетину III експериментального резервуара при організації схеми вентиляції традиційним способом для толуолу представлено на рис. 9.



а



б

Рис. 9 – Графіки зміни інтенсивності випару толуолу залежно від рухливості повітря над поверхнею випару в експериментальному резервуарі при подачі припливного повітря традиційним способом: а – графік зміни втрати маси толуолу в площині перетину III; б – графік зміни швидкості припливного повітря в площині перетину III

Залежність втрати маси води за 1 годину вентиляції при різних способах подачі припливного повітря у внутрішній простір резервуара показано на рис. 10.

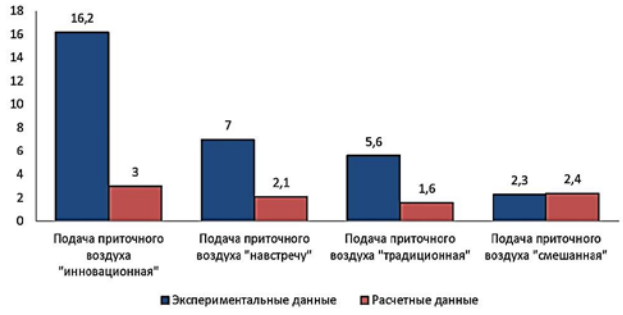


Рис. 10 – Діаграма втрати маси води при вентиляції резервуара

Втрата маси дизпалива за 1 годину вентиляції при різних способах подачі припливного повітря у внутрішній простір резервуара показано на рис. 11.

Втрата маси бензинами А-92 та А-95 за 1 годину вентиляції при різних способах подачі припливного повітря у внутрішній простір резервуара показано на рис. 12.

Втрата маси толуолу за 1 годину вентиляції при різних способах подачі припливного повітря у внутрішній простір резервуара показано на рис. 13.

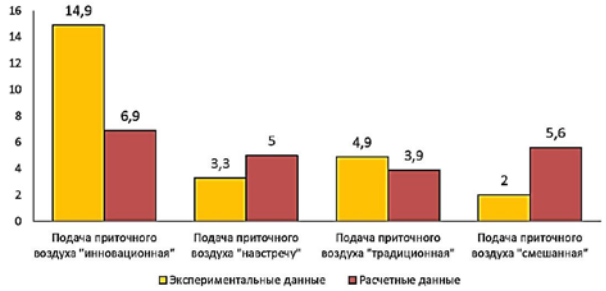


Рис. 11 – Діаграма втрати маси дизельного палива при вентиляції резервуара

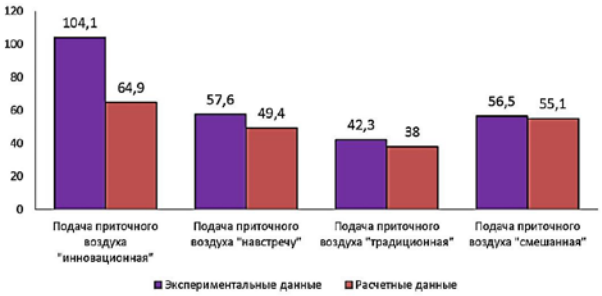


Рис. 12 – Діаграма втрати маси бензинами при вентиляції резервуара

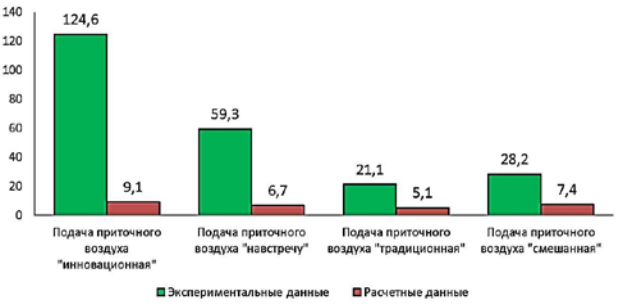


Рис. 13 – Діаграма втрати маси толуолу при вентиляції резервуара

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.

На рис. 14 показана загальна діаграма втрати маси досліджуваними рідинами за 1 годину вентиляції при використанні різних способів подачі припливного повітря у внутрішній простір резервуара за даними лабораторних експериментів, що були проведені в рамках дослідження. Із них випливає, що по ефективності способів подачі припливного повітря, схеми розташовуються в наступному порядку:

1) подача припливного повітря за схемою 1;
2) подача припливного повітря за схемою 2;
3) подача припливного повітря за схемою 4;
4) подача припливного повітря за схемою 3.

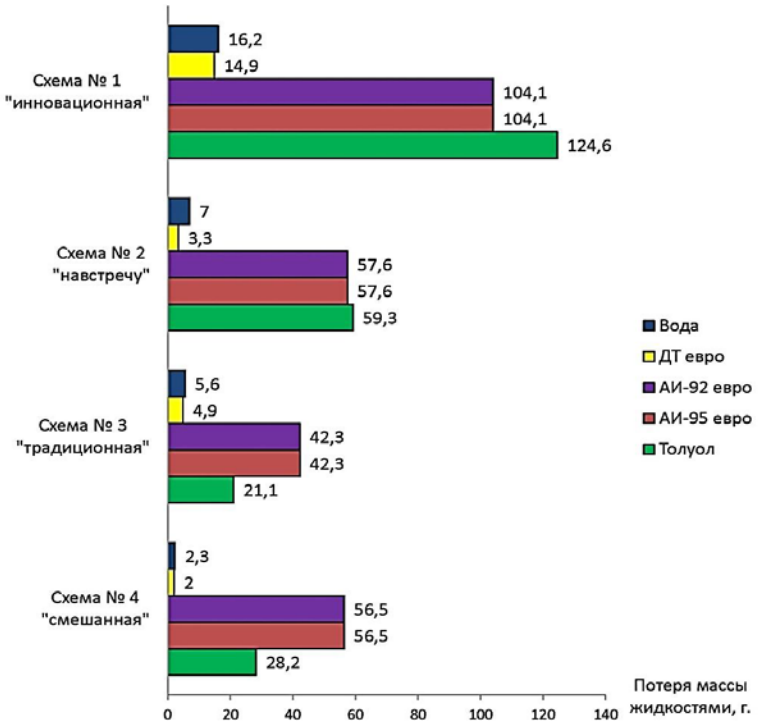


Рис. 14 – Залежність втрати маси рідинами за 1 годину вентиляції, отримана експериментальним шляхом

Причому подача за схемою 1 значно перевершує інші схеми вентиляції за ефективністю вентилювання. Використання схем 2 і 4 мають підвищену пожежну безпеку та дбають про чистоту простору над резервуаром, але тривалість вентиляції значно зростає. Схема 3 – традиційна й по своїх характеристиках схожа зі способами вентиляції резервуарів, розглянутих у роботах [19–22], її відмінність лише в розташуванні люка для видалення газоповітряної суміші.

Результати експериментальних досліджень відносних значень швидкостей повітря у внутрішньому просторі резервуара й часток, що випарувалися з рідин при однакових витратах повітря, наведені в табл. 1.

Таблиця 1 – 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	дизпаливо	бензини А-92/95	толуол
інноваційна	2,4	0,08	0,08	0,63	0,7
назустріч	1,8	0,01	0,01	0,35	0,32
традиційна	1	0,02	0,02	0,25	0,11
змішана	1,9	0,01	0,01	0,34	0,15

З даних табл. 1 бачимо, що при ежекторно-вихровому (запропонованому інноваційному) 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, в 6,3 – для толуолу при однаковій витраті повітря.

Нами 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 й багатокомпонентні нафтопродукти – дизельне паливо та бензини. Для «чистоти» експерименту дослідження із втрати маси рідинами при примусовій вентиляції резервуара проводилися також на воді.

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

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

$$\pi_p = f\left(Re, Pr, \pi_д, \mu\right), \tag{6}$$

де $\pi_P = \dfrac{jl}{\rho\upsilon}$ – число, що враховує поперечний потік маси.

У роботі [19] установлено емпіричну формулу для резервуарів:

$$\pi_{рД} = 0,065 \cdot \mathrm{Re}^{0,8} \cdot \mathrm{Pr} \cdot \theta^2 \cdot \pi \cdot \mu^{0,5}. \tag{7}$$

Інтенсивність випару в тій же роботі визначається як:

$$M_0 = 0,065 \cdot \frac{\rho \cdot v \cdot F_u \cdot F_0}{V} \cdot Re^{0,8} \cdot Pr_д \cdot \pi_д \cdot \mu^{0,5}, \tag{8}$$

$$Pr_д = \frac{v}{Д_t}, \tag{9}$$

$$Д_t = Д_0 \cdot \left(\frac{T}{273}\right)^n, \tag{10}$$

де $Д_0$ – значення коефіцієнта дифузії [23], м^2/с; Т – температура навколишнього повітря, К; n – показник ступеня, прийнятий відповідно до довідкової літератури.

Відносні експериментальні інтенсивності випарів досліджуваних рідин у схемах вентиляції експериментального стенда розраховані у вигляді $\frac{W_Э}{\sqrt{\mu \cdot P_S}}$ в залежності від коефіцієнта дифузії $Д_t$ і числа подоби Прандтля дифузійного $Pr_д$. Результати представлені на рис. 15, 16.

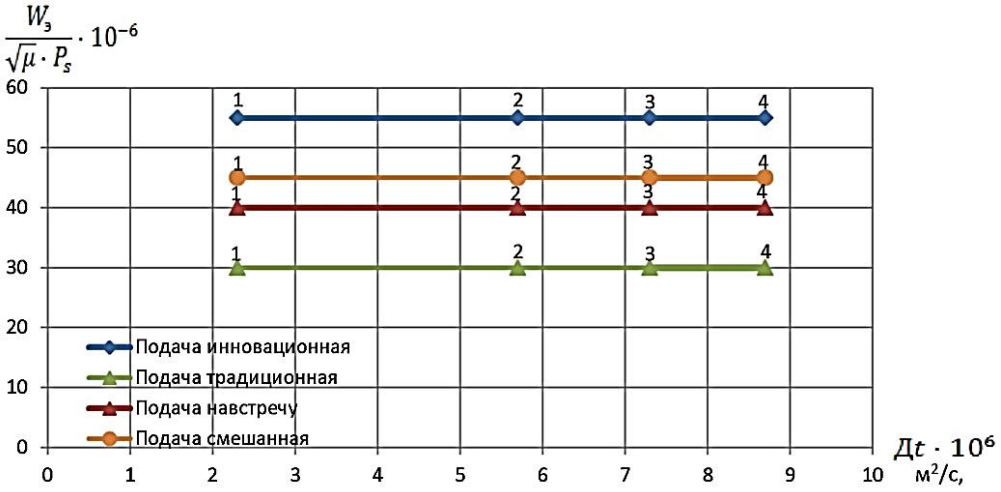


Рис. 15 – Залежність відносної інтенсивності випару від коефіцієнта дифузії:
1 – вода; *2* – дизпаливо; *3* – бензини; *4* – толуол

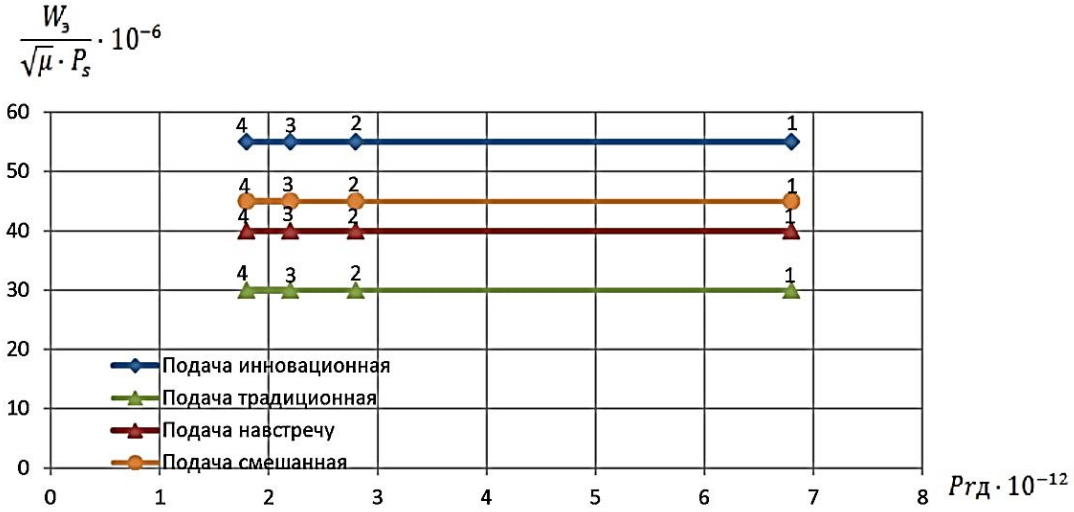


Рис. 16 – Залежність відносної інтенсивності випару від числа Прандтля дифузійного:
1 – вода; *2* – дизпаливо; *3* – бензини; *4* – толуол

Концентрацію насичених парів визначаємо як:

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

Тиск насичених пар визначаємо з рівняння Антуана:

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

Відносну молекулярну масу:

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

Щільність і коефіцієнт кінематичної в'язкості повітря:

$$\rho_n = \frac{353}{T_n}, \quad (14)$$

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

Число Рейнольдса визначаємо по стандартній формулі:

$$R_e = \frac{\omega \cdot l}{\nu}, \quad (16)$$

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

Загальна площа поверхонь резервуара:

$$F_з=F_{дн}+F_д+F_{б.п.}, \quad (17)$$

де $F_{дн}$ – площа днища, м^2; $F_д$ – площа даху, м^2; $F_{б.п.}$ – площа бічної поверхні, м^2.

Середню рухливість повітря в резервуарі визначаємо по формулі В.М. Эльтермана [12]:

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

де $\varepsilon_п$ – енергія припливного струменя; V – об'єм резервуара, м^3; F_0 – загальна площа поверхні резервуара, м^2.

Енергія припливного струменя:

$$\varepsilon_n = \frac{f_n \cdot v_n^3}{2V}, \quad (19)$$

де $f_п$ – площа припливного отвору, м^2; $v_п$ – швидкість подачі повітря в припливний отвір, м/с.

Швидкість подачі повітря та площа припливного отвору відповідно:

$$v_n = \frac{q}{f_n}, \quad (20)$$

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

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

Інтенсивність випару рівна:

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

Коефіцієнт нерівномірності розподілу концентрацій визначається по формулі [20]:

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

Відповідно до існуючих методик інтенсивність випару визначається як:

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

А маса рідини, що випарувався, як:

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

Результати, отримані в ході експерименту, а саме – середньої інтенсивності випару по однокомпонентній рідині толуол і багатокомпонентній рідині бензини А-92/95 – у часі, представлені на рис. 17, 18.

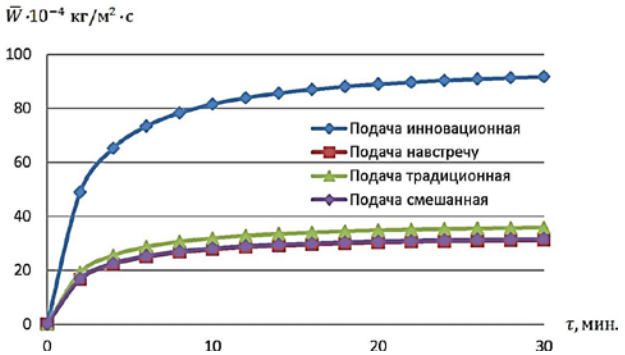


Рис. 17 – Графік середнього значення інтенсивності випару толуолу

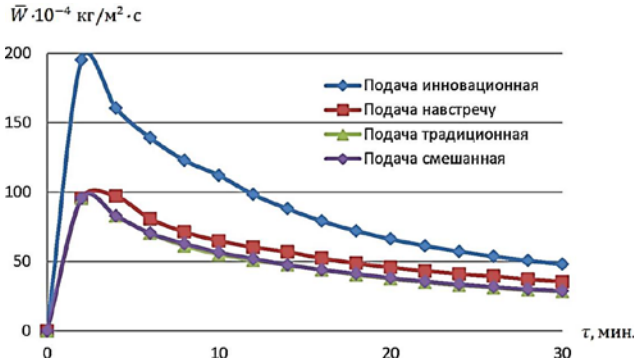


Рис. 18 – Графік середнього значення інтенсивності випару бензинів А-92/95

Результати розрахунків та отримані експериментальні значення середньої рухливість повітря при різних способах подачі припливних струменів у внутрішньому просторі резервуарів наведено в табл. 2.

Таблиця 2 – Середня рухливість повітря всередині резервуарів

Схема подачі струменя припливного повітря	Експериментальний резервуар		Експериментальний напівпромисловий стенд	
	ωрозрахунки	ω експеримент	ωрозрахунки	ωексперимент
інноваційна	0,55	2,9	0,23	0,88
назустріч	0,60	3,5	0,21	0,70
традиційна	0,50	2,7	0,11	0,42
змішана	0,57	3	0,22	0,74

З отриманих результатів випливає, що при вентилюванні резервуарів із залишками однокомпонентних рідин, значення інтенсивності випару в часі прагнуть до стаціонарності. При вентиляції резервуарів 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 (18). 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 роботах [19–25]. При розрахунках втрат нафтопродуктів від випарів тиск насиченої пари зазвичай визначають по виведеній ним же формулі [20]:

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

де P_{so} – вихідний тиск насичених парів; K – коефіцієнт, що залежить від властивостей рідини. K для бензинів становить:

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

Молекулярна маса нафтопродуктів збільшується в процесі його випару. Для бензинів молекулярну масу можна визначити за допомогою емпіричних формул [20]:

$$\mu=45+0,6t_{пк}, \quad (28)$$

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

де $t_{пк}$, – температура початку кипіння бензину; P_{20} – тиск насичених парів при температурі 20 °С.

В роботі [20] установлено, що формула (26) цілком прийнятна для розрахунків процесу повного випару нафтопродуктів. Результати його досліджень [19, 20] 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:

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

Порівняння даних розрахунків молекулярної маси по формулі (28) для бензину, з даними експерименту по визначенню зміни молекулярної маси в процесі випару, які представлені в роботі [19], показали, що дані дослідів і розрахунків узгоджуються. Спираючись на проведені дослідження [20], можна зробити висновок про коректність використання при обробці дослідних даних по конвективному масообміну μ формули (28), а по втратам нафтородуктів Ps – формули (26).

Безперервна зміна властивостей бензину в процесі випарювання обумовлює зменшення коефіцієнта масопереносу, рушійної сили масопереносу та дифузійних чисел $Pr_Д$, $Nu_Д$, $\pi_Д$, π_P.

Спираючись на роботи [19, 20] в ході дослідження установлено, що найбільш різко в процесі випару бензину змінюються рушійна сила масопередачі й чисел подоби $\pi_Д$ та π_P. Досить незначно змінюються відношення $\frac{\phi_{ГП}}{\phi_S}$ й дифузійне число $Pr_Д$. Зміна рушійної сили масопереносу й чисел $\pi_Д$ та π_P підкоряються експонентному закону.

У процесі випару нафтопродуктів збільшується щільність, в'язкість, і поверхневий натяг. У дослідженні [24] 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 % [20].

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

Обговорення й узагальнення результатів досліджень процесу конвективного масообміну та коректування розрахункових формул для визначення швидкості випарів нафтопродуктів при вентиляції. Обробка й узагальнення дослідних даних по масообміну нами проводилась по найбільш значущим величинам – температурам газового простору та поверхні рідини. За температуру газового простору приймали середньооб'ємну температуру, яку вимірювали на стоці з резервуара. Для визначення температури поверхні проводились окремі дослідження в кожній із серії дослідів. Установлено, що температуру поверхні випару можна прийняти за константу, за винятком тієї частини поверхні, яка розташована в області струменів. У точках 1.7. та 1.3. (рис. 7) при подачі припливного повітря «інноваційним», «назустріч» або «змішаним» способом температура відрізнялась від точок, розташованих поза областю струменя на 2–2,6 °С. У точках, близьких до області струменів 1.8. та 1.4. при способі подачі повітря «інноваційний», точках 2.7. і 2.3. при способі подачі повітря «назустріч», точці 2.7. при способі подачі повітря «традиційний» – на 1–1,4 °С.

У роботі [19] В. П. Назаров установив залежність зміни температури рідини в процесі вентиляції. При зміні кратності повітрообміну в n раз, температура стаціонарного процесу змінюється в $n^{0,25}$ разів.

Для розрахунків концентрацій у газовому просторі й часу вентиляції резервуара необхідно знати максимальну інтенсивність випарів нафтопродуктів в процесі вентиляції. При розв'язанні завдання про масообмін більшість дослідників робили узагальнення дослідних даних у вигляді залежності числа $Nu_Д(St_Д)$ від інших чисел подоби. Цей спосіб обробки дослідних даних для розв'язання поставленого завдання представляється не зовсім зручним, тому що при розрахунках інтенсивності випару необхідно знати концентрацію газового простору резервуара. Тому обробка дослідних даних проведена у вигляді залежності числа π_P від чисел подоби, що враховують гідродинамічні, температурні умови вентиляції, а також властивості рідини, що випаровується.

Також в процесі дослідження будо установлено, що найбільш різко в процесі випару змінюється число π_P, тому дане число необхідно враховувати при обробці дослідних даних. Враховуючи, що зміна концентрації газового простору й насичених парів підкоряється одному закону, а відношення $\frac{\phi_{ГП}}{\phi_S}$ в процесі випару змінюється незначно, то для характеристики властивостей і температурних умов можна використовувати відношення $\frac{P_S}{P_0}$.

З урахуванням аналізу літературних джерел, при обробці дослідних даних ухвалюємо наступну залежність:

$$\pi_p = f(\tilde{R}_e, Pr_д,\ \pi_д,\ \mu,\ \theta), \qquad (31)$$

Число подоби $\tilde{R}_e$ являє собою своєрідну модифікацію числа Рейнольдса й визначається по енергетичних характеристиках на припливі з урахуванням основних розмірів резервуара.

При такому способі узагальнення емпіричних даних, концентрація газового простору враховується при визначенні числа π_P.

Узагальнення дослідних даних проводилося при наступних визначальних температурах: по середньооб'ємній температурі газового простору визначали *D*, *ν*; по середній поверхневій температурі випару рідини визначали *P*s. За характерну лінійну залежність прийняли відношення об'єму резервуара до площі поверхні його конструкції.

У роботі [19] В. П. Назаров установив, що зі збільшенням числа $\pi_Д$, число π_P також збільшується. У ряді робіт, присвячених дослідженням тепло- і масообміну [25–27], вказується, що фізичні властивості рідини, що випаровується, описуються числом *Pr*.

При порівнянні отриманих залежностей для визначення максимальної маси випарів (M_{max}) були використані формули інших дослідників, що теж вивчали випари з вільної поверхні в аеродинамічних трубах [22, 28], середня температура поверхні рідин у процесі вентиляції приймалась за даними [29], концентрація газового простору ($C_{гп}$) визначалась по формулі, що описана в роботі [19].

Підсумок проведених експериментів полягає в тому, що досліджувані схеми вентилювання газового простору резервуарів мають значні відмінності по своїй ефективності та впливу на екологічний стан довкілля. Найбільш ефективною у застосуванні виявилася схема 1. Схеми подачі струменів припливного повітря 2 і 4 відрізняються від традиційної схеми 3 не кардинально. Тому в роботі експериментальні значення змін середніх концентрацій вуглеводнів у процесі вентиляції резервуарів презентовано по новій ежекторно-вихровій схемі в порівнянні із традиційною схемою.

На рис. 19 представлений графік зміни середнього значення поточної відносної концентрації вуглеводнів при вентилюванні внутрішнього простору резервуара із залишком багатокомпонентної рідини (бензин). На рис. 20 – графік зміни середнього значення поточної відносної концентрації вуглеводнів при вентилюванні внутрішнього простору резервуара з однокомпонентною рідиною (ксилол).

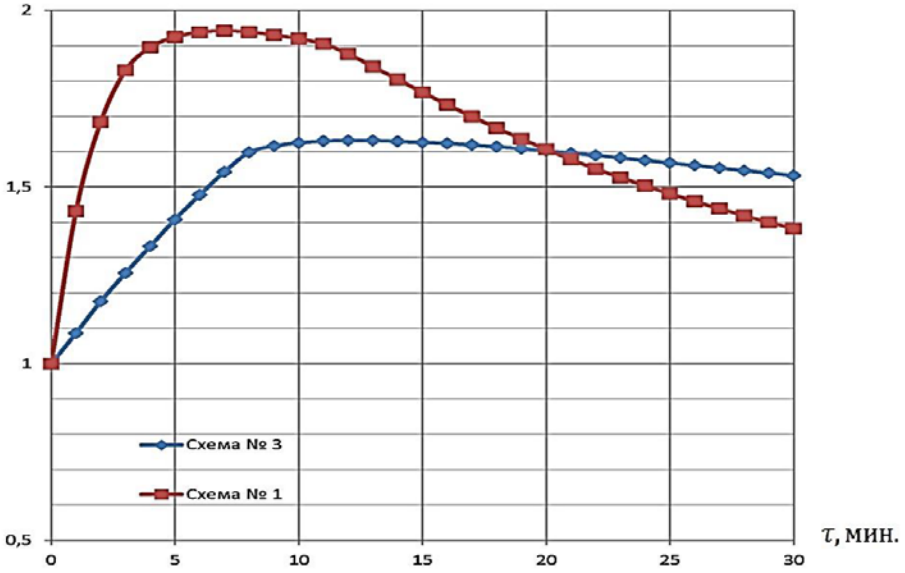


Рис. 19 – Графік зміни концентрації вуглеводнів при вентиляції резервуара із залишками багатокомпонентної рідини

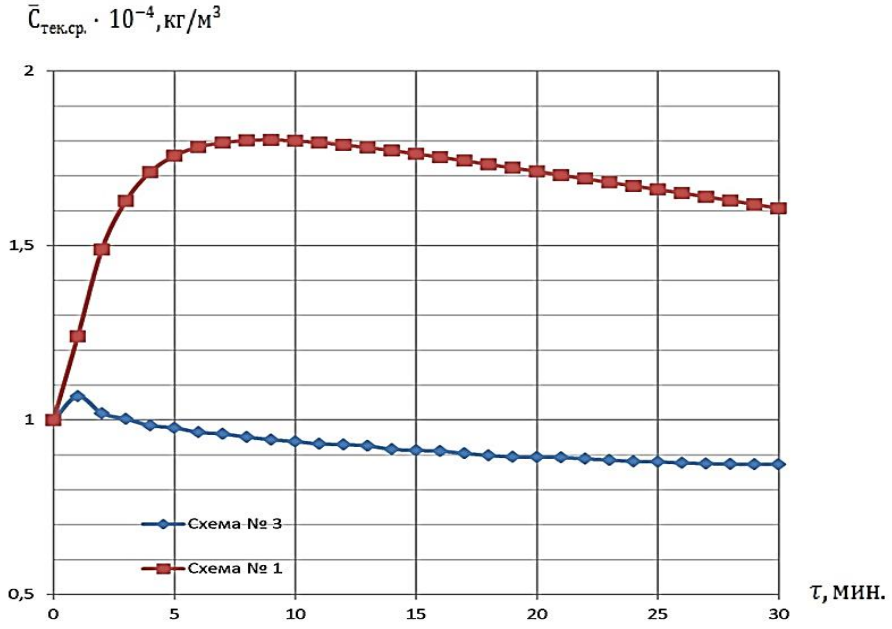


Рис. 20 – Графік зміни концентрації вуглеводнів при вентиляції резервуара із залишками однокомпонентної рідини

З отриманих даних вбачається, що на інтенсивність випарів нафтопродуктів впливає не стільки середня рухливість подаваного в резервуар повітря, скільки схема його подачі. Ежекторно-вихрова схема подачі припливного повітря дозволяє максимально перемішувати подаване повітря з газом у резервуарі. Перемішування площин зіткнення рідини й подаваного повітря витісняє з резервуара більш збагачену суміш.

Дані розрахунків були віднесені до M_{max}, що визначалась по формулі, отриманій у ході експерименту. Розрахунки показали, що при зазначених вище допущеннях, усі дані по M_{max} корелюються незалежно від того, по якій методиці були визначені.

Основним критерієм ефективності запропонованого методу підготовки резервуарів до вогневих (ремонтним) роботам є час вентиляції та мінімальний вплив випарів на навколишнє середовище. Тривалість вентиляції залежить від продуктивності вентилятора, температури припливного повітря, площі поверхні випару, виду нафтопродукту й схеми подачі повітря у внутрішній простір резервуара.

Продуктивність вентиляторів та властивості нафтопродуктів, вплив температурних умов і залежність від площі поверхні випарів докладно розглянуті в роботі [19]. Ми в дослідженні сконцентрувались на вивченні питання про вплив способу подачі припливного повітря в резервуар. Кількісною величиною для порівняння різних схем подачі повітря був прийнятий коефіцієнт ефективності, який для «традиційної» схеми подачі повітря дорівнює 1. При зменшенні часу випару залишків нафтовмістних рідин при застосуванні будь-якої схеми коефіцієнт ефективності збільшується. Результати досліджень ефективності способів подачі повітря у внутрішній простір резервуара щодо швидкостей подачі припливного повітря наведені в табл. 3.

Результати дослідження ефективності способів подачі повітря у внутрішній простір резервуара відносно часток рідини, що випарувалися, при рівних витратах припливного повітря наведено в табл. 4.

Таблиця 3 – Результати дослідження ефективності способів подачі повітря щодо швидкості подачі припливного повітря

Схема подачі струменя припливного повітря	інноваційна	назустріч	традиційна	змішана
Коефіцієнт ефективності	2,4	1,8	1	1,9

Таблиця 4 – Результати дослідження ефективності способів подачі повітря відносно часток рідини, що випарувалися

Схема подачі струменя припливного повітря	Ефективність вентиляції відносно часток рідини, що випарувалися			
	вода	дизпаливо	бензини А-92/95	толуол
інноваційна	0,08	0,08	0,63	0,7
назустріч	0,01	0,01	0,35	0,32
традиційна	0,02	0,02	0,25	0,11
змішана	0,01	0,01	0,34	0,15

В ході дослідження установлено, що зміна схеми подачі припливного повітря у внутрішній простір резервуара при практично однакових значеннях середньої рухливості повітря в ньому, за винятком запропонованої нами схеми, не значно впливає на інтенсивність випару нафтовмістних рідин.

Крім того, у ході експерименту виявлені причини підвищення (або зниження) ефективності вентиляції

при зміні способу подачі повітря. З дослідів випливає, що на процес масообміну при вентиляції резервуара швидкість і рухливість повітря впливає не значно. При практично однаковій рухливості повітря в резервуарі значний вплив на масообмін має спосіб подачі повітря й ступінь перемішування його з рідинами.

Процес дегазації можна прискорити не стільки збільшенням кількості подаваного повітря, скільки вдосконалюванням способу подачі повітря. Застосування запропонованого ежекторно-вихрового способу перемішування повітря дозволяє скоротити шкідливий вплив на довкілля за рахунок зменшення часу дегазації, а також за цей же рахунок скоротити час підготовки резервуарів до ремонту. Одночасно скорочуються енергетичні витрати, тому що для одержання еквівалентного ефекту, в порівнянні із прототипами, потрібно нагнітати меншій об'єм повітря. Підвищується коефіцієнт корисної дії (ККД) вентиляції. Підвищення ККД означає зниження енергетичних (отже, матеріальних) витрат на підготовку резервуара до ремонту.

Коефіцієнт ефективності (A_O), що вводиться у формулу інтенсивності випару (8), як ефективність вентиляції досліджуваних схем подачі припливного повітря, може характеризуватися відношенням експериментальної інтенсивності випару при досліджуваному способі до інтенсивності випару традиційним способом.

Досліди показали, що найбільш інтенсивно процеси випару протікають при організації повітрообміну за запропонованою нами схемою. Для розв'язання поставленого завдання достатнім є вивчення кількісної характеристики способу подачі повітря, що характеризується коефіцієнтом ефективності (A_O). Створюючи «інноваційну» подачу потоків повітря у внутрішній простір резервуара, збільшують турбулізацію руху повітря. Перемішування повітря з газом у резервуарі при «інноваційному» способі подачі повітря відбувається у всіх зонах резервуара. При такому способі подачі повітря від двох вісесиметричних потоків результатом стає найбільше перемішування рідини з повітрям. Досліджувана рідина при такому способі подачі припливного повітря починає закручуватися у бік напрямку струменя, що збільшує ступінь перемішування повітря з газом і рідиною та прискорює процес випаровуваності при рівній кратності повітрообміну.

Таблиця 5 – Значення коефіцієнта ефективності випару

Схема подачі струменя припливного повітря	Коефіцієнт ефективності A_O			
	вода	дизпаливо	бензини А-92/95	толуол
інноваційна	4	4	2,52	6,36
назустріч	0,5	0,5	1,4	2,9
традиційна	1	1	1	1
змішана	0,5	0,5	1,36	1,36

У табл. 5 представлені розрахунки коефіцієнта ефективності у формулу інтенсивності випару (8), для кожної із досліджуваних схем подачі припливного повітря.

Висновки

В результаті проведених досліджень встановлено:

1. На підставі експериментального дослідження підтверджені теоретичні закономірності процесу вентиляції резервуарів із залишками нафтопродуктів.

2. Експериментально підтверджена методика моделювання процесів вентиляції резервуарів із залишками однокомпонентних і багатокомпонентних рідин, а також процесів дегазації. При цьому доведено, що при моделюванні процесів вентиляції резервуарів із залишками однокомпонентних і багатокомпонентних рідин припустиме використання однакових методик.

3. Експериментально підтверджено впливи способів подачі припливного повітря на інтенсивність масообміну й визначений найбільш екологічно ефективний спосіб вентиляції. Експериментально доведено, що екологічна ефективність вентиляції залежить від способу подачі повітря й досягається за рахунок інтенсивного перемішування подаваного повітря з парами нафтопродуктів у резервуарі.

4. На базі експериментальних досліджень отримано коефіцієнт ефективності у формулах для розрахунків швидкості випару.

5. Після порівняння теоретичних та експериментальних досліджень відкоректована методика розрахунків процесу найбільш екологічно безпечної дегазації при досліджуваних способах подачі припливного повітря у внутрішній простір резервуарів.

Список літератури:

1. *Куруленка, С. С.* Матеріали впровадження нового механізму регулювання викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря [Текст] / *С. С.Куруленка*. – Київ: ДЕІ Мінприроди України, 2007. – 216 с.
2. *Стольберга, Ф. В.* Экология города [Текст]: учеб. / *Ф. В. Стольберга*. – Киев: Либра, 2000. – 464 с.
3. *Захаренко, О. В.* Підвищення безпеки життєдіяльності об'єктів хімічної промисловості шляхом моделювання заходів по локалізації надзвичайних ситуацій [Текст] / *О. В. Захаренко, М. І. Адаменко, О. А. Клименко* // Системи озброєння і військова техніка. – 2009. – № 2. – С. 145–147.
4. *Сєліванов, С. Є.* Проблеми забезпечення екологічної безпеки функціонування потенційно небезпечних об'єктів [Текст] / *С. Є. Сєліванов, М. І. Адаменко* // Збірник наукових праць ХНУ ім. Каразіна. – 2010. – С. 187–194.
5. *Адаменко, М. І.* Зниження масштабів екологічного впливу аварій на потенційно небезпечних об'єктів шляхом їх своєчасного виявлення [Текст]: зб. наук. пр. / *М. І. Адаменко* // Системи управління, навігації та зв'язку. – 2010. – №. 4. – С. 240–242.
6. *Адаменко, М. І.* Дослідження меж екологічного впливу хімічно небезпечних об'єктів на навколишнє середовище [Текст] / *М. І. Адаменко* // Науковий вісник будівництва. – 2010. – № 35. – С. 6–8.
7. *Адаменко, М. І.* Класифікація надзвичайних ситуацій за видами ресурсів, що застосовуються для їх ліквідації [Текст] / *Н. И. Адаменко* // Науковий вісник будівництва. – 2002. – № 18. – С. 11–13.
8. *Берлянд, М. Е.* Современные проблемы атмосферной диффузии и загрязнения атмосферы [Текст] / *М. Е. Берлянд*. – Ленинград: Гидрометеоиздат, 1975. – 448 с.
9. *Берлянд, М. Е.* Атмосферная диффузия и загрязнение воздуха [Текст] / *М. Е. Берлянд*. – Ленинград: Гидрометеоиздат, 1987. – 163 с.

10. *Гинзбург, Л. И.* Моделирование принудительной вентиляции при теплоотдаче в помещениях [Текст] / *Л. И. Гинзбург* // Известия АН СССР. – 1951. – № 4. – С. 36–38.

11. *Санников, П. А.* Модернизирование воздухообмена в помещениях с выделением газов [Текст] / *П. А. Санников* / Вопросы вентиляции. – № 2. – 1955. – С. 53–106.

12. *Эльтерман, В. М.* Вентиляция химических производств [Текст] / *В. М. Эльтерман*. – Москва: Химия, 1971. – 238 с.

13. *Батурин, В. В.* Аэрация промышленных зданий [Текст] / *В. В. Батурин, В. М. Эльтерман.* – Москва: Госстройиздат, 1963. – 320 с.

14. *Кун, М. Ю.* Исследование воздухообмена на модели в помещении газов тяжелее воздуха [Текст] / *М. Ю. Кун* // Научные работы институтов охраны труда ВЦСПС. – 1967. – № 47. – С. 21–26.

15. *Сучков, В. П.* Методы оценки пожарной опасности технологических процес сов [Текст] / *В. П. Сучков.* – Москва: Академия ШПС МЧС России, 2010. – 63 с.

16. *Гарбуз, С. В.* Повышение экологической безопасности принудительной вентиляции резервуаров хранения светлых нефтепродуктов [Текст] / *С. В. Гарбуз* // Технологический аудит и резервы производства. – 2015. – № 6 (4). – С. 67–72. doi: 10.15587/2312-8372.2015.53477

17. *Гарбуз, С. В.* Разработка новой технологии дегазации резервуаров хранения светлых нефтепродуктов [Текст] / *С. В. Гарбуз, А. А. Ковалев* // Наука и образование Новое измерение. Естественные и технические науки. – 2015. – Т. 3 (8), № 73. – С. 98–102.

18. *Варгафтик, Н. Б.* Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей [Текст] / *Н. Б. Варгафтик*. – Моска: Наука, 1972. – 721 с.

19. *Назаров, В. П.* Очистка резервуаров от остатков светлых нефтепродуктов перед проведением огневых ремонтных работ [Текст]: дис. … канд. техн. наук / *В. П. Назаров*. – Москва, 1980. – 250 с.

20. *Назаров, В. П.* Пожаровзрывобезопасность предремонтной подготовки и проведения огневых работ на резервуарах [Текст]: дис. … докт. техн. наук / *В. П. Назаров*. – Москва, 1995. – 444 с.

21. *Рубцов, В. В.* Обеспечение пожарной безопасности резервуара с понтоном принудительной вентиляции при подготовке к огневым работам [Текст]: дис. … канд. техн. наук / *В. В. Рубцов*. – Москва, 1983. – 158 с.

22. *Сорокоумов, В. П.* Обеспечение пожарной безопасности резервуаров с локальными остатками нефтепродуктов при проведении аварийно-ремонтных работ [Текст]: дис. … канд. техн. наук / *В. П. Сорокоумов*. – Москва, 2002. – 160 с.

23. *Горячев, С. А.* Пожарная профилактика технологических процессов [Текст]: учеб. пос. / *С. А. Горячев, В. С. Клубань*. – Москва: ВИПТШ МВД РФ, 1996. – 121 с.

24. *Ирисов, А. С.* Испаряемость топлив для поршневых двигателей и методы его исследования [Текст] / *А. С. Ирисов.* – Москва: Гостоптехиздат, 1955. – 308 с.

25. *Греков, С. П.* Газодинамика инертных сред и разгазирование горных выработок при авариях [Текст] / *С. П. Греков, А. Е. Калюсский*. – Москва: Недра, 1975. – 121 с.

26. *Кошмаров, Ю. А.* Уравнение развития пожара в помещении [Текст] / *Ю. А. Кошмаров* // Труды ВИПТШ МВД СССР. – 1978. – № 3. – С. 27–33.

27. *Кошмаров, Ю. А.* К определению составляющих радиационно-конвективного теплообмена [Текст] / *Ю. А. Кошмаров, М. М. Арсов* // Труды ВИПТШ МВД СССР. – 1978. – № 3. – С. 34–42.

28. *Арсов, М. М.* Исследование тепло- и массообмена при испарении взрывопожароопасных растворителей [Текст]: дис. … канд. техн. наук / *М. М. Арсов*. – Москва, 1979. – 204 с.

29. *Галеев, В. Б.* Магистральные нефтепродуктоводы [Текст] / *В. Б. Галеев, М. З. Карпачев, В. И. Харламенко.* – Москва: Недра, 1988. – 296 с.

Bibliography (transliterated):

1. Kurulenka, S. S. (2007). Materialy` vprovadzhennya novogo mexanizmu regulyuvannya vy`ky`div zabrudnyuyuchy`x rechovy`n v atmosferne povitrya. Kiev: DEI Minpryrody Ukrayiny, 216.

2. Stol'berga, F. V. (2000). Jekologija goroda. Kiev: Libra, 464.

3. Zaxarenko, O. V., Adamenko, M. I., Kly`menko, O. A. (2009). Pidvy`shhennya bezpeky` zhy`ttyediyal`nosti ob'yektiv ximichnoyi promy`slovosti shlyaxom modelyuvannya zaxodiv po lokalizaciyi nadzvy`chajny`x sy`tuacij. Sy`stemy` ozbroyennya i vijs`kova texnika, 2, 145–147.

4. Syelivanov, S. Ye., Adamenko, M. I. (2010). Problemy` zabezpechennya ekologichnoyi bezpeky` funkcionuvannya potencijno nebezpechny`x ob'yektiv. Zbirny`k naukovy`x pracz` XNU im. Karazina, 187–194.

5. Adamenko, M. I. (2010). Zny`zhennya masshtabiv ekologichnogo vply`vu avarij na potencijno nebezpechny`x ob'yektiv shlyaxom yix svoyechasnogo vy`yavlennya. Sy`stemy` upravlinnya, navigaciyi ta zv'yazku, 4, 240–242.

6. Adamenko, M. I. (2010). Doslidzhennya mezh ekologichnogo vply`vu ximichno nebezpechny`x ob'yektiv na navkoly`shnye seredovy`shhe. Naukovy`j visny`k budivny`cztva, 35, 6–8.

7. Adamenko, M. I. (2002). Klasy`fikaciya nadzvy`chajny`x sy`tuacij za vy`damy` resursiv, shho zastosovuyut`sya dlya yix likvidaciyi. Naukovy`j visny`k budivny`cztva. 18, 11–13.

8. Berljand, M. E. (1975). Sovremennye problemy atmosfernoj diffuzii i zagrjaznenija atmosfery. Leningrad: Gidrometeoizdat, 448.

9. Berljand, M. E. (1987). Atmosfernaja diffuzija i zagrjaznenie vozduha. Leningrad: Gidrometeoizdat, 163.

10. Ginzburg, L. I. (1951). Modelirovanie prinuditel'noj ventiljacii pri teplootdache v pomeshhenijah. Izvestija AN SSSR, 4., 36–38.

11. Sannikov, P. A. (1955). Modernizirovanie vozduhoobmena v pomeshhenijah s vydeleniem gazov. Voprosy ventiljacii, 2. 53–106.

12. Jel'terman, V. M. (1971). Ventiljacija himicheskih proizvodstv. Moscow: Himija, 238.

13. Baturin, V. V., Jel'terman, V. M. (1963). Ajeracija promyshlennyh zdanij. Moscow: Gosstrojizdat, 320.

14. Kun, M. Ju. (1967). Issledovanie vozduhoobmena na modeli v pomeshhenii gazov tjazhelee vozduha. Nauchnye raboty institutov ohrany truda VCSPS, 47. 21–26.

15. Suchkov, V. P. (2010). Metody ocenki pozharnoj opasnosti tehnologicheskih proces sov. Moscow: Akademija ShPS MChS Rossii, 63.

16. Garbuz, S. V. (2015). Increase the level of environmental safety for mechanical ventilation of light-oil storage tanks. Technology Audit and Production Reserves, 6(4(26)), 67. doi: 10.15587/2312-8372.2015.53477

17. Garbuz, S. V., Kovalev, A. A. (2015). Razrabotka novoj tehnologii degazacii rezervuarov hranenija svetlyh nefteproduktov. Nauka i obrazovanie Novoe izmerenie. Estestvennye i tehnicheskie nauki, 3 (8(73)), 98–102.

18. Vargaftik, N. B. (1972). Spravochnik po teplofizicheskim svojstvam gazov i zhidkostej. Moscow: Nauka, 721.

19. Nazarov, V. P. (1980). Ochistka rezervuarov ot ostatkov svetlyh nefteproduktov pered provedeniem ognevyh remontnyh rabot. Moscow, 250.

20. Nazarov, V. P. (1995). Pozharovzryvobezopasnost' predremontnoj podgotovki i provedenija ognevyh rabot na rezervuarah. Moscow, 444.

21. Rubcov, V. V. (1983). Obespechenie pozharnoj bezopasnosti rezervuara s pontonom prinuditel'noj ventiljacii pri podgotovke k ognevym rabotam. Moscow, 158.

22. Sorokoumov, V. P. (2002). Obespechenie pozharnoj bezopasnosti rezervuarov s lokal'nymi ostatkami nefteproduktov pri provedenii avarijno-remontnyh rabot. Moscow, 160.

23. Gorjachev, S. A., Kluban', V. S. (1996). Pozharnaja profilaktika tehnologicheskih processov. Moscow: VIPTSh MVD RF, 121.

24. Irisov, A. S. (1955). Isparjaemost' topliv dlja porshnevyh dvigatelej i metody ego issledovanija. Moscow: Gostoptehizdat, 308.

25. Grekov, S. P., Kaljusskij, A. E. (1975). Gazodinamika inertnyh sred i razgazirovanie gornyh vyrabotok pri avarijah. Moscow: Nedra, 121.

26. Koshmarov, Ju. A. (1978). Uravnenie razvitija pozhara v pomeshhenii. Trudy VIPTSh MVD SSSR, 3, 27–33.

27. Koshmarov, Ju. A., Arsov, M. M. (1978). K opredeleniju sostavljajushhih radiacionno-konvektivnogo teploobmena. Trudy VIPTSh MVD SSSR, 3, 34–42.

28. Arsov, M. M. (1979). Issledovanie teplo- i massoobmena pri isparenii vzryvopozharoopasnyh rastvoritelej. Moscow, 204.

29. Galeev, V. B., Karpachev, M. Z., Harlamenko, V. I. (1988). Magistral'nye nefteproduktovody. Moskva: Nedra, 296.

Надійшла (received) 18.02.2016

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Системний підхід до зниження екологічної небезпеки вентиляції резервуарів з нафтопродуктами/ С. В. Гарбуз// Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2016. – № 7(1179). – С. 106–118.– Бібліогр.: 29 назв. – ISSN 2079-5459.

Системный подход к снижению экологической опасности вентиляции резервуаров с нефтепродуктами/ С. В. Гарбуз// Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2016. – № 7(1179). – С. 106–118.– Бібліогр.: 29 назв. – ISSN 2079-5459.

A systematic approach to improve the environmental safety of the ventilation of tanks with petroleum products/ S. Garbuz//Bulletin of NTU "KhPI". Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2016. – № 7 (1179).– P.106 –118. – Bibliogr.: 29. – ISSN 2079-5459.

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Гарбуз Сергій Вікторович – *Національний університет цивільного захисту України*, викладач кафедри «Пожежна та техногенна безпека об'єктів і технологій»; адреса м. Харків, вул. 23 серпня, 51, кв. 103; e-mail: garbuz_88@inbox.ru

Гарбуз Сергей Викторович – Национальный университет гражданской защиты Украины, преподаватель кафедры «Пожарная и техногенная безопасность объектов и технологий»; адрес г. Харьков, ул. 23 августа, 51, кв. 103; e-mail: garbuz_88@inbox.ru

Garbuz Sergii – National University of civil protection of Ukraine, lecturer of the Department of Fire and technogenic safety of facilities and technologies; address Kharkiv, 23 serpnya st., 51, ap. 103;; e-mail: garbuz_88@inbox.ru