

УДК 641.841

*К. М. Остапов¹, к.т.н., доцент, доц. каф. (ORCID 0000-0002-1275-741X)**О. С. Чаплигін², к.т.н., заст. нач. Головного управління (ORCID 0009-0005-9818-0277)**А. А. Лісняк¹, к.т.н., доцент, нач. каф. (ORCID 0000-0001-5526-1513)**І. М. Грицина¹, к.т.н., доцент, заст. нач. каф. (ORCID 0000-0002-2581-1614)**С. М. Шевченко¹, к.т.н., доц. каф. (ORCID 0000-0002-6740-9252)**Є. М. Криворучко¹, викл. каф. (ORCID 0000-0001-7332-9593)*¹Національний університет цивільного захисту України, Черкаси, Україна²Головне управління ДСНС України у Харківській області

ОПТИМІЗАЦІЯ СКЛАДУ НЕЙТРАЛЬНИХ ГАЗІВ ДЛЯ ПОЖЕЖОГАСІННЯ У ФОНДОСХОВИЩАХ МУЗЕЇВ

Створено ефективну вогнегасну систему для гасіння пожеж у фондосховищах музеїв сумішню нейтральних газів, котрі не спотворюють музейні художні цінності та спроможні конкурувати з кращими іноземними зразками систем об'ємного газового пожежогасіння. Оптимізовано пропорцію газової суміші у складі аргону, азоту та двоокису вуглецю для пожежогасіння музейних художніх цінностей. Враховуючи вимоги Монреальського протоколу про речовини, що виснажують озоновий шар проведено аналіз стану питання й особливостей рішення проблеми газового гасіння пожеж в художніх музеях та їх фондосховищах. Розроблено ефективний та відносно недорогий склад суміші нейтральних газів для використання при об'ємному гасінні можливих пожеж у фондосховищах і музеях, який забезпечує збереження незмінними матеріальні та художньо-естетичні цінності без їх спотворення. Визначені об'ємні долі двох зразків суміші нейтральних газів №14 (CO₂=50 %, N₂=40 %, Ar=10 %) та № 15 (CO₂=40 %, N₂=50 %, Ar=10 %), які близькі за своїм складом та мають найкращі показники вогнегасної ефективності за часом гасіння модельного вогнища 4,6 с та 4,8 с. Розроблено лабораторний стенд, як аналог установки об'ємного газового пожежогасіння зі змішувачем складових запропонованої робочої суміші нейтральних газів, на якому відпрацьовано показники ефективності гасіння модельних пожеж при гасінні зразків різноманітних фрагментів художніх підмальовок на частинах рядні та ватмані. Обґрунтовано технічні параметри робочої камери лабораторного стенду, а на математичній його моделі визнано раціональні співвідношення тисків заповнення змішувача стенду компонентами суміші нейтральних газів, що дає можливість удосконалити існуючі промислові установки різних типорозмірів. Обґрунтовано зниження коштовності запропонованого нейтрального газу.

Ключові слова: фондосховища музеїв, вогнегасна суміш нейтральних газів, архітектурно-конструктивні і об'ємно-планувальні рішення, протипожежний захист

1. Вступ

На сьогоднішній день для гасіння внутрішніх пожеж [1] розроблено та ефективно використовуються різні технічні засоби [2]. Однак при гасінні музейних художніх цінностей необхідно враховувати особливості розвитку пожеж у музеях [3]. Відомо, що активна діяльність музеїв світу в значній мірі базується на фондах їх експозиційних колекцій, які більшою частиною зберігаються у так званих запасниках, в котрих мається пожежно-технічне обладнання (ПТО) [4]. Воно відповідно пристосовується до об'ємно-планувальних рішень конкретних приміщень фондосховищ. Само фондосховище, може бути збудовано окремо від музею. Природно, що захисту раритетів, що зберігаються в художніх музеях і їх запасниках, потрібен особливий підхід – треба мати на випадок пожеж сучасне обладнання об'ємного газового пожежогасіння [5].

Слід сказати, що характерною особливістю музеїв є збільшення кількості експонатів, з бажанням постійного їх поповнення для поновлення експозицій. Тому фондові запасники, як правило, подвоюються приблизно кожні 15–25 років. Природно, що привабливість відвідування музеїв йде в основному за рахунок наявності

раритетів у фондосховищах, де зберігається основна маса експонатів (80–90 %), тому саме тут накопичується значні музейні художні цінності (МХЦ), які можуть при пожежах зовсім знищитися.

Нажаль, у фондосховищах музеїв України ще й сьогодні застосовують застаріли хладонові або вуглекислотні устрої об'ємного газового пожежогасіння. Крім цього, за останніми даними кількості пожеж та їх наслідки на об'єктах мінкультури України зросла на порядок, а втрати від них збільшились у рази [6]. При чому, фактичний стан протипожежного захисту вітчизняних музеїв під час сьогоднішньої війни погіршився [7]. А це свідчить про актуальність проблеми зберігання та захисту від пожеж історичних і культурних цінностей українського народу. З цього випливає потреба подальшого удосконалення засобів пожежного захисту музеїв і їх фондосховищ, що не аби як обумовлено специфікою пожежного захисту скупченості значної кількості духовної і художньої вартості у відносно не великих приміщеннях фондосховищ музеїв України.

Найбільш розповсюдженим способом гасіння приміщення для експозиції та зберігання МХЦ є об'ємний спосіб газового пожежогасіння [8]. Разом з цим, наявність систем вентиляції й кондиціонування повітря в музеях, значне горюче навантаження, декоративне оздоблювання приміщень створюють сприятливі умови для швидкого розвитку й поширення горіння з відділенням токсичних газів [9]. Також в умовах широкомасштабного воєнного протистояння України російському агресору не виключається розміщення фондосховищ музеїв окремо від самих музеїв.

Таким чином, проблема протипожежного захисту музеїв в умовах сучасності є актуальною.

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

У зв'язку зі специфікою цієї теми обсяг інформації, присвяченої особливим підходам до протипожежного захисту (ППЗ) та тенденції розвитку новітніх розробок газового пожежогасіння музеїв в науково-технічних виданнях, невеликий. Тим не менш, в оглядовій закордонній публікації [10] підтверджується зацікавленість фахівців до вказаної проблеми. А вона дійсно – актуальна. Нагадаємо скіфську колекцію історичного Криму, яка до повернення її до України була у Нідерландах. Щоб було б з нею, якщо би вона зберігалася у кримських музеях! А художні скарби Абхазії – більша частина з них знищена недавньою пожежею [11]. Тут можна розгледіти загарбницький слід рашистських інтервентів. Аналогічна біда сталася і в Херсонському художньому музеї [12]. Підкреслимо, що в обох прикладах захист МХЦ від пожеж базувався на використанні застарілих вуглекислотних систем.

Аналіз класифікаторів МПК А62С35/00, А62С13/22, А62С31/02 з ретроспективою за 2003–2023 роки показав, як пожежна небезпека фондосховищ музеїв країни взагалі змінювалася не дуже жваво [13]. Нажаль необхідне удосконалення ППЗ музеїв не «слідує» за сучасними змінами об'ємів горючого навантаження, реальними обставинами й умовами зберігання експонатів в тих самих запасниках та ін.

В роботі [14] зазначено, що об'ємне гасіння засноване на створенні в приміщенні, що захищається, середовища, яке не підтримує горіння, є одним з найбільш ефективних способів пожежного захисту МХЦ. Основними недоліками є недостатня ефективність газових систем пожежогасіння в Україні, а ті, які використовуються в теперішній час – ще й досі базуються на використанні різноманітних марках хладонів та діоксину вуглецю. Протягом вже багатьох десятиріч в фондосховищах музеїв Європи та Америки й деяких інших країн протипожежний

захист МХЦ діє за вимогами Монреальського протоколу про речовини, що виснажують озоновий шар [15], який підписали Україна та 46 країн світу. В ньому взагалі йдеться про повну заборону використання любих газів, що руйнують озоновий захисний шар атмосфери Землі, й перш за все – різновиди хладону.

На час його підписання в закордонних музеях вже було гарно відпрацьований досвід зі створення систем об'ємного газового пожежогасіння МХЦ з використанням вже небажаних для озону газів, а саме: элегаза (SF_6); хладона 125 ($\text{C}_2\text{F}_5\text{H}$), хладона 227 ($\text{C}_3\text{F}_7\text{H}$), хладона 410 (C_4F_{10}), хладона 318 (C_4F_8), хладона 23 (CF_3H), хладона 218 (C_3F_8). В нашій країні такий підхід теж був на пожежному захисті музеїв, де так і залишився без «переозброєння».

В роботі [16] відмічено, що головною вимогою до використання нейтральних газів (НГ) є забезпечення того, щоб вогнегасний засіб не справляв шкідливого впливу на музейні художні цінності після завершення гасіння пожежі. Недоліками використання хладону і діоксину вуглецю окрім порушень озонового шару атмосфери є шкідливий вплив на музейні експонати, зокрема картини. Наприклад, хладон впливає на колориметричні характеристики, змінюючи кольоровість МХЦ на 3–5 порогів, а діоксин вуглецю зменшує на 10–15 % міцність основного першого шару картин.

В роботі [17] підкреслюється, що з підписанням вказаного протоколу замість озон-руйнуючих бромистих складів та діоксину в країнах Заходу цю проблему стали вирішувати за допомогою НГ Inergen IG-541 або Argonite IG-55 (суміш азоту й аргону у пропорції 1:1) та ін. Основним недоліком використання таких сумішей є їх висока вартість.

Але в Україні розробка газових сумішей на основі НГ й відповідного до них устаткування довгий час рухалось дуже повільно. Так чи інакше в нашій ще молодій, з 1991 року – незалежній Україні, яка останні десять років фактично знаходиться у воєнних стосунках з сусідським «братом», використання НГ «INERGEN» за своїм призначенням було не до часу. Тому зрозуміло, що після підписання Україною того ж Монреальського протоколу (про скорочення виробництва та обмеження застосування речовин, що порушують озоновий шар Землі) виникла проблема, яка набирала своєї актуальності і зроста до невідкладної, особливо – після повномасштабного вторгнення російських військ в Україну.

Таким чином, невирішеною частиною розглянутої проблеми є недостатня ефективність існуючих автоматичних систем газового пожежогасіння з використанням газових сумішей високої вартості та таких, що можуть зашкодити музейним експонатам.

3. Мета та завдання досліджень

Метою роботи є створення ефективної вогнегасної системи для гасіння пожеж у музеях та їх фондосховищах сумішшю нейтральних газів, що не спотворює музейні художні цінності, яка спроможна конкурувати з кращими іноземними зразками.

Для досягнення цієї мети треба вирішувати такі задачі:

- розробити лабораторний стенд випробування вогнегасної ефективності гасіння модельних пожеж нейтральними газами, як прототипу до удосконалення існуючих автоматичних систем газового пожежогасіння;
- визначити оптимальний склад суміші для ефективного об'ємного пожежогасіння з точки зору швидкості гасіння, невеликої вартості та збереження показників якості музейних художніх цінностей після гасіння.

4. Матеріали й методи досліджень

Об'єкт дослідження – варіанти сумішей негорючих газів, які використовуються у лабораторному випробувальному стенді, максимально наближеному до типового автоматичного устаткування газового пожежогасіння, за допомогою якого гасять палаючі музейні художні цінності в музеях і їх фондосховищах при пожежах.

Методи досліджень – фізичне моделювання об'ємного газового пожежогасіння на основі відомих положень теорії розвитку та припинення горіння. Також залучалися методи математичної статистики з елементами теорії планування експерименту та комп'ютерні програми обробки результатів експериментів STATISTICA 6.0, Microsoft Excel.

Предметом досліджень є підмальовки на шматочках холосту маслом та аквареллю на картонках ватману, котрі піддавалися впливу негорючих газів при моделюванні об'ємного пожежогасіння на лабораторному випробувальному стенді з використанням удосконаленого обладнання.

Гіпотеза досліджень – подібність зразків підмальовок до та після їх гасіння сумішами негорючих газів, адекватним музейним художнім цінностям, що перевірялося компаратором кольору КК – 2, а також підтвердження ідентичності запропонованого лабораторно-випробувального стенду до серійного автоматичного устаткування газового пожежогасіння, якими гасять пожежі в фондосховищах музеїв.

На відміну від закордонного та якісного, але дорожчого газу «INERGEN», для заміни вітчизняних модифікацій хладону та вуглецю, пропонується недорога суміш НГ, оптимально складеної з нейтральних газів: діоксину вулицю (CO_2), азоту (N_2) та аргону (Ar). Для його використання при гасінні розробляється устаткування для задіяння при пожежі. Названо цю композицію НГ – «CONAR», за першими літерами назв складових.

5. Розробка стенду випробувань вогнегасної ефективності гасіння модельних пожеж нейтральними газами

Щоб проводити дослідження вогнегасної ефективності різних варіантів сумішей НГ для гасіння пожеж МХЦ, перш за все нами було розроблено лабораторний випробувальний стенд (ЛВС), який максимально наближався би за конструкцією до серійних автоматичних установок газового пожежогасіння (АУГПГ), якими гасять пожежі в музеях і їх фондосховищах.

Найбільш зручним, на наш погляд, є ЛВС за схемою (рис. 1),

Випробувальна камера ЛВС доповнена контрольно-вимірювальною апаратурою, яка дозволяє за часом фіксувати параметри, що досліджуються.

Таке схемне рішення дозволяє подавати компоненти вогнегасної суміші НГ з відповідних балонів у змішувач дозовано, а вже після їх змішування задіяти суміш НГ у випробувальній камері при гасінні модельної пожежі. Для цього потрібно розрахунком узгодити об'єм змішувача з об'ємом випробувальної камери стенду, що буде показано нижче. Крім цього, таке рішення дає можливості:

- проводити дослідження із мінімальною витратою інертних газів;
- зробити гарне змішування інгредієнтів;
- утримувати реальні температурні умови під час експериментів;
- не збільшувати матеріальні витрати на проведення експериментів порівняно з роботою типовою АУГПГ.

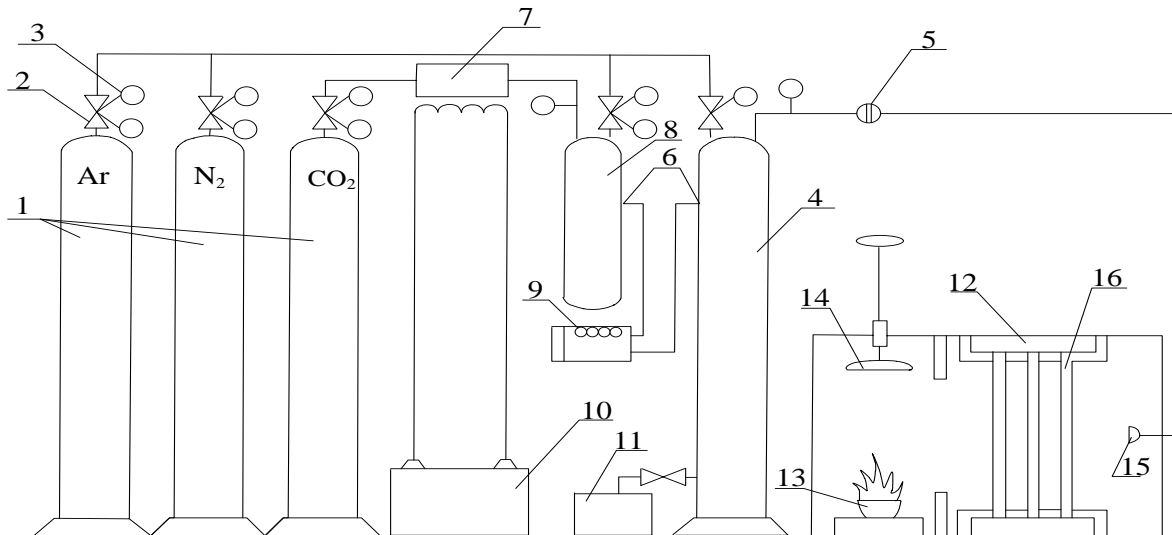


Рис. 1. Принципова схема лабораторного випробувального стану: 1 – балон з газом; 2 – вентиль; 3 – манометр; 4 – змішувач; 5 – пробковий вентиль; 6 – термopар; 7 – випаровувач; 8 – накопичувач; 9 – регулювальний прилад; 10 – трансформатор; 11 – блок продукції; 12 – випробувальна камера; 13 – модельне вогнище; 14 – пристрій гасіння; 15 – завихрювач; 16 – зразки

Окремо, камера пожежогасіння лабораторного випробувального стану відображена на рис 2.

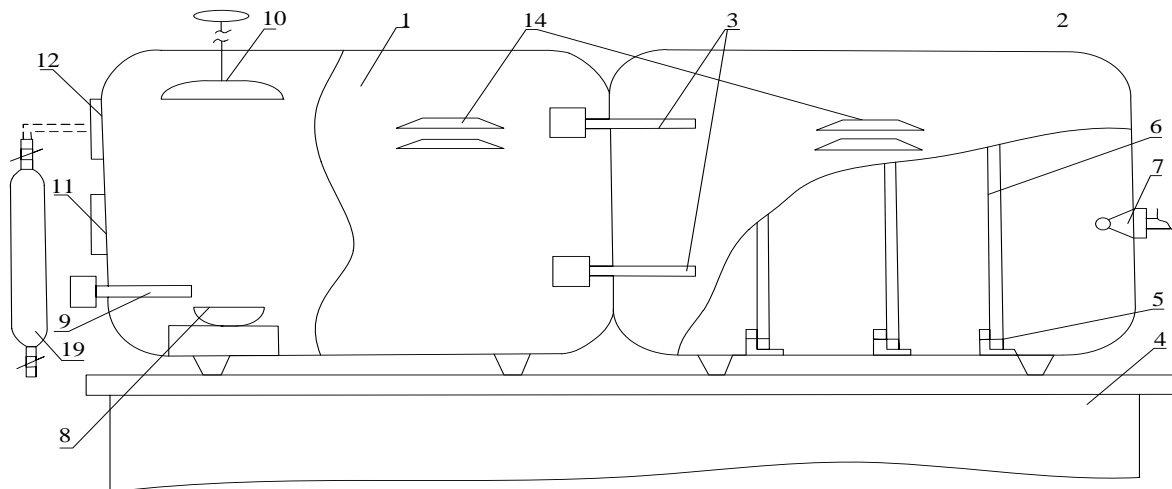


Рис. 2. Камера пожежогасіння підмалювок лабораторного випробувального стану: 1 – рухома частина; 2 – нерухома частина; 3 – замок; 4 – тумба; 5 – тримач; 6 – рамка; 7 – завихрювач; 8 – модельне вогнище; 9 – пристрій електропідпалювання; 10 – механізм гасіння осередку пожежі; 11 – оглядове вікно; 12 – місце відбору проб; 13 – хімічна піпетка; 14 – вентиляційні отвори

Питання розрахункового об'єму змішувача для приготування сумішей НГ досить важлива, так як тиск у змішувачі й інших системах стану знаходиться в прямої залежності від кількості газу, що там знаходиться.

Розрахунок сумарного тиску може бути виконано комплексно, однак для наших складових (CO_2 , N_2 , Ar) з урахуванням повітря такі розрахунки громіздкі та на практиці не зручні. Визначення шуканого тиску доцільно провести, базуючись на одній зі складових цього газового складу. В якості основної складової нами пропонується обрати аргон, який має найбільший показник адіабати γ : $\gamma_{\text{Ar}}=1,67$, $\gamma_{\text{N}_2}=1,4$, $\gamma_{\text{CO}_2}=1,4$. Тоді вираз для знаходження тиску наповнення ЛВС лобую з

компонент НГ «CONAR» можна записати у звернутому вигляді так:

$$\frac{p_i - 1}{p_i \eta_0} + \sum_{i=1}^j \left(W_{OK} \cdot p_i^{\frac{-1}{\eta_{0i}}} \right) = 1, \quad (1)$$

де p_i – тиск зарядки i -компоненти; $\eta_0=1,4$ – показник адіабати для повітря; $K=1\dots i$, – кількість складових; $i = 1\dots j$ (j – кількість компонент в суміші); η_{0i} – показник адіабати i -складової суміші.

Вираз (1) є універсальним і може бути застосований для знаходження тиску зарядки змішувача за любым з компонентів вогнегасної суміші, при необмеженій їх кількості. На підставі (1) за уточненою методикою була розрахована вхідна базова матриця експерименту (табл. 1).

Табл. 1. Базова матриця експерименту для знаходження тиску зарядки змішувача кожним з компонентів вогнегасної суміші.

№ суміші	1 агент			2 агент			3 агент		
	газ	% %	P,МПа	газ	% %	P,МПа	газ	% %	P,МПа
1	Ar	40	0,26	CO ₂	40	0,55	N ₂	20	0,72
2	CO ₂	50	0,26	Ar	30	0,42	N ₂	20	0,68
3	Ar	40	0,26	N ₂	30	0,5	CO ₂	30	0,73
4	Ar	50	0,35	N ₂	30	0,6	CO ₂	20	0,76
5	Ar	60	0,45	N ₂	30	0,71	CO ₂	10	0,8
6	Ar	50	0,35	N ₂	40	0,69	CO ₂	10	0,77
7	Ar	40	2,6	N ₂	40	0,58	CO ₂	20	0,73
8	N ₂	50	0,29	Ar	30	0,56	CO ₂	20	0,71
9	N ₂	50	0,29	Ar	40	0,67	CO ₂	10	0,74
10	CO ₂	50	0,26	N ₂	30	0,47	Ar	20	0,66
11	CO ₂	40	0,21	N ₂	30	0,4	Ar	30	0,69
12	N ₂	40	0,22	CO ₂	30	0,41	Ar	30	0,7
13	N ₂	40	0,22	CO ₂	40	0,48	Ar	20	0,67
14	CO ₂	50	0,26	N ₂	40	0,54	Ar	10	0,64
15	N ₂	50	0,29	CO ₂	40	0,55	Ar	10	0,75
16	N ₂	50	0,29	CO ₂	30	0,48	Ar	20	0,68

Примітка: В подальшому відзначено, що найменший час гасіння було отримано для складу № 14 з компонентами: CO₂=50 %, N₂=40 %, Ar=10 %. Безумовно і пошкодження МХЦ тут слід очікувати найменші

Залежність абсолютного тиску, відносно загального об'єму газу в установці та у змішувачі, може бути описана відомим виразом:

$$p_{абс} = \left(\frac{W}{W_3} \right), \quad (2)$$

де W – об'єм газу, який був у змішувачі при вхідних умовах; W_3 – об'єм змішувача.

Індикаційне значення тиску p відрізняється від абсолютного $p_{абс}$. на величину атмосферного, тому:

$$p_{абс} = \left(\frac{W}{W_3} \right) \cdot \eta_0 - 1. \quad (3)$$

Величина W , в нашому випадку, це – необхідний для проведення випробувань об'єм газу, котрий пов'язано з об'ємом камери W_k . В подальшому доцільно перейти до відносних величин, вводючи поняття коефіцієнта газу K_n та коефіцієнта змішувача K_3 :

$$K_n = \left(\frac{W}{W_k} \right), \quad , \quad K_3 = \left(\frac{W_3}{W_k} \right). \quad (4)$$

Останні вирази можна вважати необхідною умовою існування рішення завдання, що з урахуванням (4) можна записати, як:

$$p = \left(\frac{K_n}{K_3} \right) \cdot \eta_0 - 1. \quad (5)$$

Як вже відмічалось тиск у змішувачі стенду суттєво залежить від співвідношення об'ємів камери змішувача та потрібної кількості газу для роботи. Послідовними розрахунками по узагальненим коефіцієнтам змішувача знайдено такий ряд значень K_3 : (1 – $K_3=0,074$; 2 – $K_3=0,4$; 3 – $K_3=0,5$; 4 – $K_3=1,0$; 5 – $K_3=1,5$; 6 – $K_3=2,0$), для якого з міркувань механічної міцності, найменш слабких кріпильних елементів механіки ЛВС знаходиться межа придатного робочого тиску задіяння його камери $p_m=3,5$ МПа.

В підсумку маємо, що раціональний об'єм змішувача є таким, при якому робочий тиск в камері з двократним запасом міцності знаходиться в межах

$$0,5 \cdot p_m < p < p_m, \quad (6)$$

де $p_m=3,5$ Мпа – максимально припустимий тиск роботи стенду.

Таким чином конструктивне виконання ЛВС з визначенням основної вимоги до його роботи при перевірці вогнегасної спроможності гасіння нейтральними газами розроблено. Тобто вирішено перше завдання дослідження.

6. Визначення оптимального складу суміші для ефективного об'ємного газового пожежогасіння

Безумовно, реальні МХЦ, як такі, неприпустимо використовувати в наших дослідженнях. Тому й знадобилися їх фізичні замітники – зразки, так званих підмальовки.

Всесвітній досвід фондосховищ художніх музеїв показав, що найбільш придатними для проведення подібних досліджень і є зразки підмальовок з використанням пігментних фарб на рядні або на ватмані, на котрі при пожежогасінні подається НГ (як на картину). Після експериментів порівнюють показники якості зразків дослідження до і після впливу на них об'ємного пожежогасіння.

Шукаючи потім суттєві зміни в зразках, концентрували увагу на головних показниках якості. А саме: пониження кольорової насиченості та втраті світлості тону красок, що свідчить про втрату МХЦ художньої цінності. Цю частину досліджень було покладено на спеціальних експертів – фахівців цього напрямку. Тому, не розглядаючи тут прискіпливо таку специфічну особливість до реальних картин, як глобальна кольорова якість складання трьох головних шарів прообразу

картини (зразки, що досліджуються при випробуваннях) скажемо так, що два з них (живописний та лаковий шари) – суттєво тонкі, й на міцність адекватної трьох-компонентної фізичної складової картини не впливають. Їх набір, може бути повний чи неповний. Інакше кажучи, кожна складова композиційної трійки має своє призначення. Перший шар – основа картини – зберігає її у первинному вигляді довгий час (іноді, століття). Другий шар – фарби картинного живопису. Цей шар, з'єднаний з першим, по своїй сутності є тим скарбом, який треба зберігати на віка. Третій поверховий, лаковий шар – захисний. Обидва перших досліджувалися нами з залученням фахівців Харківської державної академії дизайну та мистецтва. Перший – на міцність по критерію «на розрив» та остаточну деформацію при розтягуванні адекватних зразків. Другий, – з точки зору втрати його «художньої цінності». Що стосується третього шару, він оцінювався оглядово експертами харківського художнього музею. Як зрозуміло з викладеного, для проведення експериментів, щодо визнання спотворень дії НГ на МХЦ було виготовлено спеціальні полотна з підмальовками на основі найбільш чутливих до температури пігментів, а з цих полотен вирізалися зразки у вигляді полос шириною 40 мм. Різання полос було орієнтовано перпендикулярно напрямку фарбового полотна. Подібним чином було виготовлено багаточисельні зразки.

Експериментальні випробування виконувалися в такій послідовності:

- готування лабораторного стенду випробувань до роботи – готування зразків до випробувань – зважування зразків з підмальовками – завантаження зразків в камеру випробувань – приготування суміші НГ – гасіння в камері модельного осередку – повторне зважування зразків з підмальовками після об'ємного гасіння – дослідження результату. Згідно розробленої раніше вхідної матриці експериментів (табл. 1) були отримані данні оцінки вогнегасної спроможності сумішей НГ та аналізу міцності підмальовок картин після їх гасіння (табл. 2). Проводилися вони таким чином: після підготовки досліджуваного газового складу, робився підпал модельного вогнища з підмальовками. Після 30 с вільного горіння з відкриттям пробкового крану у випробувальну камеру подавалась вогнегасна суміш НГ. Одночасно з цим включався секундомір і фіксувався час гасіння вогнища.

Таким чином, експерименти дозволяли здійснювати порівняльну оцінку сумішей газових складів за наступними показниками:

- спроможність та ефективність за часом гасіння модельного вогнища сумішшю НГ;
- міцність на можливий розрив і остаточну деформацію модельних зразків підмальовок при їх розтягуванні оцінювалась візуально та за обміром геометрії зразків;
- вартість задіяної для гасіння суміші НГ;
- художня якість після гасіння підмальовок.

Результати випробувань зразків з підмальовками на вогнегасну ефективність НГ та на розривне їх навантаження зведено в об'єднану табл. 2.

При гасінні модельних вогнищ тільки компонентами CO_2 , N_2 та Ar окремо встановлено – вогнегасна спроможність односкладових НГ погіршується. А саме: кореляційним аналізом було отримано такі відповідні відсоткові співвідношення – $\text{CO}_2 : \text{N}_2 : \text{Ar} = 1 : 2,38 : 3,81$; за вказаною послідовністю.

Обов'язкові дослідження впливу вогнегасних сумішей газів після гасіння модельних осередків пожеж на якість зразки МХЦ цими сумішами НГ, провадилися спеціальними випробуваннями, котрі здійснювали експерти художнього фа-

ху з залученням спеціалістів Харківської державної академії дизайну та мистецтва. Позитивні результати досліджень торкалися уточнення змін кольорових відтінків підмальовок.

Табл. 2. Вогнегасна спроможність сумішей НГ та міцність на розтягування випробувальних зразків підмальовок

№ суміші	Складові суміші НГ, %			Час гасіння, с	Розривне зусилля, ΔР, Н
	CO ₂	N ₂	Ar		
1	40	20	40	5,8	1,04
2	50	20	30	5,5	1,58
3	30	30	40	7,6	1,08
4	20	30	50	7,7	1,84
5	10	30	60	11,5	0,98
6	10	40	50	5,3	2,92
7	20	40	40	5,3	2,08
8	20	50	30	8,8	2,92
9	10	50	40	9,3	1,47
10	50	30	20	5,3	0,92
11	40	30	30	6,8	1,98
12	30	40	30	7,2	1,92
13	40	40	20	6,3	1,84
14	50	40	10	4,6	0,58
15	40	50	10	4,8	0,38
16	30	50	20	5,2	3,42

Примітка. Майже з урахуванням змін щільності матеріалу основного першого шару зразків після моделювання гасіння підмальовок крайні максимуми деформацій модельних зразків знаходилися в припустимих межах і (точність вимірювань геометрії зразків в межах до 3 %)

З даних, що наведені у табл. 2 видно, що дві суміші НГ, які близькі за складом, можна вважати придатними для раціонального гасіння зразків МХЦ у найбільшій ступені. Це суміші: № 14 (CO₂=50 %, N₂=40 %, Ar=10 %) та № 15 (CO₂=40 %, N₂=50 %, Ar=10 %). При чому, встановлено додатково, що при збільшенні вмісту CO₂ вогнегасна спроможність суміші НГ зростає.

Вартість готових газових сумішей, які використовувалися для гасіння модельних пожеж оцінювалася за 1 л газів, що наведено в табл. 3. З табл. 3 та рис.3 слідує, що найдешевшою з двох раціональних сумішей № 15 і № 14 при використанні є остання, зі складом: CO₂=50 %, N₂=40 %, Ar=10 %.

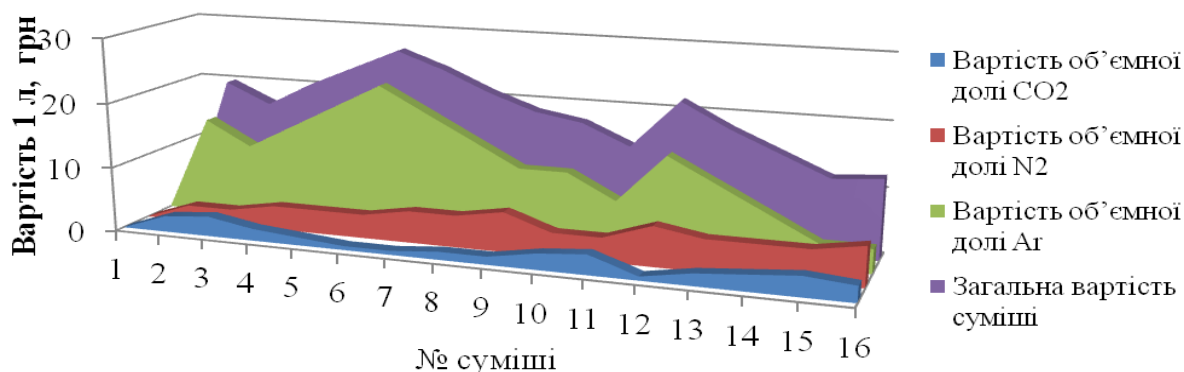


Рис. 3. Порівняння вартості складових нейтральних газів

Табл. 3. Вартість складових нейтральних газів і сумішей НГ із них

	CO ₂	N ₂	Ar				
Вартість 1 л, грн.	6,2	12,3	37,3				
№ суміші	Об'ємна доля			Вартість об'ємної долі на одне випробування			Сума, грн.
1	0,4	0,2	0,4	2,48	2,46	14,92	19,86
2	0,5	0,2	0,3	3,1	2,46	11,19	16,75
3	0,3	0,3	0,4	1,86	3,69	14,92	20,47
4	0,2	0,3	0,5	1,24	3,69	18,65	23,58
5	0,1	0,3	0,6	0,62	3,69	22,38	26,69
6	0,1	0,4	0,5	0,62	4,92	18,65	24,19
7	0,2	0,4	0,4	1,24	4,92	14,92	21,08
8	0,2	0,5	0,3	1,24	6,15	11,19	18,58
9	0,4	0,3	0,3	2,48	3,69	11,19	17,36
10	0,5	0,3	0,2	3,1	3,69	7,46	14,25
11	0,1	0,5	0,4	0,62	6,15	14,92	21,69
12	0,3	0,4	0,3	1,86	4,92	11,19	17,97
13	0,4	0,4	0,2	2,48	4,92	7,46	14,86
14	0,5	0,4	0,1	3,1	4,92	3,73	11,75
15	0,4	0,5	0,1	2,48	6,15	3,73	12,36
16	0,3	0,5	0,2	1,86	6,15	7,46	15,47

Таким чином, цю суміш слід вважати оптимальною, так як вона на 15 % дешевше суміші газу закордонного зразка Inergen IG-541, який використовується в аналогічних системах газового пожежогасіння.

7. Обговорення результатів оптимізації складу нейтральних газів для газового пожежогасіння

Отримані в роботі позитивні результати пояснюються двостороннім раціональним підходом до оптимального зберігання коштовних МХЦ в музеях і їх запасниках. По-перше, запропоновані рішення дають можливість удосконалити існуючі системи УАППГ для більш ефективного гасіння можливих пожеж в місцях зберігання МХЦ та їх експозиції та зберігання МХЦ, де знаходяться художні артефакти. По-друге, – в цьому разі виникає можливість за рахунок синергічного ефекту змішувати конкретні об'єми відповідних нейтральних газів, та вибирати такі суміші НГ, які не зіпсують МХЦ, та відповідають вимогам погодженого Україною Монреальського протоколу про речовини, що виснажують озоновий шар.

Особливості запропонованого підходу полягають в тому, що завдяки апробації ЛВС створено передумови до удосконалення існуючих АУППГ. До того ж за допомогою ЛВС зі спеціальною випробувальною камерою відкриваються можливості проведення експериментальних досліджень при розробці нових сумішей НГ для систем газового пожежогасіння.

Щодо обмежень, притаманних дослідженням в цьому напрямку, слід сказати, що для повноцінного підтвердження ефективності вогнегасної системи для гасіння пожеж у музеях та їх фондосховищах запропонованою сумішшю нейтральних газів та не пошкодження музейних художніх цінностей в результаті гасіння, необхідно провести розширені експериментальні дослідження з гасіння запропонованою сумішшю нейтральних газів, повноцінних картин різних розмірів.

Серед недоліків даного дослідження можна відзначити використання в якос-

ті модельного вогнища лише одного виду МХЦ, а саме підмальовок картин, які можуть бути пошкоджені при гасінні пожежі. В перспективі планується дослідити ефективність застосування запропонованої конструкції ЛВС газового гасіння, інших сумішей НГ та їхній вплив на зразки різних видів цінностей, електронного обладнання, матеріалів архівів та бібліотек. Крім цього, недоліком даного дослідження, яке неважко подолати, так це відсутність серед фахівців пожежної безпеки спеціалістів з художнього мистецтва.

Розвиток даного дослідження полягає в тому, що досвід вирішення проблеми газового пожежогасіння музейних та художніх цінностей може бути розповсюджено при захисті електронного обладнання, центрів обробки та зберігання даних (серверні), архівів, бібліотек, критичних об'єктів (АЕС, командно-диспетчерські пункти тощо) та іншого цінного майна у приміщеннях із перебуванням людей. Під час практичного впровадження та використання запропонованої суміші НГ в АУГПГ можуть виникнути труднощі, пов'язані з механізмом гасіння даним вогнегасним складом, який є газом-витіснювачем, тобто при займанні цей газ подається в приміщення, він розбавляє атмосферу в приміщенні, щоб концентрація кисню знизилася. Але ці питання не складно вирішити при проектуванні системи газового пожежогасіння, таким чином, щоб передбачити у приміщенні світлове, звукове сповіщення про використання АУГПГ, а також розрахувати затримку спрацьовування установки гасіння пожежі.

8. Висновки

1. Розроблено лабораторний стенд для випробувань вогнегасної ефективності гасіння модельних пожеж нейтральними газами, який може використовуватися, як прототип до удосконалення існуючих автоматичних установок газового пожежогасіння. В порівнянні з промисловими конструкціями існуючих автоматичних установок газового пожежогасіння, він дає можливість підвищити ефективність об'ємного газового пожежогасіння НГ до 10 % за рахунок додаткового елемента – спеціальної камери змішування суміші газів. Визначено тиск зарядки змішувача ЛВС за одним з компонентів вогнегасної суміші НГ, з міркувань механічної міцності, найменш слабких кріпильних елементів механіки ЛВС знайдена межа придатного робочого тиску задіяння його камери, яка склала 3,5 МПа.

2. Визначено оптимальний склад суміші «CONAR» для ефективного об'ємного пожежогасіння з точки зору швидкості гасіння, відносно невеликої коштовності та безумовного збереження показників якості МХЦ після гасіння, тобто – раціонального збереження артефактів. Визначено об'ємні долі суміші нейтральних газів ($\text{CO}_2=50\%$, $\text{N}_2=40\%$, $\text{Ar}=10\%$), яка має найкращі показники вогнегасної ефективності за часом гасіння модельного вогнища 4,6 с. Отримано склад недорогої суміші, яка на 15 % дешевше суміші газу закордонного зразка Inergen IG-541, який використовується в аналогічних системах газового пожежогасіння.

Література

1. Ostapov K., Kirichenko I., Senchykhyn Y. Improvement of the installation with an extended barrel of cranked type used for fire extinguishing by gel-forming compositions. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2019. Vol. 4(10(100)). P. 30–36. doi: 10.15587/1729-4061.2019.174592

2. Ostapov K. et al. Improving the Quenching of the Undercarriage Space Due to the Adhesive Properties of Gel-Forming Compositions. Key Engineering Materials.

2022. Vol. 927. P. 53–62. doi: 10.4028/p-1su80t

3. Dubinin D. et al., Experimental Investigations of the Thermal Decomposition of Wood at the Time of the Fire in the Premises of Domestic Buildings. *Materials Science Forum*. 2022. 1066. P. 191–198. doi: 10.4028/p-8258ob

4. Kirkwood Clive. The Fire Disaster in the University of Cape Town's Jagger Library. *Cabo*. 2021. Vol. 1. P. 40–55, doi: 10.10520/ejc-cabo_v2021_n1_a5

5. ДБН В. 2. 5-56:2014 Системи протипожежного захисту.

6. Аналітична довідка про пожежі та їх наслідки в Україні за 12 місяців 2023 року. Інститут державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту. Київ, 2024. 39 с.

7. Горобчук А. Пожежна безпека сакральних об'єктів в умовах воєнного стану. Проблеми та перспективи розвитку системи безпеки життєдіяльності: збірник наукових праць. Львів. 2024. С. 242–244. URL: <https://sci.ldubgd.edu.ua/handle/123456789/13909>

8. ДСТУ EN 15004-1:2014 Стационарні системи пожежогасіння. Системи газового пожежогасіння. Частина 1. Проектування, монтування та технічне обслуговування (EN 15004-1:2008, IDT).

9. Dubinin D. et al. Investigation of the effect of carbon monoxide on people in case of fire in a building, Ispitivanje djelovanja ugljičnog monoksida na ljude u slučaju požara u zgradi, *Sigurnost*. 2020. Vol. 62(4). P. 347–357. doi: 10.31306/s.62.4.2

10. Qichang Dong, Jiacheng Qi, Song Lu, Long Shi, Synergistic effects of typical clean gaseous fire-extinguishing agents. *Fire Safety Journal*. 2024. Vol. 147. 104206. doi: 10.1016/j.firesaf.2024.104206

11. В Абхазії згоріло майже 4 тисячі полотен золотого фонду національних художників: історія багаторічного саботажу. URL: <https://zaborona.com/v-abhaziyi-zgorilo-majzhe-4-tysyachi-poloten-zolotogo-fondu/>

12. Російські окупанти розграбували Херсонський художній музей URL: <https://hromadske.ua/posts/rosijski-okupanti-rozgrabuvali-hersonskij-hudozhnij-muzej>

13. Пат. 119878 Україна, МПК А62С31/02 Насадок прихований висувний для установок газового пожежогасіння (варіанти) / Хазова Н.; заявник та патентовласник ООО «Пожтехніка» – а201701105; заяв. 11.03.2016; опубл. 25.09.2017, Бюл. № 18.

14. Paul Papas, Changmin Cao, Wookyung Kim, Eli Baldwin, Adam Chattaway. Fire suppression using trifluoroiodomethane (CF₃I)-carbon dioxide (CO₂) mixtures. *Proceedings of the Combustion Institute*. 2023. Vol. 39. Issue 3. P. 3765–3773. doi: 10.1016/j.proci.2022.07.257

15. Матвієнко В. М., Ковтун О. Ю. Конференція сторін Віденської конвенції про охорону озонового шару. Українська дипломатична енциклопедія, 2014. Т. 1. 760 с.

16. Qi Yang, Jiaqi Zhang, Yu Gao, Xiaomeng Zhou, Haijun Zhang. Toward better Halon substitutes: Effects of H content on pyrolytic and fire-suppressing mechanisms of ozone-friendly fluorinated alkanes. *Journal of Molecular Structure*. 2023. Vol. 1285. 135506. doi: 10.1016/j.molstruc.2023.135506

17. John L. Pagliaro, Gregory T. Linteris, Peter B. Sunderland, Patrick T. Baker. Combustion inhibition and enhancement of premixed methane–air flames by halon replacements. *Combustion and Flame*. 2015. Vol. 162. Issue 1. Pages 41–49. doi: 10.1016/j.combustflame.2014.07.006

K. Ostapov¹, PhD, Associate Professor, Associate Professor of the Department

O. Chaplyhin², PhD, Deputy Head of the Main Department

A. Lisniak¹, PhD, Associate Professor, Head of Department

I. Gritsina¹, PhD, Associate Professor, Deputy Head of Department

S. Shevchenko¹, PhD, Associate Professor of the Department

Yu. Gaponenko¹, Lecturer of the Department

Y. Krivoruchko¹, Lecturer of the Department

¹National University of Civil Protection of Ukraine, Cherkasy, Ukraine

²State Emergency Service of Ukraine in the Kharkiv region, Kharkiv, Ukraine

OPTIMIZATION OF THE COMPOSITION OF NEUTRAL GASES FOR FIRE EXTINGUISHING IN MUSEUM RESERVOIRS

An effective fire extinguishing system has been created for extinguishing fires in museum warehouses with a mixture of neutral gases that do not distort museum artistic values and are able to compete with the best foreign examples of volumetric gas fire extinguishing systems. The proportion of the gas mixture consisting of argon, nitrogen and carbon dioxide has been optimized for fire extinguishing of museum art treasures. Taking into account the requirements of the Montreal Protocol on substances that deplete the ozone layer, an analysis of the state of the issue and the specifics of the solution to the problem of gas extinguishing fires in art museums and their fund storages was carried out. The direction of improvement of the existing automatic volumetric fire extinguishing installations with neutral gases has been determined. An effective and relatively inexpensive composition of a mixture of neutral gases has been developed for use in volume extinguishing of possible fires in fund repositories and museums, which ensures the preservation of material and artistic-aesthetic values without their distortion. Volume fractions of two mixtures of neutral gases № 14 (CO₂=50 %, N₂=40 %, Ar=10 %) and № 15 (CO₂= 40 %, N₂=50 %, Ar=10 %) were determined, which are close by its composition and have the best fire-extinguishing efficiency indicators in terms of extinguishing time of the model fire 4.6 s and 4.8 s. A test laboratory stand was created, as an analogue of a volumetric gas fire extinguishing installation with a mixer of the components of the proposed working mixture of neutral gases, on which the indicators of the effectiveness of extinguishing model fires were worked out when extinguishing samples of various fragments of artistic underdrawings on parts of line and Whatman. The technical parameters of the working chamber of the laboratory stand are substantiated, and the rational ratio of pressures filling the stand mixer with components of a mixture of neutral gases is recognized based on its mathematical model, which makes it possible to improve existing industrial installations of various sizes. The price reduction of the proposed neutral gas is justified. **Keywords:** museum repositories, fire-extinguishing mixture of neutral gases, museum artistic values, architectural and structural and volume-planning solutions, fire protection of museums.

Keywords: museum storage facilities, fire extinguishing mixture of neutral gases, architectural, structural and spatial planning solutions, fire protection

References

1. Ostapov, K., Kirichenko, I., Senchykhyn, Y. (2019). Improvement of the installation with an extended barrel of cranked type used for fire extinguishing by gel-forming compositions. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4(10(100)), 30–36. doi: 10.15587/1729-4061.2019.174592
2. Ostapov, K. et al. (2022). Improving the Quenching of the Undercarriage Space Due to the Adhesive Properties of Gel-Forming Compositions. *Key Engineering Materials*, 927, 53–62. doi: 10.4028/p-1su80t
3. D. Dubinin et al. (2022). Experimental Investigations of the Thermal Decomposition of Wood at the Time of the Fire in the Premises of Domestic Buildings, *Materials Science Forum*, 1066, 191–198. doi: 10.4028/p-8258ob
4. Kirkwood Clive. (2021). The Fire Disaster in the University of Cape Town's Jagger Library. *Cabo*, 1, 40–55. doi: 10.10520/ejc-cabo_v2021_n1_a5
5. DBN V. 2. 5-56:2014 Systemy protypozhezhnoho zakhystu.

6. Analitichna dovidka pro pozhezhi ta yikh naslidky v Ukraini za 12 misiatsiv 2023 roku. (2024). Instytut derzhavnogo upravlinnia ta naukovykh doslidzhen z tsyvilnoho zakhystu, 39.

7. Horobchuk, A. (2024). Pozhezha bezpeka sakralnykh ob'ektiv v umovakh voiennoho stanu. Problemy ta perspektyvy rozvytku systemy bezpeky zhyttiediialnosti, 242–244. url: <https://sci.ldubgd.edu.ua/handle/123456789/13909>

8. DSTU EN 15004-1:2014 Statsionarni systemy pozhezhozasinnia. Systemy hazovoho pozhezhozasinnia. Chastyna 1. Proektuvannia, montuvannia ta tekhnichne obsluhovuvannia (EN 15004-1:2008, IDT).

9. D. Dubinin et al. (2020). Investigation of the effect of carbon monoxide on people in case of fire in a building, Ispytivanie djelovanija ugljichnog monoksida na ljude u slucaju požara u zgradi, Sigurnost, 62 (4), 347–357. doi: 10.31306/s.62.4.2

10. Qichang Dong, Jiacheng Qi, Song Lu, Long Shi. (2024). Synergistic effects of typical clean gaseous fire-extinguishing agents. Fire Safety Journal, 147, 104206. doi: 10.1016/j.firesaf.2024.104206

11. V Abkhazii zghorilo maizhe 4 tysiachi poloten zolotoho fondu natsionalnykh khudozhnykiv: istoriia bahatorichnoho sabotazhu. Available at: <https://zaborona.com/v-abhazyi-zghorilo-majzhe-4-tysyachi-poloten-zolotogo-fondu/>

12. Російські окупанти розграбували Херсонський художній музей. Available at: <https://hromadske.ua/posts/rosijski-okupanti-rozgrabuvali-hersonskij-hudozhnij-muzej>

13. Pat. 119878 Ukraina, MPK A62C31/02. Nasadok prykhovanyi vysuvnyi dla ustanovok hazovoho pozhezhozasinnia (varianty). Khazova N.; zaiavnyk ta patentovlasnyk OOO «Pozhtekhnika» – a201701105; zaiav. 11.03.2016; opubl. 25.09.2017, Biul. № 18.

14. Paul Papas, Changmin Cao, Wookyung Kim, Eli Baldwin, Adam Chattaway. (2023). Fire suppression using trifluoroiodomethane (CF₃I)-carbon dioxide (CO₂) mixtures. Proceedings of the Combustion Institute, 39, 3, 3765–3773. doi: 10.1016/j.proci.2022.07.257

15. Matviienko, V., Kovtun, O. (2014). Konferentsiia storin Videnskoj konventsii pro okhoronu ozonovoho sharu. Ukrainska dyplomatychna entsyklopediia, 1, 760.

16. Qi Yang, Jiaqi Zhang, Yu Gao, Xiaomeng Zhou, Haijun Zhang. (2023). Toward better Halon substitutes: Effects of H content on pyrolytic and fire-suppressing mechanisms of ozone-friendly fluorinated alkanes. Journal of Molecular Structure, 1285, 135506. doi: 10.1016/j.molstruc.2023.135506

17. John L. Pagliaro, Gregory T. Linteris, Peter B. Sunderland, Patrick T. Baker. (2015). Combustion inhibition and enhancement of premixed methane-air flames by halon replacements. Combustion and Flame, 162, 1, 41–49. doi: 10.1016/j.combustflame.2014.07.006

Надійшла до редколегії: 08.10.2024

Прийнята до друку: 13.11.2024