

*О.М. Роянов, к.т.н., ст. викладач, НУЦЗУ,
С.В. Гарбуз, к.т.н., викладач, НУЦЗУ,
О.І. Богатов, к.т.н., доцент, заст. зав. каф., ХНАДУ*

СПОСІБ ОЦІНКИ ТА КОНТРОЛЮ ПОЖЕЖОВИБУХОНЕБЕЗПЕКИ ПРОЦЕСУ ПРИМУСОВОЇ ВЕНТИЛЯЦІЇ РЕЗЕРВУАРІВ ЗБЕРІГАННЯ СВІТЛИХ НАФТОПРОДУКТІВ

(представлено д.т.н. Басмановим О.Є.)

Розроблено спосіб вимірювання концентрації парів залишків легкозаймистих і горючих рідин та температурних параметрів примусової вентиляції в резервуарах зберігання світлих нафтопродуктів.

Ключові слова: примусова вентиляція, рідкі залишки, лідар.

Постановка проблеми. Перед проведенням ремонтних робіт в резервуарах зберігання світлих нафтопродуктів необхідно проводити зачистку внутрішнього простору резервуарів згідно вимог нормативних документів з метою забезпечення високого рівня пожежовибухобезпеки [1]. Процес очищення резервуарів є етапним. Одним з таких етапів є примусова вентиляція, яка є багатопараметричним процесом [2–4]. Як відомо [2], основною проблемою примусової вентиляції є зменшення часу, необхідного для досягнення пожежовибухобезпечних концентрацій парів легкозаймистих (ЛЗР) та горючих рідин (ГР). Розв'язання цієї проблеми пов'язано з обранням режиму примусової вентиляції, при якому буде забезпечено пожежовибухобезпеку на безпечному рівні та виключено фізичне втручання людини оператора в цей процес [5].

Аналіз останніх досягнень і публікацій показав, що забезпечення високого рівня пожежовибухобезпеки перед проведенням ремонтних робіт в резервуарах зберігання світлих стає все актуальнішим не тільки в Україні, але і в світі, та отримує значну увагу щодо досліджень та прийняття відповідних нормативних вимог [6–13]. Існуючі на цей час методики та інженерно-технічні рішення [1, 2, 6] не досить повно відображають стан процесу примусової вентиляції та носять лише прогнозний характер або настановний характер. У випадку [1] – процес примусової вентиляції носить часово-тривалий характер, у випадку [2] процес примусової вентиляції освітлено з теоретичної частини, а у випадку [6] – процес примусової вентиляції потребує попередніх розрахунків та є прогнозованим, тобто приблизним.

Постановка завдання та його вирішення. Метою проведених досліджень було завдання визначити спосіб, за допомогою якого стало б можливим визначити початкові умови для параметрів примусової вентиляції резервуару, а саме – концентрацію та температури парів залишків ЛЗР та ГР в об'ємі резервуару. В свою чергу це дозволить обрати режими роботи обладнання примусової вентиляції таким чином, щоб мінімізувати матеріальні витрати та час на її проведення [5], а також виключити при цьому втручання людини-оператора у вимірювальний процес.

Відомо [2], що інтенсивність випаровування парів залишків світлих нафтопродуктів описується рівнянням:

$$M_{max} = 0,065 \frac{\rho_B \nu F_u F}{(V)} \tilde{Re}^{0,8} Pr_D \pi_D \mu^{0,5} \theta^2, \quad (1)$$

де F_u и F – відповідно площа дзеркала випаровування та огорожуючих конструкцій ємності, ρ_B та ν – відповідно щільність та кінематична в'язкість повітря в резервуарі, Pr_D – дифузійне число що дорівнює

$Pr_D = \frac{\nu}{D_t}$, де D_t – коефіцієнт дифузії парів рідини, $\pi_D = \frac{P_s}{P_0}$ – параметричне число тиску; μ – відношення молекулярних мас нафтопродукту та повітря, $\theta = \frac{T_\Gamma}{T_P}$ – температурний фактор, T_Γ – температура газового середовища; T_P – температура рідини; \tilde{Re} – аналог числа Рейнольдса, дорівнює $\tilde{Re} = \frac{A}{\nu}$, $A = 0,25q(2Vf_s^2)^{-0,33}(V/F)^{1,33}$ – коефіцієнт турбулентного обміну (по В.М. Ельтерману [2]), q – витрати припливного повітря, V – об'єм апарату, f_s – площа припливного отвору (люку лазу), F – площа обмежувальних конструкцій в резервуарі. З огляду складових формули (1) технічні характеристики резервуару є сталими, а температурний фактор $\theta = \frac{T_\Gamma}{T_P}$ в процесі примусової вентиляції може змінюватись і вносити до-

воль суттєвий внесок на інтенсивність випаровування. Таким чином, температурний фактор необхідно визначати перед початком та контролювати його значення в процесі примусової вентиляції з метою забезпечення максимального значення інтенсивності випаровування. З цією метою було розглянуто можливість використання оптичних вимірювальних засобів.

При контролі молекулярного стану повітряного простору особливе місце займають безконтактні методи [14-17], що забезпечують можливість отримання даних з високою оперативністю і в значних просторових масштабах та дозволяють надати кількісну інформацію про наявність тих чи інших домішок і частинок, а також виявити динаміку поширення їх компонентів.

Таким вимогам задовольняють лідарні (ЛІДАР: від англ. Light Identification, Detection And Ranging – ідентифікація, детектування і ранжування світла) методи дистанційного зондування, які використовують розсіювання і поглинання лазерного випромінювання атмосферними компонентами. Їх висока часова і просторова роздільна здатність, недоступна для інших способів, обумовлена використанням лазерів з малою розходимістю випромінювання, малою тривалістю і високою частотою повторення зондувальних імпульсів. Сигнали лазерного дистанційного моніторингу здатні зі швидкістю світла доставити в приймальний пристрій лідара інформацію про розподіл параметрів досліджуваного середовища на шляху розповсюдження зондуючого випромінювання. При

156

цьому оперативність отримання кінцевої інформації визначається лише швидкістю засобів обробки прийнятих сигналів.

Застосування ДПР-лідарів (диференціального поглинання і розсіювання) базується на явищі резонансного поглинання лазерного випромінювання в межах контуру лінії поглинання речовини. При цьому використовується принаймні два лазерних пучка на різних довжинах хвиль, які послідовно або одночасно надсилаються вздовж однієї і тієї ж траси в атмосфері. Перша довжина хвилі λ_{on} розташована в центрі лінії поглинання, а друга (λ_{off}) – на її крилі (рис. 1).

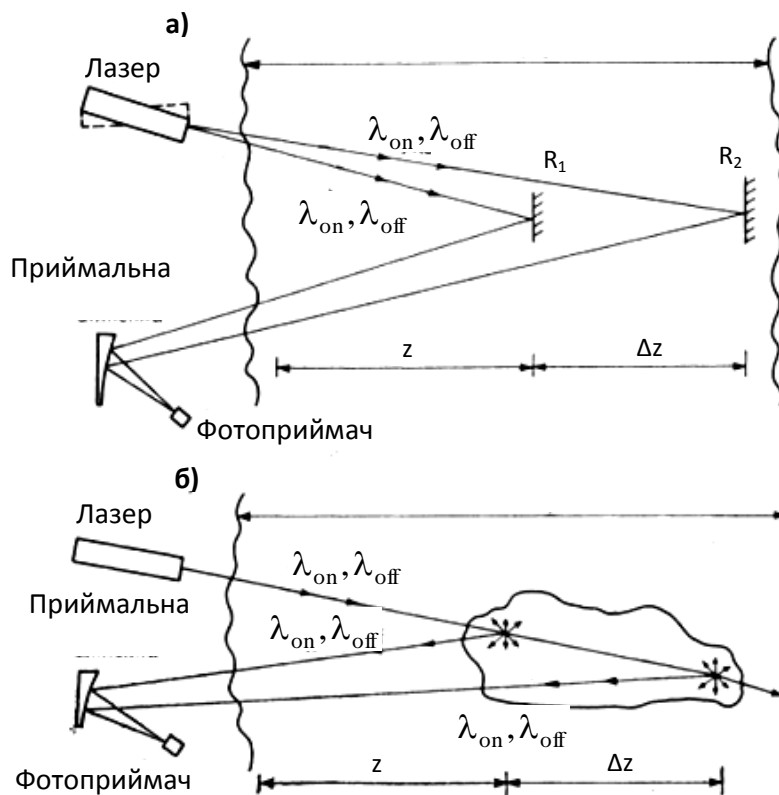


Рис. 1. Схеми зондування небезпечних речовин методом диференціального поглинання з використанням розподілених по трасі зондування відбивачів (а) або зворотного розсіювання зондувального випромінювання (б)

Один лазерний пучок поглинається молекулами небезпечної речовини сильніше іншого. Спектральна відстань між двома пучками лазерного випромінювання незначна, тому перетин аерозольного розсіювання можна вважати однаковим для обох випадків, а відмінність в інтенсивності (або енергії, або потужності) зареєстрованих сигналів переважно обумовлена різницею в поглинанні зазначених довжин хвиль зондувального лазерного випромінювання молекулами досліджуваного газу або парів речовин у просторі. Просторова зміна оптичних властивостей повітря на трасі зондування пов'язана з потужністю назад розсіяного випромінювання відомим співвідношенням, званим рівнянням оптичної локації, або лідарним рівнянням [15, 16], яке в наближенні однократного розсіювання має вигляд:

$$P_r(\lambda, R) = \frac{1}{2} \cdot G(R) P_0 c \tau_p \beta_\pi(\lambda, R) A_r T^2(\lambda, R) \xi_0(\lambda) / R^2, \quad (2)$$

де P_0 – потужність лазерного імпульсу випромінювача, τ_p – тривалість імпульсу, c – швидкість світла, τ_p – довжина хвилі, R – тривала дальність, A_r – площа об’єктиву приймача, $\beta_\pi = \sigma \cdot b$ – об’ємний коефіцієнт зворотнього розсіювання, σ – об’ємний коефіцієнт розсіювання, $b = \beta_\pi / \sigma$ – лідарне співвідношення або модуль вектору індикатриси розсіювання для кута π , α – об’ємний показник ослаблення, $\xi_0(\lambda)$ – пропускання приймальної оптичної системи, $G(R)$ – геометричний фактор лідара, що характеризується інтегралом перекриття зондуючого променя та сектору зору приймача ($G(R) = 1$) при повному перекритті).

Лідарний метод диференціального поглинання дозволяє отримувати інформацію про просторовий розподіл небезпечної речовини (газу) уздовж траси зондування. На рис. 1 зображені схеми зондування небезпечних речовин методом диференціального поглинання з розподіленими по трасі зондування відбивачами на відстані z і $z + \Delta z$ від лазерного приймача. Реалізація такої схеми на практиці може здійснюватися або шляхом погодинного перетину лазерного пучка проміжними відбивачами, або невеликим зміщенням діафрагми спрямованості лазерного передавача поперемінно з одного відбивача на інший, розведених на незначний кут. В даному методі роль відбивачів, розподілених по всій трасі зондування, грають небезпечні речовини (гази), аерозолі і молекули атмосфери. Розсіяна ними назад частина енергії лазерного імпульсу, що поширюється по трасі зондування, поступає на приймальну антену і реєструється фотоприймачем.

В такому лідарі можливо застосування зондування на двох довжинах хвиль, причому інформація про розподіл концентрації молекул в просторі та їх температури отримується з порівняння лідарних сигналів, що реєструються, на цих двох довжинах хвиль в досить вузькому спектральному інтервалі (рис. 2, рис. 3). Таким чином необхідно здійснити чисельне рішення лідарного рівняння для диференціального поглинання і розсіювання при зондуванні з метою формування висновків щодо вибору оптимального варіанту лідарної системи для визначення вибухопожежних концентрацій парів залишків ЛЗР та ГР для забезпечення безпеки ремонтно-відновлювальних робіт в резервуарі.

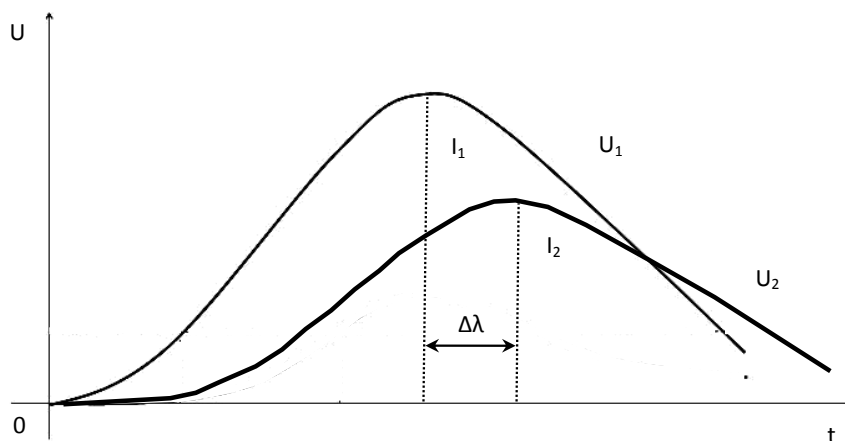


Рис. 2. Принцип визначення вибухопожежних концентрацій парів залишків ЛЗР та ГР

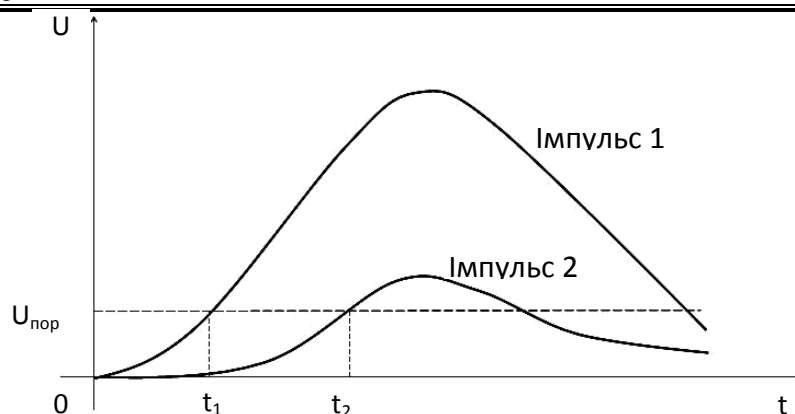


Рис. 3. Принцип визначення температури парів та рідких залишків ЛЗР та ГР

Лідарне рівняння для пружного зворотного розсіювання можливо записати у наступному вигляді

$$P(\lambda, z) = P_{\lambda} \cdot K_1 \cdot A_2 \cdot T^2(\lambda) \cdot \rho / z^2, \quad (3)$$

де $P(\lambda, z)$ - потужність сигналу зворотного розсіювання на фотоприймачі, що приходить з відстані z ; P_{λ} – потужність лазера на довжині хвилі λ ; λ – довжина хвилі лазера; K_1 – постійна лідара; A_2 - площа приймальної оптичної системи лідара; $T(\lambda)$ – коефіцієнт пропускання повітря на довжині хвилі лазерного випромінювання λ і сигналу зворотного розсіювання; ρ – коефіцієнт відбиття топографічної мішені або сумарний коефіцієнт пружного розсіювання Мі і молекулярного розсіювання Релея.

Амплітуда прийнятого лідаром сигналу визначається здатністю повітря розсіювати випромінювання в напрямку назад на послідовних ділянках траси, а також ослабленням в атмосфері на подвійному шляху від лазера до об'єму, що розсіює, і назад. Розсіювання назад («зворотне розсіювання») в атмосфері, в свою чергу, залежить від використовуваної довжини хвилі лазерного випромінювання, числа, розміру, форми і коефіцієнта заломлення частинок, крапель або молекул, що знаходяться на шляху зондуючого випромінювання. Об'ємний коефіцієнт зворотнього розсіювання (розсіювання назад) β_{π} визначається як частка падаючої енергії, розсіяна шаром атмосфери одиничної довжини в одиничному тілесному куті в напрямку назад.

Спираючись на наведені основні положення теорії розповсюдження світла пропонується застосувати в якості вимірювача концентрації парів залишків ЛЗР та ГР та температури парів залишків ЛЗР та ГР та власне їх рідких залишків. Принцип побудови вимірювальної системи, яка пропонується, полягає в наступному (рис. 4). В середині ємності встановлюється опорна шина зі світловідбивачами та шина з дільниками світлового потоку. Кількість світловідбивачів та дільників світлового потоку однакова і залежить від необхідної точності вимірювань та висоти ємності. На покрівлі – у гірлі світлового люка або іншим стаціонарним чином в резервуарі встановлюється лідар. Лідар обирається з можливістю випромінювання світлових потоків з двома різними хвилями. Аналіз запропонованого способу показує:

– існує можливість визначення параметрів вентиляції заздалегідь;

- існує можливість визначення такого параметру примусової вентиляції як температурний фактор θ без втручання людини-оператора;
- існує можливість забезпечення максимальної інтенсивності випаровування парів залишків світлих нафтопродуктів шляхом зміни температурного фактора θ .

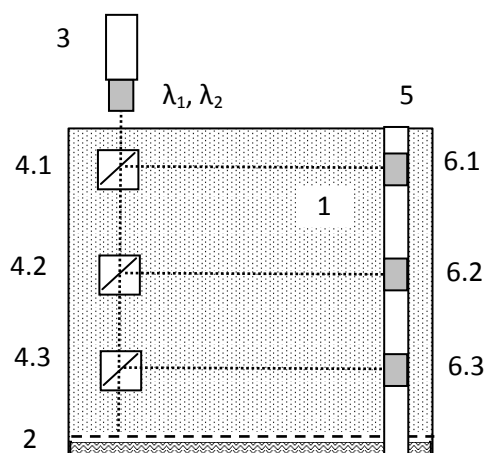


Рис. 4. Схема розміщення вимірювальної системи: 1 – простір резервуару; 2 – рідкий залишок ЛЗР або ГР; 3 – лідар; 4.1 – 4.3 – шина з дільниками світлового потоку; 5 – шина зі світловими відбивачами

Висновки. Запропонований спосіб визначення концентрації та температури парів залишків ЛЗР та ГР в об'ємі резервуару перед проведенням примусової вентиляції дозволить обирати режими роботи обладнання примусової вентиляції, мінімізувати матеріальні витрати та час на її проведення, виключаючи при цьому втручання людини-оператора у вимірювальний процес та потребує подальшого опрацювання з метою отримання кількісних оцінок та оформлення патенту на корисну модель.

ЛІТЕРАТУРА

1. Временная инструкция по дегазации резервуаров от паров нефтепродуктов методом принудительной вентиляции : утв. Госкомнефтепродуктом РСФСР 08.09.1981 г. Стройиздат, 1982. 32 с.
2. Волков О.М. Пожарная безопасность резервуаров с нефтепродуктами: монографія. Москва : Недра, 1984. 151 с.
3. Роянов О. М., Гарбуз С. В. Визначення впливу характеристик резервуарів на інтенсивність випаровування світлих нафтопродуктів під час проведення в них примусової вентиляції. Проблемы пожарной безопасности. НУГЗУ. 2018. Вып. 42. С. 110–114.
4. Роянов О.М., Олійник В.В. Спосіб оцінки залишків світлих нафтопродуктів під час проведення примусової вентиляції резервуарів. Проблемы пожарной безопасности. НУГЗУ. 2018. Вып. 43. С. 129-135.
5. Роянов О.М., Тесленко О.О. Дослідження впливу параметрів примусової вентиляції на пожежовибухонебезпеку резервуарів під час їх виведення на ремонтні та регламентні роботи. Проблемы пожарной безопасности. НУГЗУ. 2016. Вып. 40. 210 с. С. 147 – 152.
6. Пузік С.О., Островський Б.О., Комар Д.А. Методика розрахунку процесу примусової вентиляції резервуарів від залишків рідких нафтоп-

родуктів. Вісник НАУ. 2013. Вип. 2 (55). С. 109-113.

7. EU (1994). European Parliament and Council Directive 94/63/EC of 20 December 1994 on the control of volatile organic compound (VOC) emissions resulting from the storage of petrol and its distribution from terminals to service stations. Official Journal L 365. 1994.

8. European Commission (2006). 'Integrated Pollution Prevention and Control Best Available Techniques on Emissions from Storage, July 2006.

9. AEAT (2001). Measures to reduce emissions of VOCs during loading and unloading of ships in the EU. Report No AEAT/ENV/R/0469 Is.2. AEA Technology, Abingdon. 2001.

10. CCME (Canadian Council of Ministers of the Environment). Environmental Code of Practice for Vapour Recovery in Gasoline Distribution Networks. Prepared by the National Task Force on Vapour Recovery in Gasoline Distribution Networks. CCME. Canada. 1991

11. Yinchang Li, Yang Du, Peili Zhang. Experimental study on inert replacement ventilation of oil vapor in oil tank. Department of Petroleum Supply Engineering. Logistical Engineering University, Chongqing 401311, China. 2012. 45. С. 546-551.

12. M. Robinson, D.B. Ingham. Recommendations for the design of push-pull ventilation systems for open surface tanks. The Annals of Occupational Hygiene. 1996. 6. С. 693–704.

13. P.J. Fardell, B.W. Houghton. The evaluation of an improved method of gasfreeing an aviation fuel storage tank. Journal of Hazardous Materials. 1976. 1(3). С. 237–251.

14. R. Agishev, A. Comerón, A. Rodriguez. Dimensionless parameterization of LIDAR for laser remote sensing of the atmosphere and its application to systems with SiPM and PMT detectors. Applied Optics, 2014, V. 53(15), P. 3164-3175.

15. R. Agishev, A. Comerón, J. Bach et al. LIDAR with SiPM: Some capabilities and limitations in real environment. Optics & Laser Technology, 2013, vol. 49, pp. 86-90.

16. Selected Papers on Laser Applications in Remote Sensing. Editors: W. Grant, E. Browell, R. Menzies. SPIE-Press, Bellingham, 1997.

17. Межерис Р. Лазерное дистанционное зондирование. М.: Мир, 1987. 550 с.

Отримано редколлегією 09.10.2019

О.М. Роянов, С.В. Гарбуз, О.И. Богатов

Способ оценки и контроля пожаровзрывоопасности процесса принудительной вентиляции резервуаров хранения светлых нефтепродуктов

Разработан способ измерения концентрации паров остатков легко воспламеняющихся и горючих жидкостей и температурных параметров принудительной вентиляции в резервуарах хранения светлых нефтепродуктов.

Ключевые слова: принудительная вентиляция, жидкие остатки, лидар.

A. Roianov, S. Harbuz, O. Bogatov

Method for assessing and controlling fire and explosion hazard of the process of forced ventilation of storage tanks for light petroleum products

A method has been developed for measuring the vapor concentration of flammable and combustible liquids and the temperature parameters of forced ventilation in light oil storage tanks.

Keywords: forced ventilation, liquid residues, lidar.