

УДК 614.84

*О. В. Кулаков, к.т.н., доцент, проф. каф. (ORCID 0000-0001-5236-1949)**А. М. Катунін, к.т.н., с.н.с., доц. каф. (ORCID 0000-0003-2171-4558)**О. І. Ляшевська, к.держ.упр., доцент, викл. каф. (ORCID 0000-0002-1469-4141)**Національний університет цивільного захисту України, Харків, Україна*

ОСОБЛИВОСТІ ВИЗНАЧЕННЯ КЛАСІВ І РОЗМІРІВ ВИБУХОНЕБЕЗПЕЧНИХ ЗОН НАВКОЛО ЗОВНІШНІХ УСТАНОВОК

Встановлені особливості визначення класів і розмірів вибухонебезпечних зон, що створюються газо- пароповітряним вибухонебезпечним середовищем навколо зовнішніх установок. Національна класифікація вибухонебезпечних зон здійснюється двома методами, один з яких є детермінованим, а другий – розрахунковим. Газо- пароповітряне вибухонебезпечне середовище може утворювати вибухонебезпечні зони класів 0, 1, 2. Для розрахункового методу вихідними параметрами є кліматичні умови, властивості небезпечної речовини, ступінь витoku та рівень вентиляції. Визначається інтенсивність витoku небезпечної речовини, розраховуються гіпотетичний об'єм вибухонебезпечного середовища, якій порівнюється з фіксованим значенням загального об'єму, що вентилюється. Гіпотетичний об'єм та час існування вибухонебезпечного середовища залежать від швидкості вітру за гіперболічним законом. На прикладі зовнішньої установки у вигляді негерметичної муфти надземного газопроводу природного газу показано, що швидкість вітру оказує суттєвий вплив на величину гіпотетичного об'єму вибухонебезпечного середовища. При швидкості, що відповідає за шкалою Бофорта тихому вітру, навколо зовнішньої установки створюється вибухонебезпечна зона класу 1. При швидкості, що відповідає за шкалою Бофорта легкому вітру, створюється вибухонебезпечна зона класу 2. Зниження температури навколишнього середовища призводить до зменшення величини гіпотетичного об'єму вибухонебезпечного середовища. Інтенсивність витoku небезпечної речовини суттєво впливає на клас вибухонебезпечної зони. Для кожного виду небезпечної речовини необхідно визначати граничне значення інтенсивності витoku, вище якої має місце вибухонебезпечна зона класу 1, а нижче – класу 2. Час існування вибухонебезпечного середовища не залежить від температури навколишнього середовища й інтенсивності витoku та швидко зменшується зі збільшенням швидкості вітру.

Ключові слова: вибухонебезпечна зона, зовнішня установка, вибухонебезпечне середовище, гіпотетичний об'єм, швидкість вітру, час існування

1. Вступ

Електроустановки, що розташовано у вибухонебезпечних зонах (ВНЗ), уявляють підвищену вибухонебезпеку. Клас ВНЗ визначає особливі правила улаштування електроустановок.

У порівнянні зі звичайними умовами, наслідки пожеж у ВНЗ є надзвичайно резонансними. Наймасштабнішою пожежею за часів незалежності України, що призвела до значних людських і матеріальних втрат, була пожежа, яка виникла 08 червня 2015 року на одному з резервуарів з паливом на території нафтобази групи компаній «БРСМ-Нафта» у Київській області. На пожежі загинуло п'ятеро людей, у тому числі троє рятувальників, та 16 – отримали травми різного ступеню тяжкості. Пожежа тривала майже два тижні. Причиною пожежі став недолік конструкції та виробництва електроустановок, внаслідок чого виникло коротке замикання у пересувному насосному електроагрегаті, розташованому у ВНЗ.

Тому проблема забезпечення вибухопожежної безпеки електроустановок у вибухонебезпечних зонах є актуальною.

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Відомо, що значна кількість технологічних процесів виробництв супроводжується обертанням вибухонебезпечних речовин (горючих газів (ГГ),

легкозаймистих рідин (ЛЗР) та вибухонебезпечного пилу), що створюють ВНЗ. Одним з основних напрямків попередження вибухів у ВНЗ є запобігання появи в них джерел запалювання електричного походження. Тому правильне визначення класу і розміру ВНЗ, з одного боку, попереджає вибух, а, з іншого боку, зменшує витрати на улаштування вибухозахищеного електричного обладнання.

В різних країнах існують національні органи стандартизації. Наприклад, в Європі питаннями стандартизації у сфері електричних технологій займається Міжнародна електротехнічна комісія (International Electrotechnical Commission) [1], в США – Національна протипожежна асоціація (National Fire Protection Association) [2]. Як наслідок, класифікація ВНЗ здійснюється по різному: в Європі – згідно [3, 4], США – згідно [5]. Це призводить до різних класифікацій ВНЗ та методів визначення їх розмірів, внаслідок чого з'являються торговельні бар'єри у вигляді, зокрема, необхідності національної сертифікації для імпортуемого електротехнічного обладнання.

В [6] виконане порівняння європейського та північноамериканського підходів до класифікації ВНЗ. Метою статті є огляд різних методів визначення розмірів ВНЗ на промислових об'єктах, де можуть бути присутні вибухонебезпечні газові або парові атмосфери. Аналізуються і порівнюються три різні підходи. Перший підхід рекомендований північноамериканськими стандартами NFPA [2], другий підхід рекомендований міжнародним стандартом ІЕС [3] (прийнятим як європейський стандарт EN 60079-10-1), третій підхід розроблений за участю авторів і прийнятий італійським керівництвом як національний стандарт CEI 31-35. Останні два підходи носять аналітичний характер, а перший – приписуючий. В результаті порівнюються розміри небезпечних зон і обговорюються відмінності між цими трьома методами. Автори вважають, що найбільш точним є метод CEI 31-35.

В [7] показано, що класичне європейське визначення класів ВНЗ здійснюється «полукількісними» методами порівняння фактичної ситуації з типовими прикладами, що у визначених випадках призводить необґрунтованого до збільшення класу та розміру ВНЗ. У роботі встановлено особливості класифікації ВНЗ та пропонується оптимізація визначення їх розмірів залежно від висоти знаходження джерела витоку, яка не призводить, на думку авторів, до завищення вимог безпеки.

Робота [8] ґрунтується на європейській класифікації ВНЗ. Показано, що, як правило, оцінка ризику появи ВНЗ здійснюється абстрактно, без урахування впливу суб'єктивного людського та організаційного факторів (HOF – Human and Organizational Factors). Робота сфокусована на впливі HOF на методи оцінки ризиків утворення ВНЗ. Стверджується, що до 80 % нещасних випадків на виробництві, пов'язаних з ВНЗ, мали за причину помилкові дії операторів (HOF-причини). Слід відмітити, що HOF-причини мають місце й при нормативному визначенні класів та розмірів ВНЗ, зокрема при встановленні вихідних параметрів.

В [9] досліджено особливості визначення класів і розмірів ВНЗ, що створюється пароповітряним вибухонебезпечним середовищем (BC) у приміщенні. Показано, що клас ВНЗ, що створюється у цьому випадку, визначається величиною гіпотетичного об'єму BC та часом її існування. Розмір ВНЗ визначається величиною гіпотетичного об'єму BC у порівнянні з об'ємом приміщення, в якому може створюватися ВНЗ. Гіпотетичний об'єм BC та час

його існування залежать від кратності повітрообміну системи вентиляції у приміщенні за гіперболічним законом. Не дослідженим є визначення особливостей визначення класів і розмірів ВНЗ, що створюються навколо зовнішніх установок.

В [10] автор вважає, що метод визначення розмірів ВНЗ, регламентований [3], не є точним. Для збільшення точності пропонується, так званий, «турбулентний» підхід. Виведено рівняння виносу небезпечної речовини, в якому за рахунок вибору коефіцієнту виносу речовини зменшується відстань, на якій утворюються ВС. Фактично застосування цього підходу призводить до зменшення розміру ВНЗ, що оправдано економічно, але може призвести до послаблення вибухопожежної безпеки об'єктів з ВНЗ.

В [11] запропоновано модифікацію методу [3] розрахунку розмірів ВНЗ, що утворюються внаслідок викиду ГГ з ємностей під тиском. Стандарт [3] є рекомендованим та дозволяє використання інших методів розрахунку. Автори пропонують для розрахунку розмірів ВНЗ застосування методів обчислювальної гідродинаміки (Computational Fluid Dynamics – CFD methods). Коефіцієнт виносу фіксується шляхом порівняння з даними для вільного струменя, а потім прогнози моделі порівнюються з розрахунками CFD для дисперсії в замкнутому об'ємі. Але при застосування CFD методів розрахований розмір ВНЗ є значно меншим, як й у роботі [10] у порівнянні з розмірами, визначеними за [3].

В [12] розпочато, а в [13] продовжено прикладне тематичне дослідження щодо можливості утворення ВНЗ у біогазових установках. Тема актуальна в рамках створення конкурентоспроможної, безпечної та стійкої енергетичної системи Європи (планується довести до 30% споживання енергії за рахунок відновлювальної енергетики). Складовою частиною біогазу є метан. На основі вимог стандартів ІЕС в роботі класифіковано ВНЗ елементів біогазових установок (компресори, клапани, фланці тощо). Визначено місця встановлення вентиляційних агрегатів з метою зниження концентрацій небезпечних речовин та зменшення розмірів ВНЗ.

В [14] проаналізовано розміри ВНЗ, що утворюється при розливі рідкого водню. Хмара парів, утворена при розливі рідкого водню, представляє серйозну загрозу для життя і майна, і дуже важливо визначити безпечну відстань (максимальна відстань з підвітряного боку хмари легкозаймистої пари до джерела розливу) для оцінки ризику і забезпечення безпечного захисту. Виконано тримірне CFD – моделювання, що прогнозує наслідки розливу рідкого водню на відкритому просторі, і проаналізовані варіаційні характеристики безпечної відстані з різними параметрами. Встановлена кореляція, яка зв'язує безпечну відстань із швидкістю вітру і швидкістю розливу для застосування в реальному часі при аварії з розливом рідкого водню. В роботі застосовується методи, що не регламентовано діючими нормами ІЕС [1], що призводить до заниження розмірів ВНЗ у порівнянні з нормативними.

В [15] підсумовано нормативні рекомендації директив АТЕХ (Appareils destinés à être utilisés en ATmosphères EXplosibles) Євросоюзу по безпеці організації робіт у вибухонебезпечних просторах. Приведено обов'язки роботодавця щодо забезпечення безпеки робіт у ВНЗ, обов'язки виробників щодо безпеки обладнання для ВНЗ та основну інформацію щодо попередження вибухів та пожеж на робочих місцях. Книга має прикладне спрямування та призначена для практичних працівників.

В більшості проаналізованих робіт досліджуються вибухонебезпечні зони, що створюються у закритих об'ємах, та визначеним класом речовин. Важливою та недостатньо дослідженою частиною проблеми, що розглядається, слід вважати визначення особливостей визначення класів і розмірів вибухонебезпечних зон, що створюються газо- пароповітряним вибухонебезпечним середовищем навколо зовнішніх установок.

3. Мета та завдання дослідження

Метою роботи є встановлення особливостей визначення класів і розмірів вибухонебезпечних зон, що створюються газо- пароповітряним вибухонебезпечним середовищем навколо зовнішніх установок.

Для досягнення мети роботи поставлені наступні завдання:

- провести аналіз національної класифікації вибухонебезпечних зон, що створюються газо- пароповітряним вибухонебезпечним середовищем навколо зовнішніх установок;
- встановити особливості визначення класів і розмірів вибухонебезпечних зон, що створюються газо- пароповітряним вибухонебезпечним середовищем навколо зовнішніх установок, залежно від кліматичних умов, властивостей небезпечних речовин, ступеня та інтенсивності їх витоку.

4. Аналіз національної класифікації вибухонебезпечних зон навколо зовнішніх установок

Вважаємо, що зовнішня установка (ЗУ) – установка, розміщена поза приміщенням (зовні) просто неба або під дахом чи за сітчастими захисними конструкціями.

В Україні класифікація ВНЗ здійснюється за двома нормами: стандартом, ідентичним версії 2.0 [3] та прийнятим як національний ДСТУ EN 60079-10-1 методом обкладинки, та національними правилами [16]. При цьому відповідно до національного законодавства вимоги [3] не є обов'язковими, а вимоги [16] є обов'язковими.

Згідно національного ДСТУ EN 60079-10-1, ідентичного версії 2.0 [3], газо-, пароповітряні ВС можуть утворювати навколо ЗУ ВНЗ трьох класів: 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).

Розділення ВНЗ на три класи обумовлено поділом вибухозахищеного електрообладнання за вибухозахистом на три рівня (підвищена надійність проти вибуху, вибухобезпечне та особливовибухобезпечне) [17, 18]. ВНЗ кожного класу відповідає певний рівень вибухозахисту електрообладнання (ВНЗ 2 – підвищена надійність проти вибуху, ВНЗ 1 – вибухобезпечне, ВНЗ 0 – та особливо вибухобезпечне; за певних обставин у ВНЗ 2 можливо застосування загальнопромислового електрообладнання за ступенем захисту оболонки не нижче IP54 [19]).

Має бути складений перелік характеристик усіх горючих речовин, використовуваних в технологічному процесі, який повинен обов'язково включати значення молекулярної маси, температури спалаху, температури кипіння, температури самозаймання, тиску і щільності пари, концентраційних меж займання, групу вибухонебезпечних сумішей і температурний клас [20].

Клас і розмір ВНЗ залежать від ступеня витоку та рівня вентиляції. При безперервному витоку небезпечної речовини (виток, що існує постійно, наприклад, пове-

рхня над рівнем рідини в резервуарі з постійно відкритим в атмосферу вентиляційним клапаном) створюється, як правило, ВНЗ класу 0; при витокі першого ступеня небезпечної речовини (виток, що є випадковим при нормальному режимі роботи, наприклад, об'єм над вентиляційним клапаном резервуару, через який можливий виток в атмосферу небезпечної речовини при нормальній роботі; вентиляція відсутня) створюється ВНЗ класу 1; при витокі другого ступеня небезпечної речовини (виток, не можливий при нормальних режимах роботи, наприклад, об'єм над вентиляційним клапаном резервуару, через який відсутній виток в атмосферу небезпечної речовини при нормальній роботі; вентиляція відсутня) створюється ВНЗ класу 2.

Класи і розміри ВНЗ навколо ЗУ визначаються розрахунком. Вихідними параметрами є:

- кліматичні умови;
- властивості небезпечних речовин;
- ступінь витокі небезпечної речовини (безперервний, першого або другого ступеня); залежно від ступеня витокі вводиться коефіцієнт 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 витокі $(\frac{dG}{dt})_{\max}$ небезпечної речовини. Для ЛЗР інтенсивність витокі визначається за формулою:

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

де $C_d \leq 1$ – коефіцієнт витокі; S – площа поперечного перерізу отвору, через який відбувається виток, м^2 ; ρ – густина ЛЗР, кг/м^3 ; Δp – різниця тиску в отворі, з якого здійснюється виток, Па.

Для ГГ, що витікає з резервуару з граничною швидкістю (зі швидкістю, рівною швидкості звуку для даного ГГ), інтенсивність витокі визначається за формулою:

$$(\frac{dG}{dt})_{\max} = C_d \cdot S \cdot P \cdot \sqrt{\gamma \cdot \frac{M}{R \cdot T} \cdot (\frac{2}{\gamma + 1})^{\frac{\gamma + 1}{2 \cdot (\gamma - 1)}}}, \text{ кг/с}, \quad (2)$$

де P – тиск всередині резервуару, Па; M – молярна маса газу, кг/кмоль ; $R = 8,3 \cdot 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{кмоль} \cdot \text{К}}$ – універсальна газова константа; T – абсолютна температура всередині резервуару, К; $\gamma = \frac{M \cdot C_p}{M \cdot C_p - R}$ – відношення питомих теплоємностей (показник політропи адіабатичного розширення); C_p – питома теплоємність при постійному тиску, $\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$.

Для ГГ, що витікає з резервуару з дограничною швидкістю (зі швидкістю нижче швидкості звуку для даного ГГ), інтенсивність витокі визначається за формулою:

$$(\frac{dG}{dt})_{\max} = C_d \cdot S \cdot P \cdot \sqrt{\frac{M}{R \cdot T} \cdot \frac{2 \cdot \gamma}{\gamma - 1} \cdot [1 - (\frac{P_0}{P})^{\frac{\gamma - 1}{\gamma}}] \cdot (\frac{P_0}{P})^{\frac{1}{\gamma}}}, \text{ кг/с}, \quad (3)$$

де P_0 – тиск зовні резервуару, Па;

– рівень вентиляції (високий (забезпечує миттєве зниження концентрації пара до рівня нижче НКМПП), середній (концентрація небезпечної рідини за межами ВНЗ під час витоку пару, є меншою НКМПП), низький (не дозволяє швидко усунути ВС після усунення витоку). На відкритому просторі необхідно враховувати можливість зміни напрямку вентиляції (вітру) та відносну щільність газу або пару.

Визначається мінімальна об'ємна витрата свіжого повітря:

$$\left(\frac{dV}{dt}\right)_{\min} = \frac{\left(\frac{dG}{dt}\right)_{\max}}{k \cdot C_H^0} \cdot \frac{T}{293}, \text{ м}^3/\text{с}, \quad (4)$$

де T – температура навколишнього середовища, К; C_H^0 – НКМПП, кг/м³.

Розраховується гіпотетичний об'єм ВС:

$$V_z = \frac{f \cdot \left(\frac{dV}{dt}\right)_{\min}}{C}, \text{ м}^3, \quad (5)$$

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

Для ЗУ вважається, що на відкритому просторі забезпечується кратність повітрообміну $C \geq 100 \frac{1}{\text{год}}$. При цьому оговорюється, що значення V_z , отримане по

формулі (5), є завищеним, тому що на відкритому повітрі розсіювання ВС фактично здійснюється швидше. Тому в розрахунках коефіцієнт ефективності розсіювання f приймається мінімальним.

Для першого та другого ступенів витоку визначають час існування ВС:

$$t = \frac{-f}{C} \cdot \ln \frac{C_H^0 \cdot k}{X_0}, \text{ годин}, \quad (6)$$

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

Розмір ВНЗ визначається величиною гіпотетичного об'єму ВС V_z у співвідношенні до загального об'єму V_0 , що вентилюється. При розрахунках для ЗУ V_0 приймається фіксованим ($V_0 = 3400 \text{ м}^3$, що відповідає кубу зі стороною 15 м). 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.

Згідно [16] газо-, пароповірянні ВС можуть утворювати навколо ЗУ ВНЗ двох класів: 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).

Розмір ВНЗ визначається фіксованою відстанню, на який існує ВС у концентрації не нижче НКМПП. ВНЗ класу 1 допускається приймати в межах не більше 1 м від місця викиду ГГ або парів ЛЗР. За межами ВНЗ класу 1 буде, як правило, наявна ВНЗ класу 2.

ВНЗ класу 2 допускається приймати в межах до:

– 0,5 м по горизонталі і вертикалі від закритих віконних і дверних прорізів зовнішніх стін приміщення в разі примикання до прорізу вибухонебезпечних зон класів 1, 21;

– 3 м по горизонталі і вертикалі від закритих технологічних апаратів, заповнених ГГ та ЛЗР; від витяжних вентиляторів, які встановлені зовні приміщень і обслуговують приміщення з вибухонебезпечними зонами класів 1, 21;

– 5 м по горизонталі і вертикалі від пристрою для викиду із запобіжних і дихальних клапанів ємностей і технологічних апаратів з ГГ або ЛЗР; від відкритих прорізів у зовнішніх стінах приміщення в разі примикання до прорізу вибухонебезпечних зон класів 1, 2, 21; від розташованих на захисних конструкціях будинків пристроїв для викиду повітря із систем витяжної вентиляції приміщень з вибухонебезпечними зонами класів 1, 21;

– 20 м по горизонталі і вертикалі від місця відкритого зливу і наливу для естакад з відкритим зливом і наливом ЛЗР.

З проведеного аналізу можливо зробити висновок про неоднозначність національної класифікації вибухонебезпечних зон, що створюються газопароповітряним вибухонебезпечним середовищем навколо зовнішніх установок. Класифікація здійснюється двома методами, один з яких є детермінованим, а другий – розрахунковим. Методи суперечать один одному як при визначенні класів вибухонебезпечних зон, так й при встановленні їх розмірів.

5. Дослідження особливостей визначення класів і розмірів вибухонебезпечних зон

Згідно національного ДСТУ EN 60079-10-1, ідентичного версії 2.0 [3], клас ВНЗ навколо ЗУ, як й для приміщень [9], визначається величиною гіпотетичного об'єму ВС V_z у порівнянні з загальним об'ємом V_0 з та часом існування ВС t .

Аналіз формул (5) та (6) показує, що гіпотетичний об'єм ВС V_z та час існування ВС t залежать від кратності повітрообміну C за гіперболічним законом виду $\frac{K}{C}$. Для V_z коефіцієнт K залежить від кліматичних умов, властивостей ЛЗР, ступеня витоку та інтенсивності витоку $\left(\frac{dG}{dt}\right)_{\max}$ рідини. Для t коефіцієнт K залежить від властивостей ЛЗР, кліматичних умов, та ступеня витоку рідини.

Для ЗУ характерним є поняття швидкості вітру v_b , а не кратності повітрообміну C . Для ЗУ приймається фіксоване значення $V_0 = 3400 \text{ м}^3$, що відповідає кубу зі стороною 15 м. З простих геометричних міркувань куб зі стороною 15 м має об'єм $V = 3375 \text{ м}^3$. В таблиці 1 приведена відповідність швидкості вітру v_b кратності повітрообміну C для кубу зі стороною 15 м, отримана також з геометричних міркувань, необхідна для розрахунку класу та розміру ВНЗ навколо ЗУ.

Табл. 1. Відповідність швидкості вітру v_B кратності повітрообміну C для кубу зі стороною 15 м

v_B , м/с	0,25	0,5	1	1,5	2	3
C , 1/год	60	120	240	360	480	720

Слід відмітити, що за шкалою Бофорта [21] вітер зі швидкістю $v_B = 0,3 \div 1,5$ м/с вважається тихим, а вітер зі швидкістю $v_B = 1,6 \div 3,4$ м/с вважається легким.

З таблиці видно, що вже вітер малої швидкості для ЗУ створює повітрообмін великої кратності, тобто навіть незначний рух повітря призводить до значного повітрообміну.

Для ілюстрації визначимо клас ВНЗ, що створюється навколо негерметичної муфти надземного газопроводу природного газу за різних умов.

Метан має молярну масу $M=16,04$ кг/кмоль, НКМПП $C_H^0 = 0,033$ кг/м³ (5% об'ємних). За нормальних умов муфта повинна бути герметичною, тобто ступінь витoku другий та коефіцієнт безпеки $k = 0,5$. Для ЗУ коефіцієнт ефективності розсіювання ВС приймаємо мінімальним $f=1$. Швидкість витoku вважаємо постійною та достатньо високою $(\frac{dG}{dt})_{\max} = 1$ кг/с (об'єм 1 кг метану рівний 1395 л).

На рис. 1 приведено залежності гіпотетичного об'єму ВС V_z від швидкості вітру v_B , що створюється навколо негерметичної муфти надземного газопроводу природного газу за різних температур навколишнього середовища T .

На рис. 2 приведено залежності гіпотетичного об'єму ВС V_z від швидкості вітру v_B , що створюється навколо негерметичної муфти надземного газопроводу природного газу для різних інтенсивностей витoku $(\frac{dG}{dt})_{\max}$ при температурі навколишнього середовища $T=293$ К.

На рис. 3 приведено залежності часу існування ВС t від швидкості вітру v_B , що створюється навколо негерметичної муфти надземного газопроводу природного газу.

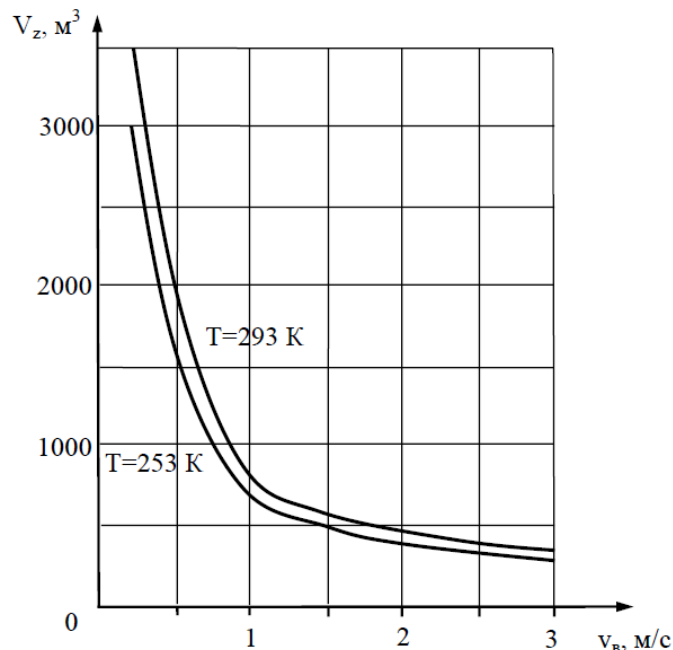


Рис. 1. Залежності гіпотетичного об'єму ВС V_z від швидкості вітру v_B , що створюється навколо негерметичної муфти надземного газопроводу природного газу за різних температур навколишнього середовища T

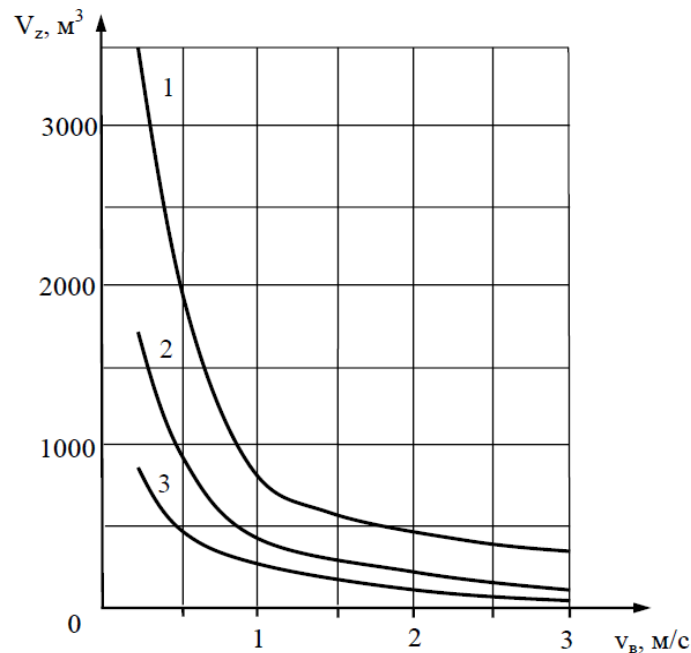


Рис. 2. Залежності гіпотетичного об'єму ВС V_z від швидкості вітру v_B , що створюється навколо негерметичної муфти надземного газопроводу природного газу для різних інтенсивностей витоку $(\frac{dG}{dt})_{\max}$ (крива 1 – $(\frac{dG}{dt})_{\max} = 1,0$ кг/с, крива 2 – $(\frac{dG}{dt})_{\max} = 0,5$ кг/с, крива 3 – $(\frac{dG}{dt})_{\max} = 0,25$ кг/с) при температурі навколишнього середовища $T=293$ К

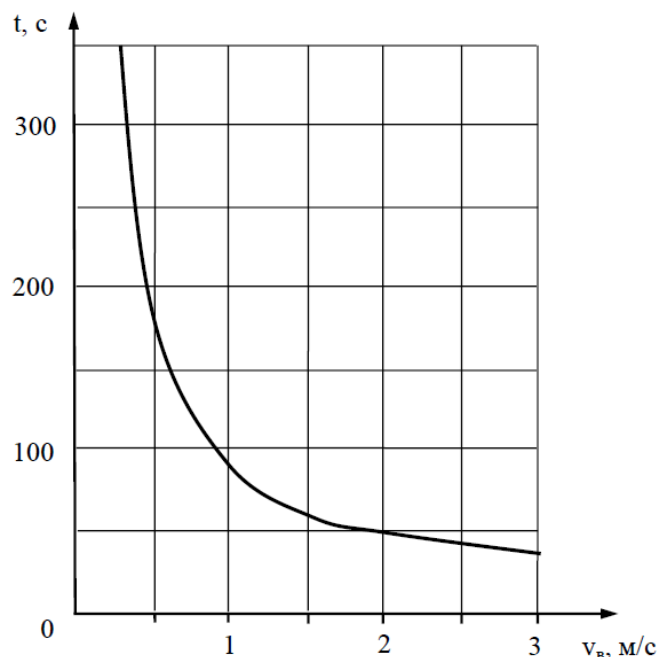


Рис. 3. Залежності часу існування ВС t від швидкості вітру v_B , що створюється навколо негерметичної муфти надземного газопроводу природного газу

За правилами [16] навколо негерметичної муфти надземного газопроводу природного газу створюється ВНЗ класу 2 на відстані до 3 м по горизонталі і вертикалі.

При визначенні розмірів ВНЗ згідно національного ДСТУ EN 60079-10-1, ідентичного версії 2.0 [3], припускається, що ВНЗ має ідеальну форму шару з центром в точці витоку. Знаючи гіпотетичний об'єм ВС V_z з геометричних міркувань легко визначається відстань, на якій від джерела витоку створюється ВНЗ того чи іншого класу.

В національних правилах [16] для визначення розмірів ВНЗ навколо ЗУ ап-ріорно вважається, що вона має форму шару з центром в точці витoku визначеного радіусу (без проведення розрахунків).

6. Обговорення результатів дослідження особливостей визначення класів і розмірів вибухонебезпечних зон

При проведенні аналізу національної класифікації вибухонебезпечних зон, що створюються газо- пароповітряним вибухонебезпечним середовищем навколо зовнішніх установок, виявлено її неоднозначність. Класифікація здійснюється двома методами, що суперечать один одному.

При встановленні особливостей визначення класів і розмірів вибухонебезпечних зон, що створюються газо- пароповітряним вибухонебезпечним середовищем навколо зовнішніх установок, побудовано залежності величини гіпотетичного об'єму ВС, що створюється навколо негерметичної муфти надземного газопроводу природного газу, від швидкості вітру для різних температур навколишнього середовища (рис. 1) та різних інтенсивностей витoku при визначеній температурі навколишнього середовища (рис. 2), а також залежність часу існування ВС від швидкості вітру (рис. 3).

З рис. 1 випливає, що при температурі навколишнього середовища $T=293$ К та швидкості вітру до $v_b=0,25$ м/с V_z перевищує V_0 . Тому рівень вентиляції низький й має місце ВНЗ класу 1. При температурі навколишнього середовища $T=293$ К та швидкості вітру від $v_b=0,25$ м/с до $v_b=3$ м/с V_z менше V_0 але вище $0,1$ м³ – тому рівень вентиляції середній. Має місце ВНЗ класу 2. При температурі навколишнього середовища $T=253$ К та швидкості вітру від $v_b=0,25$ м/с до $v_b=3$ м/с V_z менше V_0 але вище $0,1$ м³ – тому рівень вентиляції середній. Має місце ВНЗ класу 2.

З рис. 2 видно, що інтенсивність витoku $(\frac{dG}{dt})_{max}$ суттєво впливає на клас ВНЗ.

При $(\frac{dG}{dt})_{max} > 0,92$ кг/с, температурі навколишнього середовища $T=293$ К та швидкості вітру від $v_b=0,25$ м/с до $v_b=3$ м/с $V_z > V_0$ – тому рівень вентиляції низький. Має місце ВНЗ класу 1. При $(\frac{dG}{dt})_{max} \leq 0,92$ кг/с, температурі навколишнього середовища $T=293$ К та швидкості вітру від $v_b=0,25$ м/с до $v_b=3$ м/с V_z менше V_0 але вище $0,1$ м³ – тому рівень вентиляції середній. Має місце ВНЗ класу 2.

Час існування ВС t не залежить від температури навколишнього середовища T й інтенсивності витoku та швидко зменшується за гіперболічним законом зі збільшенням швидкості вітру (див. рис. 3).

Розмір ВНЗ визначається з величини гіпотетичного об'єму ВС V_z . З рис. 1 видно, що в ідеальному випадку при $T=293$ К ВНЗ класу 1 має форму шару з радіусом 9,5 м при $v_b=0,25$ м/с. ВНЗ класу 2 також має форму шару з радіусом, що змінюється від 6,0 м при $v_b=1$ м/с до 4,2 м при $v_b=3$ м/с.

В реальних умовах вітрового впливу, якщо газ або пар рідини є легшими повітря, вони будуть підійматися вгору. Навпаки, якщо газ або пар рідини є важчими за повітря, вони будуть скупчуватися біля землі. Тобто для газу або пару рі-

дини що є легшими повітря протяжність ВНЗ у вертикальному напрямку буде збільшуватися, а для газу або пару рідини що є важчими повітря протяжність ВНЗ буде збільшуватися у горизонтальному напрямку.

7. Висновки

1. Проведений аналіз національної класифікації вибухонебезпечних зон, що створюються газо- пароповітряним вибухонебезпечним середовищем навколо зовнішніх установок. Виявлено, що класифікація здійснюється за двома методами, один з яких є детермінованим, а другий – розрахунковим. Методи суперечать один одному як при визначенні класів вибухонебезпечних зон, так й при встановленні їх розмірів. Для визначення класу і розміру вибухонебезпечних зон доцільно застосувати розрахунковий метод. Вихідними параметрами є кліматичні умови, небезпечні властивості речовин, ступінь витоку та рівень вентиляції. Визначається інтенсивність витоку небезпечної речовини, розраховуються гіпотетичний об'єм вибухонебезпечного середовища, якій порівнюється з фіксованим значенням загального об'єму, що вентилюється. Гіпотетичний об'єм та час існування вибухонебезпечного середовища залежать від швидкості вітру за гіперболічним законом.

2. Встановлено особливості визначення класів і розмірів вибухонебезпечних зон, що створюються газо- пароповітряним вибухонебезпечним середовищем навколо зовнішніх установок, залежно від кліматичних умов, властивостей небезпечних речовин, ступеня та інтенсивності їх витоку. На прикладі зовнішньої установки у вигляді негерметичної муфти надземного газопроводу природного газу показано, що швидкість вітру оказує суттєвий вплив на величину гіпотетичного об'єму вибухонебезпечного середовища. При швидкості, що відповідає за шкалою Бофорта тихому вітру, навколо зовнішньої установки створюється вибухонебезпечна зона класу 1. При швидкості, що відповідає за шкалою Бофорта легкому вітру, створюється вибухонебезпечна зона класу 2. Зниження температури навколишнього середовища призводить до зменшення величини гіпотетичного об'єму вибухонебезпечного середовища. Інтенсивність витоку небезпечної речовини суттєво впливає на клас вибухонебезпечної зони. Для кожного виду небезпечної речовини необхідно визначати граничне значення інтенсивності витоку, вище якої має місце вибухонебезпечна зона класу 1, а нижче – класу 2. Час існування вибухонебезпечного середовища не залежить від температури навколишнього середовища й інтенсивності витоку та швидко зменшується зі збільшенням швидкості вітру. При визначенні класу та розміру вибухонебезпечної зони навколо зовнішньої установки доцільно враховувати гірші умови.

Література

1. International Electrotechnical Commission (IEC) // IHS Markit Standards Store. URL: <https://global.ihc.com/standards.cfm?publisher=IEC>
2. National Fire Protection Association (NFPA). URL: <https://www.nfpa.org>
3. IEC 60079-10-1: 2020. Explosive atmospheres – Part 10-1: Classification of areas – Explosive gas atmospheres. Geneva, 2020. 236 p. URL: <https://webstore.iec.ch/publication/63327>
4. IEC 60079-10-2: 2015. Explosive atmospheres – Part 10-2: Classification of areas – Explosive dust atmospheres. Geneva, 2015. 92 p. URL: <https://webstore.iec.ch/publication/623>

5. ANSI/NFPA 70. National Electrical Code. 2020 editor. URL: <https://www.nfpa.org/codes-and-standards/all-codes-and-standards/list-of-codes-and-standards/detail?code=70>

6. Tommasini R., Pons E., Palamara F. Area classification for explosive atmospheres: Comparison between European and North American approaches // Industry Applications Society 60th Annual Petroleum and Chemical Industry Conference, Chicago. IL. USA. 2013. P. 1–7. doi: 10.1109/PCIcon.2013.6666015

7. Mihoub Z., Ouslati A., Smadi H. Determination and Classification of Explosive Atmosphere Zones While Considering the Height of Discharges // Journal of Failure Analysis and Prevention. 2020. V. 20. P. 503–512. doi: 10.1007/s11668-020-00851-8

8. Geng J. Innovation Driven by Human and Organizational Factors (HOF) in Risk Assessment Methodologies and Standards: ATEX (Explosive Atmosphere) Risk Assessment Application: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня Ph.D / J. Geng. – Polytechnic University of Turin, 2016. doi: 10.6092/polito/porto/2642505

9. Кулаков О. В., Катунін А. М. Вплив вентиляції на визначення класу і розміру вибухонебезпечної зони, що створюється пароповітряним вибухонебезпечним середовищем у приміщенні // Проблеми пожежної безпеки. 2020. № 47. С. 65–70. URL: <https://nuczu.edu.ua/images/topmenu/science/zbirky-naukovykh-prats-ppb/ppb47/10.pdf>

10. Benintendi R. Turbulent jet modelling for hazardous area classification // Journal of Loss Prevention in the Process Industries. 2010. V. 23. P. 373–378. doi: 10.1016/j.jlp.2009.11.004

11. Webber D., Ivings M., Santon R. Ventilation theory and dispersion modelling applied to hazardous area classification // Journal of Loss Prevention in the Process Industries. 2011. V. 24. Is. 5. P. 612–621. doi: 10.1016/j.jlp.2011.04.002

12. Lauri R. Atmosfere potenzialmente esplosive: metodologia di valutazione della distanza pericolosa derivante da emissioni di compressori // La Termotecnica. 2016. № 5. P. 51–54. URL: <https://verticale.net/metodologia-di-valutazione-della-distanza-pericolosa-9553>

13. Lauri R. A Methodological Approach for the Characterization of Hazardous Zones due to Potentially Explosive Atmospheres: a Case Study // Chemical engineering transactions. 2018. V. 67. P. 169–174. doi: 10.3303/CET1867029

14. Liu Y., Liu Z., Wei J., Lan Y., Yang S., Jin T. Evaluation and prediction of the safe distance in liquid hydrogen spill accident // Process Safety and Environmental Protection. 2021. V. 146. P. 1–8. doi: 10.1016/j.psep.2020.08.037

15. Jespen T. ATEX – Explosive Atmospheres. Springer Series in Reliability Engineering. Springer, 2016. 197 p. doi: 10.1007/978-3-319-31367-2

16. НПАОП 40.1-1.32-01. Правила будови електроустановок. Харків, 2013. 99 с. URL: https://dnaop.com/html/1692/doc-НПАОП_40.1-1.32-01.

17. IEC 60050-426: 2020. International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Part 426: Equipment for Explosive atmospheres. Geneva, 2020. 430 p. URL: <https://webstore.iec.ch/publication/60194>

18. IEC 60079-0: 2017. Explosive atmospheres – Part 0: Equipment – General requirements. Geneva, 2017. 279 p. URL: <https://webstore.iec.ch/publication/32878>

19. IEC 60529:1989+AMD1:1999+AMD2:2013. Degrees of protection provided by enclosures (IP Code). Geneva, 2013. 207 p. URL: <https://webstore.iec.ch/publication/2452>

20. ISO/IEC 80079-20-1:2017. Explosive atmospheres – Part 20-1: Material characteristics for gas and vapour classification – Test methods and data. Geneva, 2017. 176 p. URL: <https://www.iso.org/standard/69556.html>

21. The Beaufort scale / From Wikipedia, the free encyclopedia. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/of_Beaufort_of_scale

O. Kulakov, PhD, Associate Professor, Professor of the Department
A. Katunin, PhD, Senior Researcher, Associate Professor of the Department
E. Lyashevskaya, PhD, Associate Professor, Lecturer of the Department
National University of Civil Defence of Ukraine, Kharkiv, Ukraine

PROBLEMS OF CALCULATION OF CLASSES AND SIZES OF EXPLOSIVE ZONES ROUND EXTERNAL EQUIPMENTS

Found out features of determination of classes and sizes of explosive zones that is created by explosive gas atmospheres round external equipments. National classification comes true by two methods, one of that is determined, and other - by a calculation. Explosive gas atmospheres round external equipments can form the explosive zones of classes 0, 1, 2. At application of calculation method initial parameters are climatic terms, properties are dangerous substances, degree of source and level of ventilation. Intensity of source of liquid is determined, settle accounts hypothetical volume of explosive environment, compared that to the fixed value of general volume that is ventilated. An of hypothetical volume and time of existence of explosive environment depend on speed of wind on a hyperbolic law. For example of the external equipments it is shown as an untight muff of above - ground gas pipeline of natural gas, that speed of wind is substantial influences on the size of hypothetical volume of explosive environment. At of speed that answers quiet wind after a scale of Beaufort, round the external equipment the explosive zone of class is created 1. At of speed that answers easy wind after a scale of Beaufort, round the external equipment the explosive zone of class is created 2. If decline of ambient temperature results in diminishing of size of hypothetical volume of explosive environment. Intensity of source of hazardous substance substantially influences on the class of explosive zone. For every type of hazardous substance it is necessary to determine the maximum value of intensity of source, higher that the explosive zone of class takes place 1, and below is an explosive zone of class 2. Time of existence of explosive environment does not depend on ambient and intensity of source temperature and quickly diminishes with the increase of speed of wind.

Keywords: explosive zone, external equipments, explosive environment, hypothetical volume, wind speed, time of existence

References

1. HIS Markit Standards Store. (2021). International Electrotechnical Commission (IEC). Available online: <https://global.ihs.com/standards.cfm?publisher=IEC>.

2. National Fire Protection Association (NFPA). (2021). Retrieve from <https://www.nfpa.org>

3. IEC 60079-10-1. (2020). Explosive atmospheres – Part 10-1: Classification of areas – Explosive gas atmospheres. 226. Retrieve from <https://webstore.iec.ch/publication/63327>

4. IEC 60079-10-2. (2015). Explosive atmospheres – Part 10-2: Classification of areas – Explosive dust atmospheres. 92. Retrieve from <https://webstore.iec.ch/publication/623>

5. ANSI/NFPA 70. (2020). National Electrical Code. Retrieve from <https://www.nfpa.org/codes-and-standards/all-codes-and-standards/list-of-codes-and-standards/detail?code=70>

6. Tommasini, R., Pons, E., Palamara, F. (2013). Area classification for explosive atmospheres: Comparison between European and North American approaches. *Industrial Security*. DOI: 10.52363/2524-0226-2021-33-13

try Applications Society 60th Annual Petroleum and Chemical Industry Conference, Chicago, IL, USA, 1–7. doi: 10.1109/PCIcon.2013.6666015

7. Mihoub, Z., Ouslati, A., Smadi, H. (2020). Determination and Classification of Explosive Atmosphere Zones While Considering the Height of Discharges. *Journal of Failure Analysis and Prevention*, 20, 503–512. doi: 10.1007/s11668-020-00851-8

8. Geng, J. (2016). Innovation Driven by Human and Organizational Factors (HOF) in Risk Assessment Methodologies and Standards: ATEX (Explosive Atmosphere) Risk Assessment Application. Ph.D. Thesis, Polytechnic University of Turin. doi: 10.6092/polito/porto/2642505

9. Kulakov, O. V., Katunin, A. M. (2020). Vplyv ventylyaciyi na vyznachennya klasu i rozmiru vybuxonebezpechnoyi zony, shho stvoryuyet sya paropovitryany`m vybuxonebezpechny`m seredovy`shhem u pry`mishhenni. *Problemyi pozharnoy bezopasnosti*, 47, 65–70. Retrieve from <https://nuczu.edu.ua/images/topmenu/science/zbirky-naukovykh-prats-ppb/ppb47/10.pdf>

10. Benintendi, R. (2010). Turbulent jet modelling for hazardous area classification. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 23, 373–378. doi: 10.1016/j.jlp.2009.11.004

11. Webber, D., Ivings, M., Santon, R. (2011). Ventilation theory and dispersion modelling applied to hazardous area classification. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 24(5), 612–621. doi: 10.1016/j.jlp.2011.04.002

12. Lauri, R. (2016). Atmosfere potenzialmente esplosive: metodologia di valutazione della distanza pericolosa derivante da emissioni di compressori. *La Termotecnica*, 5, 51–54. Retrieve from <https://verticale.net/metodologia-di-valutazione-della-distanza-pericolosa-9553>.

13. Lauri, R. (2018). A Methodological Approach for the Characterization of Hazardous Zones due to Potentially Explosive Atmospheres: a Case Study. *Chemical engineering transactions*, 67, 169–174. doi: 10.3303/CET1867029

14. Liu, Y., Liu, Z., Wei, J., Lan, Y., Yang, S., Jin, T. (2021). Evaluation and prediction of the safe distance in liquid hydrogen spill accident. *Process Safety and Environmental Protection*, 146, 1–8. doi: 10.1016/j.psep.2020.08.037

15. Jespen, T. (2016). ATEX – Explosive Atmospheres. *Springer Series in Reliability Engineering*, 197. doi: 10.1007/978-3-319-31367-2

16. NPAOP 40.1-1.32-01. (2013). Pravy`la budovy` elektroustanovok. 117. Retrieve from https://dnaop.com/html/1692/doc-НПАОП_40.1-1.32-01

17. IEC 60050-426. (2020). International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Part 426: Equipment for Explosive atmospheres. 430. Retrieve from <https://webstore.iec.ch/publication/60194>

18. IEC 60079-0. (2017). Explosive atmospheres – Part 0: Equipment – General requirements. 279. Retrieve from <https://webstore.iec.ch/publication/32878>

19. IEC 60529. (2013). Degrees of protection provided by enclosures (IP Code). 207. Retrieve from <https://webstore.iec.ch/publication/2452>

20. ISO/IEC 80079-20-1. (2017). Explosive atmospheres – Part 20-1: Material characteristics for gas and vapour classification – Test methods and data. 176. Retrieve from <https://www.iso.org/standard/69556.html>

21. Wikipedia, the free encyclopedia. (2021). The Beaufort scale. Retrieve from https://en.wikipedia.org/wiki/of_Beaufort_of_scale

Надійшла до редколегії: 04.03.2021

Прийнята до друку: 13.04.2021