

О. В. Кулаков, к.т.н., доцент, проф. каф., НУЦЗУ,  
А. М. Катунін, к.т.н., с.н.с., доц. каф., НУЦЗУ

## ВПЛИВ ВЕНТИЛЯЦІЇ НА ВИЗНАЧЕННЯ КЛАСУ І РОЗМІРУ ВИБУХОНЕБЕЗПЕЧНОЇ ЗОНИ, ЩО СТВОРЮЄТЬСЯ ПАРОВОПІТРЯНИМ ВИБУХОНЕБЕЗПЕЧНИМ СЕРЕДОВИЩЕМ У ПРИМІЩЕННІ

(представлено д.т.н. Басмановим О. Є.)

Клас вибухонебезпечної зони, що створюється пароповітряним вибухонебезпечним середовищем у приміщенні, визначається величиною гіпотетичного об'єму вибухонебезпечної суміші та часом її існування. Розмір вибухонебезпечної зони визначається величиною гіпотетичного об'єму вибухонебезпечної суміші у порівнянні з об'ємом приміщення, в якому може створюватися вибухонебезпечна зона. Гіпотетичний об'єм вибухонебезпечної суміші та час її існування залежать від кратності повітрообміну системи вентиляції у приміщенні за гіперболічним законом.

**Ключові слова:** вибухонебезпечна зона, вибухонебезпечна суміш, гіпотетичний об'єм, час існування.

**Постановка проблеми.** В Україні за даними [1] другою за частотою виникнення причиною пожеж є порушення правил пожежної безпеки при влаштуванні та експлуатації електроустановок (до 20 % щорічно від їх загальної кількості). Особливу пожежну небезпеку уявляють електроустановки, що розташовано у вибухонебезпечних зонах (ВНЗ). Наслідки пожеж у таких зонах, як правило, є надзвичайно резонансними у порівнянні зі звичайними умовами [2]. Клас ВНЗ визначає особливі правила влаштування електроустановок [3]. Також клас і розмір ВНЗ визначають порядок її блискавкозахисту, наприклад, вертикальних резервуарів з легкозаймистими рідинами (ЛЗР) [4]. Тому є проблема правильного визначення класів і розмірів ВНЗ.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** В Україні починаючи з 2001 року за правилами [3] газо-, пароповітряні вибухонебезпечні середовища (ВС) можуть утворювати ВНЗ трьох класів: 0 (простір, у якому ВС присутнє постійно або протягом тривалого часу; може мати місце тільки в межах корпусів технологічного обладнання), 1 (простір, у якому ВС може утворитися під час нормальної роботи), 2 (простір, у якому ВС за нормальних умов експлуатації відсутнє, а якщо воно виникає, то рідко і триває недовго). Клас і розмір ВНЗ у приміщенні залежать від розрахункового надлишкового тиску вибуху  $\Delta P$  газо-, пароповітряної ВС (визначається згідно [5]). Так при  $\Delta P > 5$  кПа, ВНЗ класу 2 займає весь об'єм приміщення. При  $0,5 \text{ кПа} < \Delta P \leq 5 \text{ кПа}$  ВНЗ займає частину об'єму приміщення і допускається приймати її в межах до 5 м по вертикалі і горизонталі від технологічного апарату, з якого можливий викид горючих газів або парів ЛЗР. При  $\Delta P \leq 0,5$  кПа, ВНЗ відсутня. Поняття «рідко і триває недовго» у визначенні ВНЗ класу 2 є невизначеним.

3 01 вересня 2018 року в Україні методом підтвердження прийнятий

Національний стандарт [6], який регламентує Європейській порядок визначення класів і розмірів ВНЗ, що створюються газо-, пароповітряним ВС. Згідно статті 23 Закону [7] національні стандарти в Україні застосовуються на добровільній основі, крім випадків, якщо обов'язковість їх застосування встановлена нормативно-правовими актами. Авторам не відомі нормативно-правові акти, що встановлюють обов'язковість застосування [6]. Згідно [6] ВНЗ також поділяються на три класи залежно від частоти та тривалості існування ВС, але по-іншому: 0 (простір, у якому ВС присутнє постійно або протягом тривалого часу або часто), 1 (простір, у якому існує можливість створення ВС під час нормальної роботи), 2 (простір, у якому ВС за нормальних умов експлуатації відсутнє, а якщо воно виникає, то рідко і триває недовго). Класи і розміри ВНЗ визначаються розрахунком.

При визначенні класу і розміру ВНЗ для пароповітряних сумішей вихідними параметрами є: - кліматичні умови; - небезпечні властивості ЛЗР; - ступінь витoku рідини (безперервний (виток, що існує постійно, наприклад, поверхня рідини в резервуарі з постійно відкритим в атмосферу вентиляційним клапаном; у разі відсутності вентиляції має місце ВНЗ 0), першого ступеня (виток, що є випадковим при нормальному режимі роботи, наприклад, ущільнення насосів, клапанів, фланцеві з'єднання з можливим витком ЛЗР при нормальній роботі; у разі відсутності вентиляції має місце ВНЗ 1), другого ступеня (виток, не можливий при нормальних режимах роботи, наприклад, ущільнення насосів, клапанів, фланцеві з'єднання за відсутності витoku ЛЗР при нормальній роботі; у разі відсутності вентиляції має місце ВНЗ 2). Залежно від ступеня витoku вводиться поняття коефіцієнту безпеки по відношенню до нижньої концентраційної межі поширення полум'я (НКМПП) (для витоків безперервного та першого ступенів  $k = 0,25$ , другого ступеня –  $k = 0,5$ );- інтенсивність витoku рідини, що визначається за формулою:

$$\left(\frac{dG}{dt}\right)_{\max} = C_d \cdot S \cdot \sqrt{2 \cdot \rho \cdot \Delta p}, \text{ кг/с}, \quad (1)$$

де  $C_d \leq 1$  – коефіцієнт витoku;  $S$  – площа поперечного перерізу отвору, через який відбувається виток,  $\text{м}^2$ ;  $\rho$  – густина рідини,  $\text{кг/м}^3$ ;  $\Delta p$  – різниця тиску в отворі, з якого здійснюється виток, Па.

– рівень вентиляції (високий (забезпечує миттєве зниження концентрації пара до рівня нижче НКМПП), середній (концентрація небезпечної рідини за межами ВНЗ під час витoku пару, є меншою НКМПП), низькій (не дозволяє швидко усунути ВС після усунення витoku).

Визначається мінімальна об'ємна витрата свіжого повітря:

$$\left(\frac{dV}{dt}\right)_{\min} = \frac{\left(\frac{dG}{dt}\right)_{\max}}{k \cdot C_H^0} \cdot \frac{T}{293}, \text{ м}^3/\text{с}, \quad (2)$$

де  $T$  – температура навколишнього середовища, К;  $C_H^0$  – НКМПП,  $\text{кг/м}^3$ .

Розраховується гіпотетичний об'єм ВС:

$$V_z = \frac{f \cdot \left(\frac{dV}{dt}\right)_{\min}}{C}, \text{ м}^3, \quad (3)$$

де  $f$  – коефіцієнт ефективності розсіювання ВС (знаходиться в межах від 1 (ідеальна ситуація) до 5 (є перешкоди повітряному потоку системи вентиляції);  $C$  – кратність повітрообміну у приміщенні, 1/година.

У випадку першого та другого ступенів витоків визначають час існування ВС:

$$t = \frac{-f}{C} \cdot \ln \frac{C_n^0 \cdot k}{X_0}, \text{ годин}, \quad (4)$$

де  $X_0$  – початкова концентрація ЛЗР, одинця виміру співпадає з  $C_n^0$ . В безпосередній близькості до джерела витoku  $X_0=100\%$ .

**Постановка завдання та його вирішення.** Метою роботи є дослідження впливу вентиляції на клас і розмір ВНЗ, що створюється пароповітряним ВС у приміщенні.

В правилах [3] відсутня вимога кількісної оцінки впливу вентиляції на визначення класу і розміру ВНЗ, що створюється пароповітряним ВС у приміщенні. При розрахунку величини надлишкового тиску вибуху у приміщенні згідно [5] враховується кратність повітрообміну. При цьому в якості критерію вибухопожежної небезпеки при розрахунку обирається найбільш несприятливий варіант аварії, при якому у вибуху бере участь найбільша кількість речовин або матеріалів, найбільш небезпечних по наслідках вибуху. Але при визначенні розмірів і класів ВНЗ можливі аварії катастрофічних розмірів не повинні розглядатися [3, 6].

Клас ВНЗ визначається величиною гіпотетичного об'єму ВС  $V_z$  та часом існування ВС  $t$ .

Розмір ВНЗ визначається величиною гіпотетичного об'єму ВС  $V_z$  у порівнянні з об'ємом приміщення  $V_0$ , в якому може створюватися ВНЗ. ВНЗ може займати усе приміщення або тільки його частину.

Якщо розрахований гіпотетичний об'єм ВС  $V_z$  є незначним (менший  $0,1 \text{ м}^3$ ), то рівень вентиляції є високим; якщо  $V_z$  менший або дорівнює  $V_0$  – середній; якщо  $V_z$  перевищує  $V_0$  – низький.

Аналіз формул (3) та (4) показує, що гіпотетичний об'єм ВС  $V_z$  та час існування ВС  $t$  залежать від кратності повітрообміну у приміщенні  $C$  за гіперболічним законом виду  $\frac{K}{C}$ . Для  $V_z$  коефіцієнт  $K$  залежить від кліматичних умов, властивостей ЛЗР, ступеня витoku рідини та інтенсивності витoku  $\left(\frac{dG}{dt}\right)_{\max}$ . Для  $t$  коефіцієнт  $K$  залежить від кліматичних умов, властивостей ЛЗР та ступеня витoku рідини.

Для ілюстрації визначимо вплив вентиляції на клас і розмір ВНЗ, що створюється пароповітряним ВС у приміщенні, на прикладі насосної станції з перекачування світлих нафтопродуктів [8].

За правилами [3] насосні станції з перекачування світлих нафтопродуктів відносяться до ВНЗ класу 2.

Вважаємо, що кліматичні умови нормальні (атмосферний тиск,  $T=293\text{ K}$ ). Властивості бензину – згідно [9].

Згідно паспортних даних для найбільш часто застосовного основного відцентрового насосу 6НДв допускається через одно ущільнення максимально припустимий виток до  $0,03\text{ л/година}$  [10]. Тому

$\left(\frac{dG}{dt}\right)_{\max} = 6,1 \cdot 10^{-6}\text{ кг/с}$ . За ознаками ступінь витoku є першою, тому коефіцієнт безпеки  $k = 0,25$ .

На рис. 1 приведено залежності  $V_z$  (суцільна лінія) та  $t$  (пунктирна лінія) від  $C$ , розраховані за формулами (2)-(4).  $V_{z1}$  розрахований для максимально припустимої величини  $\left(\frac{dG}{dt}\right)_{\max}$ ,  $V_{z2}$  – для половинного значення максимально припустимої величини  $\left(\frac{dG}{dt}\right)_{\max}$ .

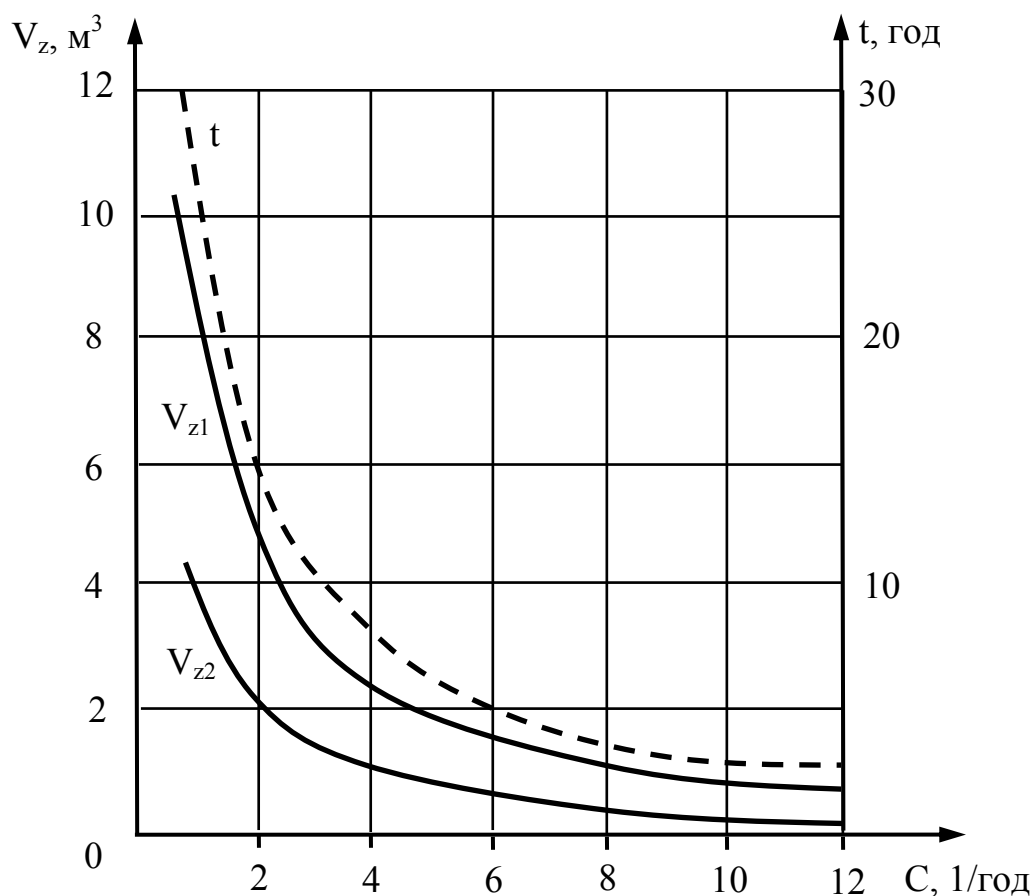


Рис. 1. Залежності гіпотетичного об'єму вибухонебезпечної суміші  $V_z$  та часу існування вибухонебезпечної суміші  $t$  від кратності повітрообміну у приміщенні  $C$  для насосу 6НДв для перекачування світлих нафтопродуктів

Гіпотетичний об'єм ВС  $V_z$  в усіх точках є значним. Мінімальним є значення  $V_{z2} = 0,3 \text{ м}^3$  при  $C=12$  1/год. Тому залежно від геометричного об'єму приміщення рівень вентиляції кратністю до 12/год є або середнім або низьким.

Час існування ВС  $t$  не залежить від інтенсивності витоку рідини  $(\frac{dG}{dt})_{\max}$ . Мінімальне значення  $t=2,5$  години при  $C=12$  1/год.

Таким чином, умови для ВНЗ класу 2 не виконуються і має місце ВНЗ класу 1. Для переведення приміщення з ВНЗ класу 1 у ВНЗ класу 2 необхідно або збільшувати кратність вентиляції  $C$  або усувати витоки через ущільнення.

**Висновки.** Для визначення класу і розміру ВНЗ слід застосовувати розрахункові методи. Можливі аварії катастрофічних розмірів не повинні розглядатися. При визначенні класу і розміру ВНЗ для пароповітряних ВС у приміщенні вихідними параметрами є кліматичні умови, небезпечні властивості ЛЗР, ступінь витоку рідини, рівень вентиляції. Визначається інтенсивність витоку рідини, розраховуються гіпотетичний об'єм ВС та час її існування. Клас ВНЗ визначається величиною гіпотетичного об'єму ВС та часом існування ВС. Розмір ВНЗ визначається величиною гіпотетичного об'єму ВС у порівнянні з об'ємом приміщення, в якому може створюватися ВНЗ. Гіпотетичний об'єм ВС та час існування ВС залежать від кратності повітрообміну системи вентиляції у приміщенні за гіперболічним законом. Розрахунком показано, що при застосування у насосній станції з перекачування світлих нафтопродуктів основного відцентрового насосу бНДв гіпотетичний об'єм ВС є значним. Тому залежно від геометричного об'єму приміщення рівень вентиляції кратності до 12/год є або середнім або низьким. Час існування ВС є мінімальним при кратності 12 1/год і складає 2,5 години. Таким чином, умови для ВНЗ класу 2 не виконуються і має місце ВНЗ класу 1. Для переведення приміщення з ВНЗ класу 1 у ВНЗ класу 2 необхідно або збільшувати кратність вентиляції або усувати витоки через ущільнення.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Статистика пожеж // Український науково-дослідний інститут цивільного захисту. URL: <http://undicz.dsns.gov.ua/ua/Statistika-rozhez.html> (дата звернення: 23.01.2020).

2. Кулаков О. В., Катунін А. М., Бодрик О. О. Вплив параметрів електричної мережі на вибір апаратів захисту від короткого замикання електроустановок у вибухонебезпечних зонах // Проблеми пожежної безпеки: Сб. науч. тр. НУГЗ України. 2019. № 46. URL: <http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfFireSafety/vol46/kulakov.pdf>

3. НПАОП 40.1-1.32-01. Правила будови електроустановок. Київ, 2001. С. 117

4. Кулаков О. В., Катунін А. М., Рудаков С. В. Дослідження блискавозахисту вертикальних резервуарів для нафти та нафтопродуктів //

Проблемы пожарной безопасности: Сб. науч. тр. НУГЗ Украины. 2018. № 43. С. 85-90. URL: <http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfFireSafety/vol43/kulakov.pdf>

5. Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою. Київ, 2016. С. 31.

6. Вибухонебезпечні середовища. Частина 10-1. Класифікація зон. Середовища газові вибухонебезпечні. URL: [http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id\\_doc=78105](http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=78105)

7. Про стандартизацію: Закон України від 05.06.2014 № 1315-VII База даних «Законодавство України» ВР України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1315-18> (дата звернення: 23.01.2020).

8. . Проектування складів нафти і нафтопродуктів з тиском насичених парів не вище 93,3 кПа. Зі Зміною №1 (введена в дію з 01 січня 2000 року). Київ, 1994. С. 151. URL: [http://online.budstandart.com/ru/catalog/doc-page.html?id\\_doc=4920](http://online.budstandart.com/ru/catalog/doc-page.html?id_doc=4920)

9. Вибухонебезпечні середовища. Частина 20-1. Характеристики матеріалів для класифікації газів і парів. Методи та результати випробування. URL: [http://online.budstandart.com/ru/catalog/doc-page.html?id\\_doc=72325](http://online.budstandart.com/ru/catalog/doc-page.html?id_doc=72325)

10. Насосы 6НДв нефтяные бензиновые // ГМС Ливгидромаш. URL: [http://www.hms-livgidromash.ru/catalog/nasosy/nds-ndv/6ndv-b-b-ekh\\_model\\_19400.html](http://www.hms-livgidromash.ru/catalog/nasosy/nds-ndv/6ndv-b-b-ekh_model_19400.html) (дата звернення: 23.01.2020).

*Отримано редколегією 08.01.2020*

О.В. Кулаков, А.М. Катунин

**Влияние вентиляции на класс и размер взрывоопасной зоны, создаваемой паровоздушной взрывоопасной средой в помещении**

Класс взрывоопасной зоны, которая создается паровоздушной взрывоопасной средой в помещении, определяется величиной гипотетического объема взрывоопасной смеси и временем ее существования. Размер взрывоопасной зоны определяется величиной гипотетического объема взрывоопасной смеси в сравнении с объемом помещения, в котором может создаваться взрывоопасная зона. Гипотетический объем взрывоопасной смеси и время ее существования зависят от кратности воздухообмена системы вентиляции в помещении по гиперболическому закону.

**Ключевые слова:** взрывоопасная зона, взрывоопасная смесь, гипотетический объем, время существования.

O. Kulakov, A. Katunin

**Influence of ventilation on determination of class and size of explosive zone that is created by explosive gas atmospheres in apartment**

The class of explosive zone that is created by explosive gas atmospheres in apartment is determined by the size of hypothetical volume of explosive mixture and sometimes her existence. Size of explosive zone determined by the size of hypothetical volume of explosive mixture in comparing to the volume of apartment, an explosive zone can be created in that. The hypothetical volume of explosive mixture and time of her existence depend on multiplicity of ventilation of the system of ventilation in an apartment on a hyperbolic law.

**Keywords:** explosive zone, explosive mixture, hypothetical volume, time of existence.