УДК 614.844.4

АНАЛІЗ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ГАЗОВИХ ВОГНЕГАСНИХ РЕЧОВИН ДЛЯ СИСТЕМ ПОЖЕЖОГАСІННЯ

https://doi.org/10.33269/nvcz.2024.2.25-34

Бенедюк В. С.* ORCID iD 0000-0002-5109-5295
Онищук А. Є. ORCID iD 0000-0002-1829-126X
Тимошенко О. М., ORCID iD 0000-0001-7568-5030
Коваленко В. В.,ORCID iD 0000-0001-5780-5684
*E-mail: naanotek@ukr.net

Інститут державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту, Україна

ІНФОРМАЦІЯ ПРО СТАТТЮ
Надійшла до редакції: 25.09.2024
Пройшла рецензування: 03.10.2024

КЛЮЧОВІ СЛОВА:
контрольовані речовини, регенерація, рекуперація, рециклінг, газові вогнегасні речовини, зріджені та газоподібні вогнегасні речовини, галогеновані вуглеводні, інертні розріджувачі, інгібітори горіння, мінімальна флегматизувальна та інгібувальна концентрація газових вогнегасних речовин, легкозаймисті рідини і гази, газоповітряна суміш, двофазні газові системи, метод чашкового пальника, газоаналізатор безперервної дії, газорідинна хроматографія

АНОТАЦІЯ
Наведено матеріали аналітичних досліджень та результати аналізування нормативних документів у галузі газових вогнегасних речовин (далі – ГВР), зокрема законодавства України, що регулює правовідносини щодо виробництва, імпорту, експорту, зберігання, використання, розміщення на ринку та поводження з озоноруйнівними речовинами, фторованими парниковими газами, товарами та обладнанням, які їх містять або використовують, що впливає на озоновий шар та рівень глобального потепління. За мету ставилось проведення удосконалення національної нормативної бази через гармонізування з міжнародною з урахуванням оцінювання та контролю якості ГВР. Виявлено окремі недоліки в нормативній документації щодо контролювання показників якості ГВР. Окреслено проблемні питання щодо застосування систем газового пожежогасіння внаслідок негативного впливу ГВР на навколишнє середовище та зміни клімату планети. Запропоновано проведення експериментальних досліджень двофазних газових систем ГВР, що створюються за різних ступенів розбавлення (насичення) ГВР газом-витиснювачем (азотом), з оцінки їхньої вогнегасної ефективності, та визначено перелік необхідного випробувального обладнання і методів експериментальних досліджень. Заплановано розроблення проєкту нормативного документа (змін до чинного) щодо методів випробувань з визначення показників якості, вимог до зберігання, утилізації, знешкодження, знищення та регенерації ГВР із урахуванням європейських вимог та отриманих нових даних експериментальних досліджень.

Постановка проблеми. Станом на сьогодні в Україні у системах газового пожежогасіння використовується ряд газових вогнегасних речовин. Зокрема, це озоноруйнівні ГВР: галони – 1301 (хладон 13B1), 1211 (хладон 12B1) та 2402 (хладон 114B2); замінники озоноруйнівних ГВР (озонобезпечні) – HFC-227ea (FM200), HFC-125 (хладон 125) та FK-5-1-12 (Novec 1230). Галони підпадають під дію Монреальського протоколу про речовини, що руйнують озоновий шар, до якого Україна приєдналася у 1991 році та регулюються згідно з додатком А [1]. Речовини HFC-227ea (FM200) і HFC125 визнано такими, що негативно впливають на рівень глобального потепління та регулюються відповідно до додатка F [1]. Речовину FK-5-1-12 (Novec 1230) нині визнано такою, що не має ні озоноруйнівного потенціалу, ні парникового ефекту.

Згідно з чинним Законом України [2] регулюються правовідносини щодо виробництва, імпорту, експорту, зберігання, використання, розміщення на

ринку і поводження з озоноруйнівними речовинами, фторованими парниковими газами, товарами та обладнанням, які їх містять або використовують (далі – контрольовані речовини), що впливає на озоновий шар планети та рівень глобального потепління.

Нижче за текстом наведено значення термінів, що вживаються в Законі [2] по суті цієї публікації:

1) використання контрольованих речовин – застосування контрольованих речовин у процесі виробництва, обслуговування або ремонту, включаючи заправку, дозаправку товарів та обладнання, або під час інших процесів;

2) операції з контрольованими речовинами – імпорт, експорт, розміщення на ринку, зберігання, використання або поводження з контрольованими речовинами та/або товарами та обладнанням;

3) первинна речовина – невикористана, нерегенерована, нерекуперована та така, щодо якої не здійснено рециклінг, контрольована речовина;

4) регенерація – переробка контрольованих речовин з метою забезпечення їх відповідності еквівалентним характеристикам первинної речовини з урахуванням її запланованого використання;

5) рекуперація – збирання контрольованих речовин із товарів, обладнання або тари під час обслуговування, ремонту, зберігання та зняття з експлуатації таких речовин або товарів та обладнання;

6) рециклінг – повторне використання рекуперованих контрольованих речовин після базового процесу очищення, такого як фільтрація або сушіння;

7) виробництво контрольованих речовин – діяльність, що включає всі стадії технологічного процесу та пов’язана з випуском контрольованих речовин, проваджена умисно або неумисно, або як побічний продукт, якщо такий побічний продукт не знешкоджується в рамках технологічного процесу. Рециклінг контрольованих речовин, рекуперація з метою рециклінгу, виготовлення сумішей контрольованих речовин не вважаються виробництвом;

8) поводження з контрольованими речовинами – операції щодо переміщення (транспортування), рекуперації, регенерації, рециклінгу, знешкодження в межах території України контрольованих речовин та/або товарів і обладнання;

9) знешкодження контрольованих речовин – процес, унаслідок якого вся або більша частина контрольованої речовини перетворюється або розщеплюється на постійній основі на одну або більше стабільних речовин, які не є контрольованими речовинами;

10) знешкодження контрольованих речовин здійснюється виключно за допомогою технологій, перелік та порядок використання яких встановлюються центральним органом виконавчої влади, що забезпечує формування державної політики у сфері охорони навколишнього природного середовища та екологічної безпеки;

11) вилучення з експлуатації, демонтування і знищення товарів та обладнання здійснюються тільки після рекуперації та передачі контрольованих речовин для рециклінгу, регенерації або знешкодження;

12) зняття з експлуатації – остаточна зупинка та припинення експлуатації або використання товарів чи обладнання.

Згідно з цим Законом:

- виробництво контрольованих речовин в Україні заборонено;

- імпорт / експорт контрольованих речовин, товарів та обладнання з/або до держав, які не є сторонами Монреальського протоколу про речовини, що руйнують озоновий шар, забороняється;

- імпорт / експорт контрольованих речовин, товарів та обладнання з / або до держав, які є сторонами Монреальського протоколу про речовини, що руйнують озоновий шар, здійснюється в порядку,

встановленому Законом України «Про зовнішньоекономічну діяльність» з урахуванням особливостей, встановлених цим Законом.

- імпорт озоноруйнівних речовин, а також фторованих парникових газів здійснюється за умови отримання частки в межах щорічної національної квоти на імпорт контрольованих речовин.

Наведене суттєво ускладнює застосування систем газового пожежогасіння. В Україні експлуатується значна кількість систем газового пожежогасіння, спроєктованих раніше під заборонені нині озоноруйнівні ГВР, а проста заміна галонів на озонобезпечні речовини не є можливою за технічних причин, оскільки необхідно перепроєктувати та поремонтувати застарілі системи, інакше вони, ймовірно, не будуть виконувати свої функції. Отже, потрібно провести вилучення з експлуатації та демонтування обладнання тільки після рекуперації та передання ГВР для рециклінгу або за негативними результатами випробувань показників якості – для регенерації, знешкодження або знищення. Технології знешкодження та знищення в Україні практично не відпрацьовані. Залишається єдине – провести регенерацію для подальшого рециклінгу. Зазвичай в умовах експлуатації систем газового пожежогасіння перевірку показників якості ГВР проводять у разі проведення переосвідчення ємностей модулів.

Загальні вимоги до показників якості ГВР, методів випробувань з визначення цих показників, поводження з ними вказано у національних стандартах [3–4]. З огляду на практику застосування цих національних стандартів виявлено відсутність деяких методів визначення показників якості, оскільки ряд нормативних документів, які їх визначали, втратили чинність, а відповідні міжнародні нормативні документи ще не ухвалені в Україні.

Аналітичні дослідження показують, що на сьогодні в Україні немає нормативних документів на галони 1301, 1211. Водночас під час аналітичних досліджень нормативних документів виявлено чинний міжнародний стандарт [5], в якому встановлюються вимоги до цих галонів. Вимоги та методи випробувань на галон 2402 (хладон 114В2) частково висвітлені у деяких відмінених нормативних документах (ГОСТ).

Водночас, ураховуючи підписання Угоди про асоціацію між Україною та Європейським Союзом, в Україні останніми роками ухвалено ряд європейських стандартів за вказаним вище напрямом, зокрема [6], які необхідно проаналізувати.

Згідно з класифікацією за механізмом дії на полум’я ГВР поділяються на інгібітори горіння (галогеновані вуглеводні) та розріджувачі горючого середовища (інертні гази та їх суміші). Галогеновані вуглеводні переривають перебіг (протікання) ланцюгової реакції горіння через взаємодію з радикалами з утворенням інертних сполук, а інертні гази або їх суміші припиняють горіння внаслідок зменшення концентрації кисню в осередку пожежі за допомогою розчинення. Будь-яка ГВР характеризується своїм нормованим значенням показника вмісту основної речовини, за якого проводять тестові дослідження з визначення мінімальної вогнегасної концентрації для гасіння полум’я метану або н-гептану. Ці дані є у відкритому доступі, вони загальновідомі та використовуються під час проєктування систем газового пожежогасіння. В умовах експлуатації галогеновуглеводні перебувають у модулях систем газового пожежогасіння у зрідженому стані під тиском своїх насичених парів, але внаслідок того, що цього тиску недостатньо для належної роботи системи, в модулі додають стиснені інертні гази-витискувачі (азот) до загального за величиною тиску (60–70) бар. У процесі транспортування, монтажу і подальшої експлуатації модулів у режимі чергування ГВР змішується та насичується азотом. Це може призвести до зменшення робочого тиску та виходу стрілки контрольного

манометра (індикатора тиску) модуля із робочої (зеленої) зони його шкали до неробочої (червоної), оскільки в ГВР могло розчинитися понад 5% відсотків азоту. Тобто в модулі утворилася двофазна газова система, яка може змінити вогнегасні властивості ГВР – гасіння полум'я відбуватиметься за комбінованим механізмом, що включає як розривання розвитку ланцюгової реакції горіння, так і розчинення горючої суміші. Унаслідок цього виникає необхідність проведення досліджень таких двофазних систем та оцінки їхньої вогнегасної ефективності.

Зазначене зумовило актуальність проведення досліджень, спрямованих на удосконалення національної нормативної бази, зокрема виявлено необхідність внесення змін та доповнень до основоположного стандарту [3], що використовують у разі класифікації типу випробувань, перевірки показників якості та експлуатаційних характеристик, вимог до зберігання, утилізації та регенерації ГВР.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. У [7] наведено пропозиції щодо удосконалення нормативної документації стосовно експлуатаційних випробувань ГВР в Україні.

У публікації [8] описано визначення мінімальної вогнегасної концентрації основної речовини галон 1301 та галон 2402 у вогнегасній суміші для гасіння н-гептану. Дослідження концентрації основної речовини проводились методом газової хроматографії, а вогнегасна здатність визначалась методом чашкового пальника.

У матеріалах [9] описано вивчення вогнегасних характеристик ГВР залежно від зміни тиску та умов їх зберігання.

У роботі [10] описано зміни вогнегасної властивості ГВР залежно від зміни тиску в системі на прикладі речовини галон 1301 та HFC-125.

У статті [11] досліджувався теоретично та експериментально процес регенерації галону 1301 методом дистиляції за допомогою теплового насоса.

У [12] наведено опис вогнегасних властивостей суміші трифторйодметану, розчиненого вуглекислим газом. Крім того, у статті зазначено про схожість цієї суміші з галоном 1301, розчиненим вуглекислим газом. У статті описано натурні випробування, проведені за допомогою чашкового пальника, а також наведено різні математичні моделі процесу зупинки горіння. Також порівнюються різні концентрації сумішей галону 1301 та трифторйодметану.

Таким чином, аналіз наведених публікацій підтверджує актуальність вибраного напряму проведення досліджень.

Формулювання цілей дослідження. Метою цієї публікації є висвітлення матеріалів щодо проведених в ІДУ НД ЦЗ аналітичних досліджень із зазначеного питання.

Мета роботи – удосконалення національної нормативної бази через узгодження з міжнародною з урахуванням оцінювання та контролю якості ГВР.

Об'єкт дослідження – визначення впливу показників якості ГВР на вогнегасні властивості.

Предмет дослідження – методи випробувань для оцінки показників якості ГВР.

Основні питання, що підлягають аналізу та дослідженню:

- пошук та аналізування національних і європейських нормативних документів, літературних, інших джерел інформації стосовно визначення показників якості та загальних вимог щодо методів випробувань ГВР, їх зберігання, утилізації та регенерації;
- обґрунтування методів випробувань, переліку відповідного випробувального обладнання для визначення показників якості ГВР;
- проведення досліджень з визначення вогнегасних властивостей ГВР залежно від розведення газом-витиснювачем;
- модернізація наявного випробувального обладнання у разі потреби;
- розроблення проєкту національного

стандарту (змін), в якому встановлюються вимоги до випробувань з визначення показників якості, вимог до зберігання, утилізації та регенерації ГВР.

Методи дослідження. Здійснено аналітичні розвідки щодо нормативних документів у галузі ГВР. Надалі заплановано проведення експериментальних досліджень двофазних газових систем ГВР з оцінки їхньої вогнегасної ефективності. Визначено перелік необхідного випробувального обладнання. Планується розроблення проєкту нормативного документа (змін до чинного), в якому вказуватимуться вимоги до методів випробувань з визначення показників якості, вимог до зберігання, утилізації та регенерації ГВР із урахуванням європейських вимог та отриманих нових даних експериментальних досліджень.

Виклад основного матеріалу. Внаслідок проведених аналітичних досліджень та отримання результатів аналізування нормативних документів у галузі ГВР виявлено окремі недоліки в нормативній документації щодо контролювання показників якості ГВР. Заплановано розроблення проєкту нормативного документа (змін до чинного) щодо методів випробувань з визначення показників якості, вимог до зберігання, утилізації та регенерації ГВР із урахуванням європейських вимог та отриманих нових даних експериментальних досліджень.

Заплановано проведення експериментальних досліджень двофазних газових систем ГВР, що створюються за різних ступенів розчинення (насичення) ГВР газом-витиснювачем (азотом) з оцінки їхньої вогнегасної ефективності.

Перелік нормованих показників якості ГВР згідно з [3], які будуть визначатись під час проведення експериментальних досліджень, наведено у табл. 1.

Таблиця 1 – Перелік нормованих показників якості ГВР

№ з/п	Найменування показника якості ГВР	Норма	
		Інертні розріджувачі	Інгібітори горіння
1	Зовнішній вигляд	Не нормується	Немає осаду та каламуті (для рідких і зріджених ГВР)
2	Мінімальна вогнегасна концентрація для гасіння н-гептану	Встановлюють НД на конкретну ГВР	
3	Мінімальна вогнегасна концентрація для гасіння горючого газу	Те саме	
4	Мінімальна флегматизувальна концентрація для сумішей горючої речовини з повітрям	Те саме	
5	Вміст основної речовини	Те саме	
6	Нелеткий залишок	Не нормується	Встановлюють НД на конкретну ГВР (для рідких і зріджених ГВР)
7	Кислотність	Те саме	Встановлюють НД на конкретну ГВР
8	Вміст води	Встановлюють НД на конкретну ГВР	
9	Строк зберігання	Встановлюють НД на конкретну ГВР або технічний засіб пожежогасіння	

Методика проведення експериментальних досліджень двофазних газових систем ГВР полягає в такому. Спочатку перевіряють зовнішній вигляд, величину нелеткого залишку та за потреби кислотність і вміст води проби зразка ГВР.

Визначення зовнішнього вигляду зразка ГВР проводять таким чином. Досліджуваною речовиною заповнюють мірний циліндр 250 мл наполовину та витримують не менше 5 хв, після цього візуально в розсіяному світлі спостерігають за речовиною. Під час спостереження має бути зафіксовано або не зафіксовано у досліджуваній речовині наявність осаду й каламуті.

Визначення масової частки нелеткого залишку зразка ГВР проводять таким чином. Наважку (80 ± 5) г ГВР поміщають у фарфорову або кварцеву чашку, попередньо висушену до постійної маси і зважену, випаровують на водяній бані, отриманий залишок висушують у сушильній шафі за (105 ± 5) °С протягом 30 хв до постійної маси, охолоджують у ексикаторі до кімнатної температури і зважують. Результати усіх зважувань у грамах записують із точністю до четвертого десяткового знака.

Масову частку нелеткого залишку (ω, % мас) у ГВР визначають за формулою:

$$\omega = 100 \times (m_2 - m_1)/m_0 \qquad (1)$$

де: m1 – маса порожньої чашки, г;
m_2 – маса чашки з нелетким залишком, г;
m_0 – маса проби, г.

За результат випробування беруть середнє арифметичне значення результатів трьох паралельних визначень.

Далі пробу зразка ГВР заливають у балони високого тиску, що оснащені запірними вентилями із сифонними трубками. Проводять наддув балонів стиснутим азотом для насичення проби ГВР азотом через барботування. Допускаються інші способи перемішування проби зразка ГВР з азотом у балоні, що забезпечують максимально можливе насичення ГВР азотом. Дослідження вмісту розчиненого азоту та основної речовини проводять методом газової хроматографії за допомогою газового хроматографа. Загальний вигляд газового хроматографа «CHROZEN» наведено на рис. 1.

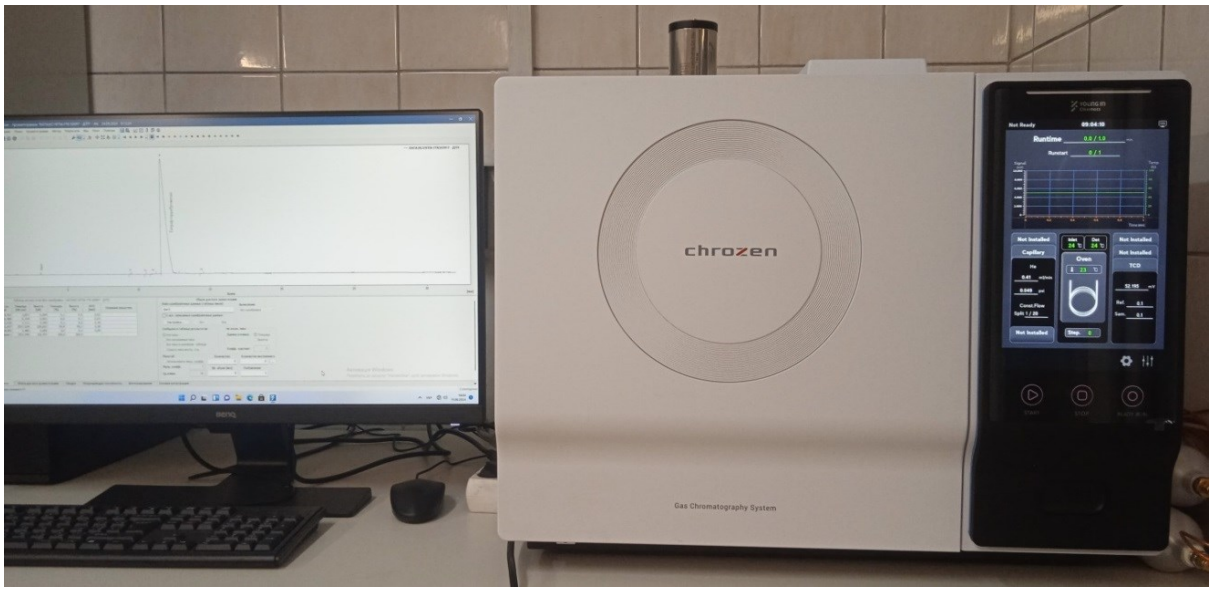


Рисунок 1 – Загальний вигляд газового хроматографа «CHROZEN»

Джерело: [власність ІДУ НД ЦЗ]

Пробу ГВР через випаровувач вводять у хроматографічну колонку, в якій відбувається її розділення. Хроматографічну колонку наповнено носієм «Сферохром» з нанесеною фазою ПФМС-4.

Умови проведення випробування:

- температура термостата колонок – 50 °С;
- температура випаровувача та детектора – 100 °С;
- витрата газу-носія – 15 мл/хв.

Розділені складові проби – основний компонент і домішки, виходячи з колонки, послідовно проходять через детектор з теплопровідності. Складові проби записуються як хроматограми.

Масову частку основної речовини (X, %) обчислюють за формулою:

$$X = \frac{X_П \times 100}{\sum X_i} \quad (2)$$

де: $X_П$ – площа піку основної речовини на хроматограмі;

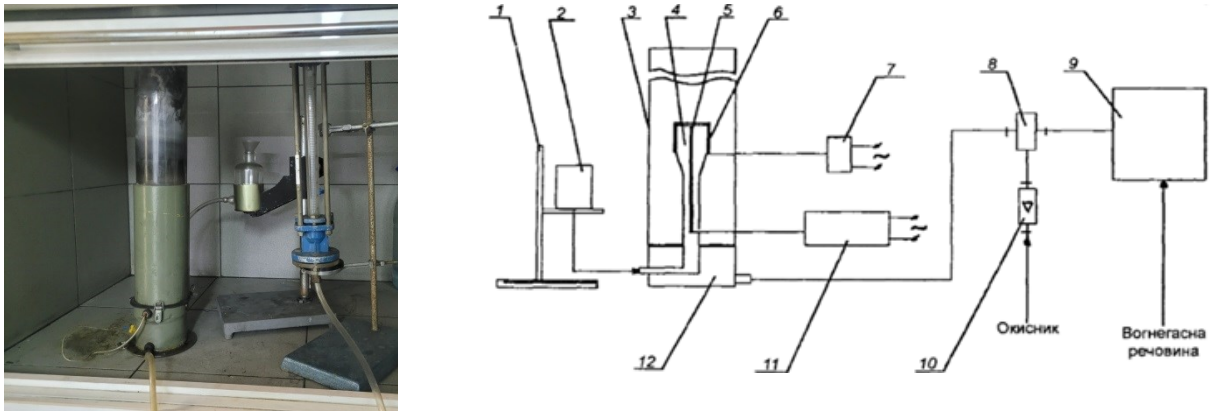
$\sum Xi$ – сума площ усіх піків на хроматограмі.

За результат аналізу беруть середнє арифметичне значення результатів двох паралельних визначень, абсолютна розбіжність між якими не повинна перевищувати допустиму розбіжність 0,02%.

Надалі визначають вогнегасну концентрацію зразка ГВР методом чашкового пальника. У цьому методі, наведеному в [3], встановлено вимоги щодо визначення вогнегасної концентрації ГВР у повітрі для легкозаймистих рідин і газів із застосуванням методу чашкового пальника.

Принцип методу полягає в такому: дифузне полум'я горючих речовин, що горить у круглому резервуарі (чашці), розташоване по центру осі потоку повітря, гаситься додаванням до повітря ГВР.

Загальний вигляд установки для визначення мінімальних вогнегасних концентрацій ГВР та її принципова схема наведені на рис. 2.



1 – рухомий столик; 2 – резервуар для горючої речовини; 3 – газохід; 4 – чашковий пальник; 5 – термопара; 6 – нагрівач; 7 – джерело струму; 8 – змішувальна камера; 9 – дозатор ГВР; 10 – ротаметр; 11 – терморегулювальний пристрій; 12 – дифузор

Рисунок 2 – Загальний вигляд установки для визначення мінімальних вогнегасних концентрацій ГВР та її принципова схема

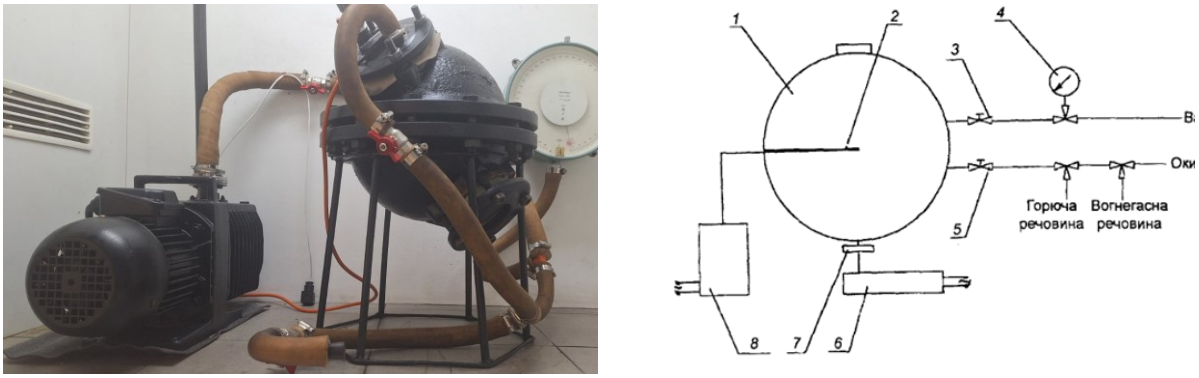
Джерело: [3, власність ІДУ НД ЦЗ]

Опис конструкції установки для визначення мінімальних вогнегасних концентрацій ГВР, порядок проведення випробовувань для ЛЗР та горючих газів, методика визначення концентрації вогнегасної речовини у суміші (основний та альтернативний методи), вимоги до протоколу випробувань наведені в [3].

Наступним етапом експериментальних досліджень є визначення мінімальної флегматизувальної концентрації проби зразка ГВР.

Метод визначення мінімальної флегматизувальної концентрації ГВР базується на основі аналізу діаграм займистості потрійної системи (горюча речовина, ГВР, повітря).

Загальний вигляд установки для визначення мінімальної флегматизувальної концентрації ГВР для сумішей горючої речовини з повітрям та її принципова схема наведені на рис. 3.



1 – випробувальна камера; 2 – пристрій розрядний; 3 – вихідний вентиль; 4 – вакуумметр; 5 – вхідний вентиль; 6 – реєструвальний прилад; 7 – датчик тиску; 8 – блок для запалювання

Рисунок 3 – Загальний вигляд установки для визначення мінімальної флегматизувальної концентрації ГВР для сумішей горючої речовини з повітрям та її принципова схема

Джерело: [3, власність ІДУ НД ЦЗ]

Опис конструкції установки для визначення мінімальної флегматизувальної концентрації ГВР для сумішей горючої речовини з повітрям, принцип її роботи, порядок проведення випробувань, вимоги до протоколу випробувань наведені в [3].

Отримані результати експериментальних досліджень проб зразків ГВР порівнюють з аналогічними результатами проб зразків ГВР, що не піддавались наддуву азотом (первинна речовина). Результати заносять до відповідних протоколів.

Після аналізування результатів дослідження, якщо вони мають не тільки науковий, а й практичний інтерес, ухвалюють рішення щодо подальших дій з упровадження отриманих результатів у практичну діяльність.

Висновки та напрями подальших досліджень. Наведено матеріали аналітичних досліджень та результати аналізування нормативних документів у галузі ГВР.

Виявлено окремі неточності в нормативній документації щодо контролювання показників якості ГВР.

Окреслено проблемні питання щодо застосування систем газового пожежогасіння через негативний вплив ГВР на навколишнє середовище та зміну клімату планети.

Запропоновано проведення експериментальних досліджень двофазних газових систем ГВР, що створюються за різних ступенів розчинення (насичення) ГВР газом-витиснювачем (азотом), з оцінки їхньої вогнегасної ефективності та визначено перелік необхідного випробувального обладнання.

Заплановано розроблення проєкту нормативного документа (змін до чинного), в якому викладатимуться вимоги до методів випробувань з визначення показників якості, вимоги до зберігання, утилізації та регенерації ГВР із урахуванням європейських норм.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer. URL : https://ozone.unep.org/treaties/montreal-protocol (дата звернення : 02.04.2024).
2. Про регулювання господарської діяльності з озоноруйнівними речовинами та фторованими парниковими газами : Закон України від 12 грудня 2019 року № 376-IX. URL : https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/376-20# (дата звернення : 02.04.2024).
3. ДСТУ 3958:2015 Пожежна безпека. Газові вогнегасні речовини. Номенклатура показників якості. Загальні технічні вимоги і методи випробовування;
4. ДСТУ 7288:2012 Пожежна безпека. Вогнегасні речовини. Регенеровані галогеновані вуглеводні. Загальні технічні умови.
5. ISO 7201-1:1989 Fire protection - Fire extinguishing Halogenated hydrocarbons – Part 1: Specifications Protection – for halon 1211 and halon 1301.
6. ДСТУ EN 15004-1:2014 Стаціонарні системи пожежогасіння. Системи газового пожежогасіння. Частина 1. Проєктування, монтування та технічне обслуговування (EN 15004-1:2008, IDT). З наданням чинності від 2016-01-01 та інші частини (2–9) стандарту цієї серії.
7. Р. Ліхньовський, О. Тимошенко, В. Бенедюк, А. Онищук. *Удосконалення нормативної документації щодо експлуатаційних випробувань газових вогнегасних речовин*. Теорія і практика гасіння пожеж та ліквідації надзвичайних ситуацій : матеріали XIV Міжнародної науково-практичної конференції, 27 квіт. 2023 р., Черкаси, С. 37–38.
8. Ruslan Likhnyovskyi, Yuriy Tsapko, Vitalii Kovalenko, Andrii Onyshchuk (2023). The Possibility of Using 1301 and 2402 Mixtures of Halons for Fire Extinguishing Purposes. Key Engineering Materials Vol. 954 (2023), 135–144. https://doi.org/10.4028/p-coKO1k.
9. Quanwei Li, Hui Ge, Renming Pan, Zhaojun Zhang, Ruiyu Chen (2021). Numerical Study on Flow and Release Characteristics of Gas Extinguishing Agent under Different Filling Pressure and Amount Conditions. *Processes* 2021, 9*(*9), 1683. https://doi.org/10.3390/pr9091683.
10. Jiaming Jin, Renming Pan, Xiaokang Xu, Quanwei Li (2020). Flow and Diffusion Characteristics of Typical Halon Extinguishing Agent Substitute under Different Release Pressures. *Processes* 2020,8(12), 1684. https://doi.org/10.3390/pr8121684.
11. Dong Young Lee, Nguyen Van Duc Long, Gwang Sik Kim, Hwang Byeng Bong, Volker Hessel, Moonyong Lee (2022). Reclamation of Halon 1301 using industrial-scale heat-pump-assisted batch distillation : Design, simulation, and experiment. International Journal of Refrigeration Vol. 138 (2022), 31-39. https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2022.03.018.
12. Paul Papas, Changmin Cao, Wookyung Kim, Eli Baldwin, Adam Chattaway (2023). Fire suppression using trifluoroiodomethane (CF3I)-carbon dioxide (CO2) mixtures. Proceeding of the combustion Institute Vol. 39, Issue 3 (2023), 3765–3773. https://doi.org/10.1016/j.proci.2022.07.257.

REFERENCES

1. Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer. Information on https://ozone.unep.org/treaties/montreal-protocol.
2. Law of Ukraine On regulation of economic activity with ozone-depleting substances and fluorinated greenhouse gases from December 12 2019, № 376-IX. [in Ukrainian].
3. *Pozhezhna bezpeka. Hazovi vohnehasni rechovyny. Nomenklatura pokaznykiv yakosti. Zahalni tekhnichni vymohy i metody vyprobovuvannia* [Fire safety. Gaseous fire extinguishing agents. Nomenclature of quality indicators. General technical requirements and test methods]. (2016). DSTU 3958:2015 from 1st July 2016. Kyiv: DP UkrNDNC [in Ukrainian].
4. *Pozhezhna bezpeka. Vohnehasni rechovyny. Rehenerovani halohenovani vuhlevodni. Zahalni tekhnichni umovy.* [Fire safety. Extinguishing agents. Regenerated halogenated hydrocarbons. General technical requirements]. (2013). DSTU 7288:2012 from 1st March 2013. Kyiv: DP UkrNDNC [in Ukrainian].
5. ISO 7201-1:1989 Fire protection - Fire extinguishing Halogenated hydrocarbons - Part 1: Specifications Protection - for halon 1211 and halon 1301.
6. EN 15004-1:2019 Fixed firefighting systems. Gas extinguishing systems Design, installation and maintenance
7. R. Likhnovskyi, O. Tymoshenko, V. Benediuk, A. Onyshchuk (2023). Udoskonalennia normatyvnoi dokumentatsii shchodo ekspluatatsiinykh vyprobuvan hazovykh vohnehasnykh rechovyn. [Improvement of regulatory documentation regarding operational tests of gas fire extinguishing substances], *Teoriia i praktyka hasinnia pozhezh ta likvidatsii nadzvychainykh sytuatsii,* materialy XIV Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii [Theory and practice of extinguishing fires and eliminating emergency situations, Proceeding of the International Scientific and Practical Conference]. Cherkasu [in Ukrainian].
8. Ruslan Likhnyovskyi, Yuriy Tsapko, Vitalii Kovalenko, Andrii Onyshchuk (2023). The Possibility of Using 1301 and 2402 Mixtures of Halons for Fire Extinguishing Purposes. Key Engineering Materials Vol. 954 (2023), 135-144. https://doi.org/10.4028/p-coKO1k
9. Quanwei Li, Hui Ge, Renming Pan, Zhaojun Zhang, Ruiyu Chen (2021). Numerical Study on Flow and Release Characteristics of Gas Extinguishing Agent under Different Filling Pressure and Amount Conditions. *Processes* 2021, 9*(*9), 1683. https://doi.org/10.3390/pr9091683.
10. Jiaming Jin, Renming Pan, Xiaokang Xu, Quanwei Li (2020). Flow and Diffusion Characteristics of Typical Halon Extinguishing Agent Substitute under Different Release Pressures. *Processes* 2020,8(12), 1684. https://doi.org/10.3390/pr8121684
11. Dong Young Lee, Nguyen Van Duc Long, Gwang Sik Kim, Hwang Byeng Bong, Volker Hessel, Moonyong Lee (2022). Reclamation of Halon 1301 using industrial-scale heat-pump-assisted batch distillation: Design, simulation, and experiment. International Journal of Refrigeration Vol. 138 (2022), 31-39. https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2022.03.018
12. Paul Papas, Changmin Cao, Wookyung Kim, Eli Baldwin, Adam Chattaway (2023). Fire suppression using trifluoroiodomethane (CF3I)-carbon dioxide (CO2) mixtures. Proceeding of the combustion Institute Vol. 39, Issue 3 (2023), 3765-3773. https://doi.org/10.1016/j.proci.2022.07.257

ANALYSIS OF THE GAS FIRE EXTINGUISHING AGENTS QUALITY INDICATORS FOR EXTINGUISHING SYSTEMS

V. Benediuk, A. Onyshchuk, O. Tymoshenko, V. Kovalenko

Institute of Public Administration and Research in Civil Protection, Ukraine

KEYWORDS

controlled agents, regeneration, recuperation, recycling, gas extinguishing agents (GEA), liquefied and gaseous EA, halogenated hydrocarbons, inert diluents, flame inhibitors, minimum phlegmatizing and inhibitory concentration of GEA, flammable liquids and gases, gas-air mixture, cup burner method, gas analyzer of continuous action, gas-liquid chromatography

ANNOTATION

This article presents analytical research and the results of regulatory document analysis in the field of gaseous fire-extinguishing agents (GFAs), with a particular focus on Ukrainian legislation. The legislation governs production, import, export, storage, usage, market placement, and handling of ozone-depleting substances, fluorinated greenhouse gases, and related products, influencing the ozone layer and global warming. The study aims to enhance national regulatory frameworks by harmonizing them with international standards while considering quality assessment and control of GFAs.

Key findings highlight gaps in Ukrainian regulatory documents concerning quality control indicators for GFAs. Issues related to the application of gaseous fire suppression systems were identified, including the environmental impact and climate effects of GFAs. The study recommends experimental research into two-phase GFA systems created with varying degrees of dilution with a displacing gas (nitrogen) to assess their fire-extinguishing efficiency. A list of required testing equipment and experimental methods has been defined.

Additionally, the article outlines the need to develop a draft regulatory document (or amendments to existing standards) addressing test methods for evaluating quality indicators, as well as requirements for storage, utilization, disposal, and regeneration of GFAs. These updates aim to align with European standards and incorporate new experimental data.

The research emphasizes the importance of updating standards for halons and their substitutes, given the prohibitions under the Montreal Protocol and current Ukrainian legislation. The challenges of transitioning outdated systems to ozone-safe alternatives were explored, highlighting technical constraints and the need for proper recycling or regeneration processes.

The proposed measures include the adoption of modern testing methods, updating equipment, and revising standards to reflect global best practices. The article contributes to advancing fire safety technologies while addressing environmental sustainability.