

**ДЕРЖАВНА СЛУЖБА УКРАЇНИ З НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ  
ЧЕРКАСЬКИЙ ІНСТИТУТ ПОЖЕЖНОЇ БЕЗПЕКИ  
ІМ. ГЕРОЇВ ЧОРНОБИЛЯ  
НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ  
УКРАЇНИ**

На правах рукопису

**Журбинський Дмитро Анатолійович**

УДК 614.844:614.845

**ФЛЕГМАТИЗУВАННЯ ГАЗОВИХ ГОРЮЧИХ СЕРЕДОВИЩ  
СУМІШАМИ ВОГНЕГАСНИХ АЕРОЗОЛІВ ТА ГАЗОВИХ  
ВОГНЕГАСНИХ РЕЧОВИН**

Дисертація на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Спеціальність 21.06.02 – пожежна безпека

Науковий керівник:  
кандидат технічних наук, доцент  
Баланюк Володимир Мірчович

Черкаси-2014

## ЗМІСТ

Вступ.....	6
Розділ 1. АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ РОЗРОБЛЕННЯ І ЗАСТОСУВАННЯ ГАЗОАЕРОЗОЛЬНИХ ТА ГАЗОВИХ ВОГНЕГАСНИХ РЕЧОВИН ДЛЯ ПРОТИПОЖЕЖНОГО ЗАХИСТУ ОБ'ЄКТІВ І ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ.....	15
1.1. Статистика пожеж на об'єктах з наявністю газових горючих середовищ у приміщеннях та технологічних об'ємах з можливістю виникнення пожеж класів А,В,С та електрообладнання.....	15
1.2. Ефективність застосування вогнегасних аерозолів та газових вогнегасних речовин в системах протипожежного захисту об'єктів.....	16
1.3. Аналіз наукової літератури і нормативних документів щодо визначення вогнегасних та флегматизувальних властивостей газових та аерозольних вогнегасних речовин.....	36
1.4. Ідея роботи.....	38
1.5. Мета і задачі дослідження.....	39
Розділ 2. МЕТОДИКИ ПРОВЕДЕННЯ ТЕОРЕТИЧНИХ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ З ВИЯВЛЕННЯ ВПЛИВУ СПІВВІДНОШЕНЬ КОНЦЕНТРАЦІЙ ВОГНЕГАСНИХ АЕРОЗОЛІВ ТА ГАЗОВИХ ВОГНЕГАСНИХ РЕЧОВИН НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ПРОЦЕСІВ ФЛЕГМАТИЗУВАННЯ ГАЗОВИХ ГОРЮЧИХ СЕРЕДОВИЩ.....	41
2.1. Методики визначення флегматизувальної ефективності газових горючих середовищ газовими вогнегасними речовинами, вогнегасними аерозолями та їх сумішами.....	41
2.1.1. Визначення флегматизувальної ефективності газових горючих середовищ методом «камери» у лабораторних умовах.....	41
2.1.2. Методика визначення флегматизувальної ефективності газових горючих середовищ методом «циліндра» у лабораторних умовах.....	50

2.1.3. Визначення ефективності припинення горіння модельних і макетних вогнищ та флегматизування газового горючого середовища вогнегасним аерозолем, а також за одночасного комбінованого подавання вогнегасного аерозолю та діоксиду карбону .....	51
2.2. Теоретичні дослідження з визначення впливу співвідношень компонентів в сумішах вогнегасного аерозолю та вогнегасних речовин-розріджувачів на їх флегматизувальну здатність із застосуванням методу повнофакторного експерименту.....	53
2.2.1. Вибірка Y, визначення факторів і інтервалів їх варіювання.....	53
2.2.2. Побудова плану проведення повного факторного експерименту.	54
2.2.3. Визначення коефіцієнтів рівняння регресії.....	56
2.2.4. Перевірка значущості коефіцієнтів регресії.....	57
2.2.5. Обчислення розрахункових значень параметрів оптимізації.....	60
2.2.6. Визначення критерію Фішера і перевірка моделі на адекватність.....	60
2.2.7. Аналіз регресійної моделі в факторному просторі.....	62
2.3. Теоретичні розрахунки теплопоглинальної здатності аерозолів, згенерованих АУС із вмістом неорганічних солей калію.....	67
2.4. Висновки за розділом.....	75
<b>Розділ 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ З ВИЯВЛЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ ФЛЕГМАТИЗУВАЛЬНОЇ ЗДАТНОСТІ ВІД СПІВВІДНОШЕННЯ КОНЦЕНТРАЦІЙ ВОГНЕГАСНИХ АЕРОЗОЛІВ ТА ГАЗОВИХ ВОГНЕГАСНИХ РЕЧОВИН-РОЗРІДЖУВАЧІВ У ЇХНІХ БІНАРНИХ СУМІШАХ.....</b>	<b>78</b>
3.1. Експериментальні дослідження з виявлення впливу співвідношень концентрацій бінарних сумішей вогнегасних аерозолів та газових вогнегасних речовин на ефективність процесів флегматизування газових горючих середовищ методом «камери».....	78

3.2. Експериментальні дослідження флегматизувальної ефективності вогнегасного аерозолю, згенерованого з АУС «Багр», та його суміші з $\text{CO}_2$ та $\text{N}_2$ за співвідношення 50×50 %, об.....	82
3.3. Експериментальні дослідження визначення флегматизувальної ефективності газових горючих середовищ методом «циліндра» у лабораторних умовах.....	83
3.4. Висновки за розділом.....	84
Розділ 4. ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	86
4.1. Обґрунтування схемного рішення і параметрів технічного пристрою комбінованого подавання вогнегасного аерозолю та діоксиду карбону .....	86
4.2. Розроблення технічного регламенту на виготовлення технічного пристрою комбінованого подавання вогнегасного аерозолю та діоксиду карбону.....	88
4.3. Розробка проекту технічних умов пристрою комбінованого подавання вогнегасного аерозолю та діоксиду карбону.....	93
4.4. Апробація запропонованого технічного пристрою комбінованого подавання вогнегасного аерозолю і діоксиду карбону з визначенням ефективності флегматизування газового горючого середовища в натурних умовах.....	105
4.5. Розробка проекту рекомендацій щодо застосування технічних пристроїв комбінованого подавання вогнегасного аерозолю та діоксиду карбону для флегматизування газових горючих середовищ в автоматичних системах пожежогасіння для протипожежного захисту об'єктів з можливістю виникнення вибухів та пожеж класів А, В та С, а також електрообладнання.....	107
4.6. Техніко-економічне обґрунтування результатів роботи.....	107
4.7. Висновки за розділом.....	109
Загальні висновки.....	111

Список використаних джерел.....	114
Додаток А. Технологічний регламент на виготовлення «Пристрою одночасної подачі вогнегасного аерозолю та газу». Проект.....	129
Додаток Б. Технічні умови на «Пристрій одночасної подачі вогнегасного аерозолю та газу на основі аерозольотворювальної сполуки «Багр-1».....	130
Додаток В. Акт впровадження результатів дисертаційної роботи.....	131
Додаток Д. Методика визначення мінімальної флегматизувальної концентрації газоаерозольної суміші.....	133
Додаток Е. Протокол № 0014 визначення показників флегматизувальної здатності при флегматизуванні пароповітряної суміші газоаерозолем.....	140
Додаток Ж. Акт виготовлення дослідної партії пристрою комбінованого подавання вогнегасного аерозолю та газової вогнегасної речовини-розріджувача.....	147

## ВСТУП

Результати аналізу статистики пожеж в Україні за 2012-13 роки свідчать, що щороку на об'єктах з наявністю газових горючих середовищ і можливістю виникнення горіння, вибухів і пожеж класів А, В, С та електрообладнання виникає понад 20 % від їх загальної кількості [1].

**Актуальність теми.** Як відомо, до сучасних засобів запобігання пожежам та вибухам на об'єктах відносяться автоматичні системи аерозольного, а також газового пожежогасіння.

Наукові результати з питань розроблення таких систем та їхніх елементів, а також дослідженням механізму дії вогнегасних аерозолів та вогнегасних газових речовин висвітлено у роботах А.М. Баратова, В.В. Агафонова, М.П. Копилова, В.В. Азатяна, Л.П. Вогмана, М.Н. Вайсмана, А.В. Антонова, В.І. Горшкова, Ю.М. Шебеко, С.М. Бондаренка, В.М. Алікіна, О.В. Тарахно, О.А. Дерев'янка, Ю.Ф. Булгакова, О.О. Сізікова, В.О. Дунюшкіна, В.П. Тарадайка, В.М. Апановича, Ю.А. Мишака, Д.А. Корольченка, С.О. Радченка, С.Г. Цариченка, В.М. Баланюка, Ю.О. Копистинського, В.Г. Коростильова та ін.

Слід зазначити, що недостатньо уваги зазначених дослідників було приділено комбінованому застосуванню вогнегасних аерозолів та газових вогнегасних речовин-розріджувачів.

Нами було висунуто теоретичне припущення, що підвищення ефективності застосування автоматичних систем аерозольного пожежогасіння може бути досягнуто шляхом сумісного комбінованого подавання вогнегасних аерозолів та газових вогнегасних речовин-розріджувачів.

Розкриття особливостей процесу флегматизування горючих середовищ за комбінованого застосування бінарних сумішей вогнегасних аерозолів та газових вогнегасних речовин-розріджувачів є актуальною науково-технічною задачею, розв'язання якої є науковим підґрунтям

підвищення ефективності роботи автоматичних систем пожежогасіння, призначених для протипожежного захисту об'єктів з наявністю замкнених і напівзамкнених приміщень та технологічних об'ємів з можливістю виникнення на них вибухів і пожеж класів А, В, С, а також електрообладнання.

### **Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.**

Роботу виконано у рамках реалізації «Програми забезпечення пожежної безпеки на період до 2010 року, затвердженої постановою Кабінету Міністрів України від 01.07.2002 року № 870», та Державної цільової соціальної програми забезпечення пожежної безпеки на 2012–2015 роки під час виконання науково-дослідної роботи УкрНДЦЗ «Провести дослідження з розкриття особливостей процесів припинення горіння горючих речовин під час застосування сучасних вогнегасних речовин та технологій їх подавання» («Припинення горіння») (№ ДР 0111 У 006565), в якій здобувач є виконавцем.

**Ідея роботи** полягала в одночасному комбінованому застосуванні сумішей вогнегасних аерозолів та газових вогнегасних речовин-розріджувачів в автоматичних системах, призначених для протипожежного захисту об'єктів з наявністю замкнених і напівзамкнених приміщень або технологічних об'ємів і можливістю виникнення на них вибухів та пожеж класів А, В, С, а також електрообладнання.

### **Мета і задачі досліджень**

Метою роботи є розкриття особливостей процесу флегматизування газових горючих середовищ у замкнених і напівзамкнених об'ємах за комбінованого застосування бінарних сумішей вогнегасних аерозолів та газових вогнегасних речовин-розріджувачів.

Для досягнення поставленої мети потрібно розв'язати такі задачі:

- провести аналіз сучасного стану розроблення і застосування газоаерозольних та газових вогнегасних речовин для протипожежного

захисту об'єктів і технологічних процесів і виявити шляхи підвищення ефективності флегматизування газових горючих середовищ у замкнених і напівзамкнених об'ємах;

- розробити методику проведення теоретичних та експериментальних досліджень з виявлення впливу співвідношень концентрацій вогнегасних аерозолів та газових вогнегасних речовин на ефективність процесів флегматизування газових горючих середовищ;

- провести експериментальні дослідження з виявлення залежності флегматизувальної здатності від співвідношення концентрацій вогнегасних аерозолів та газових вогнегасних речовин-розріджувачів у їхніх бінарних сумішах;

- обґрунтувати схемне рішення і параметри технічного пристрою комбінованого подавання вогнегасного аерозолу та газової вогнегасної речовини-розріджувача, а також виготовити їх дослідну партію;

- провести експериментальні дослідження з виявлення ефективності флегматизування газових горючих середовищ у разі застосування розроблених технічних пристроїв комбінованого подавання вогнегасного аерозолу і газової вогнегасної речовини-розріджувача та провести їх апробацію в умовах можливого застосування;

- розробити проект рекомендацій щодо застосування технічних пристроїв комбінованого подавання вогнегасного аерозолу та газової вогнегасної речовини-розріджувача для флегматизування газових горючих середовищ в системах протипожежного захисту об'єктів з можливістю виникнення вибухів та пожеж класів А, В, С, а також електрообладнання.

**Методи дослідження.** У роботі використано комплексний метод досліджень, який включав аналіз сучасного стану розроблення і застосування газоаерозольних та газових вогнегасних речовин для протипожежного захисту об'єктів і технологічних процесів.



Ефективність процесів флегматизування газових горючих середовищ вогнегасними аерозолями, діоксидом карбону, азотом та їх сумішами визначали за розробленими методиками в лабораторних та полігонних умовах, з використанням метрологічно атестованого обладнання і повірених засобів вимірювання. Концентрації газів флегматизаторів в газоаерозольній суміші визначали із застосуванням газоаналізатора «Protégé» виробництва фірми «SCOTT». Процеси поширення полум'я при флегматизуванні стехіометричної гексаноповітряної суміші вогнегасними газоаерозолями досліджували за методом «циліндра» із застосуванням швидкісної кінокамери. Похибка при експериментальному визначенні флегматизувальної концентрації аерозолів не перевищувала 12 %. В роботі використовували методи планування повнофакторного експерименту. Результати теоретичних і експериментальних досліджень обробляли з використанням статистичних методів і доведень із залученням комп'ютерної техніки. Графіки залежності зменшення вогнегасної концентрації вогнегасного аерозолю від концентрацій газів-флегматизаторів, побудовано з використанням стандартного додатка Microsoft Office Excel.

**Наукова новизна** одержаних результатів полягає у розкритті особливостей впливу співвідношень концентрацій вогнегасних аерозолів та газових вогнегасних речовин-розріджувачів на ефективність процесів флегматизування газових горючих середовищ їх бінарними сумішами у замкнених і напівзамкнених об'ємах.

При цьому:

- уперше виявлено ефект синергізму у разі одночасного комбінованого застосування бінарних сумішей вогнегасних аерозолів із вмістом неорганічних солей калію та газових вогнегасних речовин-розріджувачів (діоксид карбону або азот), який проявляється у зниженні значень флегматизувальної концентрації газових горючих середовищ від

1,25 до 3,5 разів, порівняно з концентрацією вогнегасних аерозолів, та більше ніж на порядок, порівняно з флегматизувальною концентрацією газової вогнегасної речовини-розріджувача;

- дістало подальший розвиток уявлення щодо перевищення значення мінімальної флегматизувальної концентрації над значенням їх мінімальної вогнегасної концентрації, яке для аерозольотворювальної речовини БАГР із вмістом неорганічних солей калію – інгібіторів горіння та діоксиду карбону, вище у 2...2,5 рази.

- дістало подальший розвиток уявлення щодо ефективності комбінованого застосування бінарних сумішей вогнегасних аерозолів-інгібіторів горіння і газових вогнегасних речовин-розріджувачів в системах протипожежного захисту об'єктів з наявністю газових горючих середовищ і можливістю виникнення пожеж класів А, В, С та електрообладнання;

- удосконалено автоматичну систему пожежогасіння, яка забезпечує ефект флегматизування газових горючих середовищ в замкнених і напівзамкнених об'ємах протягом щонайменше 15 хвилин шляхом генерування в захищуваний об'єм бінарної суміші вогнегасних аерозолів та газових вогнегасних речовин-розріджувачів.

**Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій** забезпечено ґрунтовним аналізом літературних даних щодо розроблення і застосування автоматичних систем аерозольного та газового пожежогасіння; використанням розроблених експериментальних методик дослідження ефективності процесів флегматизування газових горючих середовищ вогнегасними аерозолями, діоксидом карбону, азотом та їх сумішами в лабораторних та полігонних умовах, з використанням метрологічно атестованого обладнання і повірених засобів вимірювання; достатньою кількістю проведених досліджень; достатньою збіжністю результатів експериментальних досліджень (похибки при експериментальному визначенні флегматизувальної концентрації аерозолів

не перевищували 12 %.); використанням методу планування повнофакторного експерименту; обробкою результатів досліджень з використанням статистичних методів із залученням комп'ютерної техніки; побудовою графіків залежності зменшення вогнегасної концентрації вогнегасного аерозолу від концентрацій газів-флегматизаторів з використанням стандартного додатка Microsoft Office Excel, а також практичним впровадженням запропонованої автоматичної системи пожежогасіння з комбінованим одночасним подаванням вогнегасного аерозолу та діоксиду карбону на реальному об'єкті протипожежного захисту.

**Наукове значення роботи** полягає у розкритті особливостей впливу співвідношень концентрацій вогнегасних аерозолів та газових вогнегасних речовин-розріджувачів на ефективність процесів флегматизування газових горючих середовищ їх бінарними сумішами у замкнених і напівзамкнених об'ємах, що створило передумови підвищення ефективності застосування автоматичних систем пожежогасіння, призначених для протипожежного захисту об'єктів з наявністю замкнених і напівзамкнених приміщень або технологічних об'ємів і можливістю виникнення на них вибухів та пожеж класів А, В, С, а також електрообладнання.

**Практичне значення отриманих результатів** полягає у розробленні, виготовленні і апробації пристрою одночасного подавання вогнегасного аерозолу та діоксиду карбону в автоматичних системах пожежогасіння для протипожежного захисту об'єктів з можливістю виникнення пожеж класу А, В та С, а також електрообладнання, що створило передумови підвищення ефективності флегматизування газових горючих середовищ.

Розроблено відповідну технічну документацію, виготовлено дослідно-промислові зразки пристроїв одночасного подавання вогнегасного аерозолу та вогнегасної газової речовини-розріджувача, проведено їх

полігонні випробування; результати випробувань підтвердили високу вогнегасну та флегматизаційну ефективність пристроїв.

Результати досліджень впроваджено шляхом застосування розробленого пристрою одночасного подавання вогнегасного аерозолю та діоксиду карбону в автоматичній системі пожежогасіння, для протипожежного захисту виробничої ділянки науково-дослідного інституту «Акорд», а також у навчальний процес Академії пожежної безпеки ім. Героїв Чорнобиля шляхом застосування запропонованої методики визначення флегматизувальної ефективності вогнегасних аерозолів, вогнегасних газових речовин, а також їх сумішей під час викладання дисципліни «Теорія розвитку та припинення горіння», про що є відповідні затверджені акти.

**Особистий внесок здобувача** полягає в самостійному аналізі літературних джерел щодо сучасного стану розробок і застосування газоаерозольних та газових вогнегасних речовин для протипожежного захисту об'єктів і технологічних процесів і виявленні шляхів підвищення ефективності флегматизування газових горючих середовищ у замкнених і напівзамкнених об'ємах.

Особистий внесок здобувача в роботах, написаних у співавторстві: [1] – досліджено внутрішні процеси в аерозолях під час гасіння дифузійного полум'я; [2] – досліджено залежність вогнегасної здатності аерозольотворювальних систем від їх компонентного складу; [3] – досліджено та виявлено вплив інертних газів на флегматизувальну ефективність аерозолів; [4] – розглянуто механізм дії газоаерозольних флегматизаторів, які обумовлюють підвищення вогнегасної ефективності аерозолів; [5] – виявлено, що застосування інертних газів підвищує флегматизувальну ефективність вогнегасного аерозолю; [6] – теоретично обґрунтовано та експериментально доведено підвищення ефективності гасіння у разі послідовного застосування вогнегасного аерозолю та

інертних газів з визначеними концентраціями; [7] – підготовлено установку та рецептури АУС; [8] – встановлено флегматизувальні концентрації газоаерозольної суміші; [9] – розглянуто особливості взаємодії компонентів газоаерозольної суміші. Встановлено середню флегматизаційну концентрацію аерозолу при добавці CO<sub>2</sub>.

**Апробація результатів дисертації.** Основні результати дисертаційної роботи доповідались на:

- Міжнародній науково-практичній конференції «Пожежна безпека-2007» (Черкаси, 2007);
- Міжнародній науково-практичній конференції «Техногенна безпека. Теорія, практика, інновації» (Львів, 2008);
- IX Міжнародній науково-практичній конференції «Пожежна безпека – 2009» (Львів, 2009);
- Міжнародній науково-практичній конференції «Теорія та практика ліквідації надзвичайних ситуацій» (Черкаси, 2011);
- Науково-практичній конференції «Теорія та практика ліквідації надзвичайних ситуацій» (Черкаси, 2012);
- Міжнародній науково-практичній конференції «Актуальні проблеми технічних та соціально-гуманітарних наук у забезпеченні діяльності служби цивільного захисту» (Черкаси, 2013).

**Публікації.** Основні результати дисертаційних досліджень опубліковані в 15 наукових роботах, з яких 9 статей у фахових виданнях та 6 тез доповідей на міжнародних та національних науково-практичних конференціях.

**Структура та обсяг роботи.** Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів, загальних висновків, списку використаних літературних джерел та шести додатків. Роботу викладено на 148 сторінках друкованого тексту, що містить 20 таблиць та 18 рисунків. Список використаних джерел містить 119 найменувань. Додатки викладено на 27 сторінках.

Дисертант висловлює подяку колегам Українського науково-дослідного інституту цивільного захисту за надану консультативну та науково-методичну допомогу у проведенні експериментів та обговоренні результатів, які отримано під час виконання НДР з шифром «Припинення горіння».

**РОЗДІЛ 1**  
**АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ РОЗРОБЛЕННЯ І**  
**ЗАСТОСУВАННЯ ГАЗОАЕРОЗОЛЬНИХ ТА ГАЗОВИХ**  
**ВОГНЕГАСНИХ РЕЧОВИН ДЛЯ ПРОТИПОЖЕЖНОГО ЗАХИСТУ**  
**ОБ'ЄКТІВ І ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ**

**1.1. Статистика пожеж на об'єктах з наявністю газових горючих середовищ у приміщеннях та технологічних об'ємах з можливістю виникнення пожеж класів А,В,С та електрообладнання**

За даними ДСНС України [1] щороку в Україні виникає понад 60 тис. пожеж, зокрема, у 2012 році – 71443, а у 2013 році – 61114, на яких загинуло 2751 та 2494 людей відповідно.

У таблиці 1.1 наведено основні відомості щодо статистики пожеж за 2012-2013 роки.

Таблиця 1.1

Стан з пожежами в Україні за 2012-2013 роки

Загальні дані про пожежі		
1	2	3
Рік	2013	2012
Кількість пожеж	61114	71443
Збитки прямі, тис. грн.	710863	860070
Збитки побічні, тис. грн.	2241721	2499991
Загибло людей унаслідок пожеж	2494	2751
Всього зафіксовано пожеж на об'єктах з наявністю газових горючих середовищ і можливістю виникнення горіння, вибухів та пожеж класів А, В, С та електрообладнання:	13199	14682

Продовження табл. 1.1

1	2	3
Споруди виробничого призначення	449	465
Торговельно-складські споруди	871	905
Інші об'єкти	11879	13312
% зафіксованих пожеж на об'єктах з наявністю газових горючих середовищ і можливістю виникнення горіння, вибухів та пожеж класів А, В, С та електрообладнання від загальної кількості пожеж	21,6	20,5

Аналіз наведених даних дає підставу стверджувати, що щороку на об'єктах з наявністю газових горючих середовищ і можливістю виникнення горіння, вибухів і пожеж класів А, В, С та електрообладнання виникає понад 20 % від їх загальної кількості.

## **1.2. Ефективність застосування вогнегасних аерозолів та газових вогнегасних речовин в системах протипожежного захисту об'єктів**

Як відомо, до сучасних засобів запобігання пожежам та вибухам на об'єктах відносяться автоматичні системи аерозольного, а також газового пожежогасіння [2-18].

Наукові результати з питань розробок таких систем та їхніх елементів, а також дослідженням механізму дії вогнегасних аерозолів та вогнегасних газових речовин висвітлено у роботах А.М. Баратова, В.В. Агафонова, М.П. Копилова, В.В. Азатяна, Л.П. Вогмана, М.Н. Вайсмана, А.В. Антонова, В.І. Горшкова, Ю.М. Шебеко, С.М. Бондаренка, В.М. Алікіна, О.В. Тарахно, О.А. Дерев'янка, Ю.Ф. Булгакова, О.О. Сізікова, В.О. Дунюшкіна, В.П. Тарадайка, В.М. Апановича, Ю.А. Мишака, Д.А. Корольченка, С.О. Радченка, С.Г. Цариченка, В.М. Баланюка, Ю.О. Копистинського, В.Г. Коростильова та ін.



За останні 10–15 років багато науково-технічних підприємств (переважно в Росії, зокрема ФЦДТ «Союз», НДІ прикладної хімії, СКТБ «Технолог», Пермське НВО ім. Кірова, Бійське НВО «Алтай», ЦНКБ АО «Граніт–Саламандра», «Інтертехнолог», «Епотос» тощо) почали спеціалізуватися на вдосконаленні, виробництві і практичному впровадженні твердопаливних аерозольотворювальних сполук та генераторів вогнегасних аерозолів [15].

Тактико-технічні характеристики деяких типових серійних генераторів вогнегасних аерозолів (ГВА), мінімальну питому масову вогнегасну витрату АУС наведено у таблицях 1.2-1.3, а у таблицях 1.4-1.5 наведено характеристики аерозольотворювальних складів (АУС) та їх рецептур на основі органічних палив [10, 13, 15, 19-24].

Таблиця 1.2

## Тактико-технічні характеристики деяких типових серійних ГВА

Позначення ГВА	Вага АУС, кг	∑ Вага ГВА, г	Розміри ГВА, мм	Захищений об'єм при гасінні пожеж класу А2, В*, м <sup>3</sup>	Час роботи ГВА, с	Розміри зон аерозолу, м, з температурою, °С, більше		
						75	200	400
1	2	3	4	5	6	7	8	9
МАГ-3	0,19	0,8	D=75; L=151	1,5...2,2	5...9	1	0,4	0,2
МАГ-14	5,4	25	D=402; L=260	40...60	7...12	4	1,5	0,3
АГАТ-2**	9 2,5	82 75,5	D=181; L=1250	До 180 До 50	30	1,6	0,5	0
АГС-6	3,4	12,5	D=167; L=420	52	35±6	0,5	0,25	0,05
АГС-8/2	6,7	18	D=220; L=350	124	140±21	1,5	0,25	0,1

Продовження табл. 1.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9
ОСАМ-20/40	2,7 4,8	9,1 11,2	D=200; L=260	31 57	35...100	0,32	0,12	0,04
ОСАМ-60	6,9 9,2	22,7 25	D=260; L=290	81 108	35...100	0,32	0,12	0,04
Пурга-К002	0,02	0,1	D=28; L=140	0,15	7...10	0,2	0,1	0
Пурга-МХ	1	5,6	D=100; L=623	8,5	20...25	0,9	0,2	0
СПТС-80Х	4,5	20	D=220; L=350	80	185±15	0,5	0	0
ФП-200	0,20	1,45	D=80; L=110	2	13...20	0,5	0,3	0,05
ФП-6300	6,3	18,5 +1,5	a=315; b=250; l=195	70	31...41	3	1,5	0

Таблиця 1.3

## Мінімальна питома масова вогнегасна витрата АУС

Пальне	C <sub>Т0</sub> АУС, г/м <sup>3</sup>					
	СТК – 5 – 1	СТК – 2 МД	СБК	Л	ТЧ	Хладон 114В2
1	2	3	4	5	6	7
Ацетон	48	28-32	28-30	34-38	28-30	238
Гептан	65	38-42	36-40	48-56	33-39	278
Толуол	44	28	26-27	32-34	26	162
Етанол	46	33-35	30-32	36-38	32-34	267
Бензин А-76	48	35-36	34-36	42-44	35-37	215
Гас	58	36	30-32	40-42	33-36	220
СН <sub>4</sub>	70	38-40	38	52	37	320
Н <sub>2</sub>	220	150-160	140-150	165-170	-	1600
ПММА	54-60	30-36	28-36	44-48	27-35	283
Гума	54	30-31	30	38-40	29	270

Продовження табл. 1.3

1	2	3	4	5	6	7
Деревина	63	42-45	36-39	48-49	36-41	340

Таблиця 1.4

## Характеристики АУС

№ з/п	Компоненти АУС	Хімічний склад АУС	Розмір частинок аерозолі	Вогнегасна концентрація г/м <sup>3</sup>
1	2	3	4	5
1	СТК-5-1 (Ідітол, KNO <sub>3</sub> , технічні добавки: $\varnothing$ 160 мкм)	- K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> ·2H <sub>2</sub> O, KOH, KNO <sub>2</sub> ; - CO <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> .	<2 (42) 2-5 (38) >5 (20)	65-68
2	СТК-2МД (МГИФ) (Ідітол, KNO <sub>3</sub> , технічні добавки: $\varnothing$ <160 мкм)	- K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> ·2H <sub>2</sub> O, C, KHCO <sub>3</sub> , K <sub>n</sub> O <sub>m</sub> , KOH, NH <sub>4</sub> HCO <sub>3</sub> ; - CO <sub>2</sub> , CO, N <sub>2</sub> .	<1 (52) 1-2 (24) 2-5 (16) >5 (8)	38-42
3	СТК-НТ (СТК-24МФ) (Ідітол, KNO <sub>3</sub> , технічні добавки: $\varnothing$ 200 мкм)	- K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> ·2H <sub>2</sub> O, KOH, KNO <sub>2</sub> ; - CO <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> .	<2 (32) 2-5 (42) >5 (26) >5 (8)	140-155
4	Л(ПАС -11-8, Е-1) (ЄД/пласт/ затв.) KNO <sub>3</sub> , KCLO <sub>4</sub> , ± Mg, технічні добавки: $\varnothing$ <160 мкм.	- K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> ·2H <sub>2</sub> O, KHCO <sub>3</sub> , C, KOH, KCL ± MgO; - CO <sub>2</sub> , N <sub>2</sub>	<1 (40) 1-2 (22) 2-5 (20) >5 (18)	45-52
5	ПАС47М (ПЄ /пласт/затв. KNO <sub>3</sub> , KCLO <sub>4</sub> , ± NaCL), технічні добавки: $\varnothing$ <160 мкм.	- K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> ·2H <sub>2</sub> O, C, KOH; - KCL, ± NaCL, CO <sub>2</sub> , N <sub>2</sub>	<1 (36) 1-2 (20) 2-5 (24) >5 (20)	54-56
6	ТЧ (ПТ-4, ПТ-50) (НЦ/пласт., KNO <sub>3</sub> , технічні добавки: $\varnothing$ <160 мкм)	- K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> ·2H <sub>2</sub> O, C, KHCO <sub>3</sub> , KNO <sub>2</sub> ; - KOH, CO <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> , CO, N <sub>x</sub> , O <sub>y</sub>	<1 (60) 1-2 (22) 2-5 (10) >5 (8)	33-39

Продовження табл. 1.4

1	2	3	4	5
7	Багр -1 (Сахароза, $KNO_3$ , $KClO_4$ , ДЦДА, технічні добавки: $\varnothing < 160$ мкм)			18-22

Таблиця 1.5

## Характеристики рецептур АУС на основі органічних палив

Співвідношення компонентів АУС [% мас]			Продукти горіння						
			тверда фаза гр/гр АУС		газова фаза Вл/гр АУС			V газів л/гр АУС	
Пальне	$KNO_3$	$KClO_4$	$K_2O$	KCl	$CO_2$	$H_2O$	$N_2$		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Ідітол	17	83	-	0,3832	-	0,2522	0,1164	0,0916	0,4604
Лактоза	32	68	-	0,3186	-	0,2354	0,2354	0,075	0,5468
Вуглець	16	84	-	0,3910	-	0,2982	-	0,0932	0,3913
Ідітол	15	69	16	0,3219	0,0875	0,2118	0,0977	0,0767	0,3862
Лактоза	27,6	60	12,4	0,2793	0,0250	0,2063	0,2063	0,0666	0,4792
Вуглець	13	70	17	0,3254	0,0904	0,2481	-	0,0775	0,3256

В таблицях 1.6-1.9 наведено результати випробувань автоматичних систем аерозольного пожежогасіння в умовах, максимально наближених до реальних, а також результати оцінки працездатності електротехнічної і радіоелектронної апаратури та виробів після впливу на них вогнегасних аерозолів [15, 25-28].

Таблиця 1.6

## Результати випробувань засобів аерозольного пожежогасіння в кабельних тунелях

Об'єкт	$V_3, m^3$ (a x b x h)	Горюче навантаження	$t_{CBT},$ с	$T_{AUC},$ $^{\circ}C$	$\sum t_{TBA},$ с	$\Delta T_V,$ $^{\circ}C$	$\sum C_T,$ кг/м <sup>3</sup>	n
1	2	3	4	5	6	7	8	9

Продовження табл. 1.6

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Об'єкт № 1 (стенд)								
Фрагмент кабельного тунелю	10,0 (1x10x1)	Кабелі з гумою, ПХВ ізоляцією і б/б опліткою; гас <sup>2)</sup>	60	1250	17	81	0,065	1
			120	950	21	60	0,070	1
			150		22	65	0,075	1
			150	1250	60	ПО	0,120	3
			180	950	85	94	0,120	3
			240		90	100	0,140	4
Фрагмент кабельної шахти	10,0 (1x1x10)	Кабелі з гумою, ПХВ ізоляцією; гас <sup>3)</sup>	60	1250	17	78	0,066	1
			120					
			120	950	18	82	0,070	2
			150		22	60	0,074	1
			180		50	65	0,080	2
					85	92	0,085	3
Кабельний напів поверх	260,0 (5x13x4)	Те ж саме <sup>2)</sup>	60	950	24	64	0,072	1
			120		22	65	0,075	1
			180		55	62	0,083	2
Об'єкт № 2 (стенд)								
Фрагменти кабельного тунелю	13,2 (2x3,3x2)	Кабелі з гумою, ПХВ ізоляцією; бензин <sup>4)</sup>	60	1250	21	78	0,065	1
			90	950	22	80	0,066	1
	22,5 (3x3x2,5)	Кабелі з гумою, ПХВ ізоляцією і б/б оплетенням; бензин <sup>4)</sup>	30	1250	23	76	0,062	1
			60		22	75	0,064	1
	44,0 (2,1x13,3x1,5)	Кабелі з гумою, ПХВ ізоляцією; бензин <sup>5)</sup>	60		24	74	0,065	1
			120		21	74	0,070	1
			180		22	76	0,069	1
Фрагмент кабельного тунелю	100 (4,3x11,1x2,1)	Кабелі з гумою, ПХВ ізоляцією і б/б оплетенням; бензин <sup>3)</sup>	40	1250	23	80	0,072	1
			60		22	82	0,076	1
			120		21	88	0,085	
			160		48	92	0,090	2
			180		75	94	0,112	3
			210		80	102	0,130	3

Продовження табл. 1.6

1	2	3	4	5	6	7	8	9
	400 (3x44,4x3)	Кабелі з гумовою ізоляцією; гас <sup>3)</sup>	120		22	108	0,085	1
			130		35	100	0,080	2
Об'єкт № 3								
Кабельна шахта	59,5 (3,7x2,7x6)	Кабелі АНРБГ; дизпаливо <sup>3)</sup>	360	1250	40	95	0,108	2
Об'єкт № 4								
Відсік кабельного тунелю	68 (2x17x2)	Кабелі з гумовою ізоляцією; бензин <sup>5)</sup>	60	950	30	78	0,140	1
Об'єкт № 5								
Кабельний напів підвал	420 (9x17,3x2,7)	Кабелі з гумовою ізоляцією; бензин <sup>5)</sup>	40	1250	38	76	0,110	2

Таблиця 1.7

Вплив початкової температури аерозолів на параметри гасіння в  
кабельних спорудах

Об'єм, м <sup>3</sup>	Горючі речовини	Початкові умови гасіння	T <sub>АУС</sub> , °C	t <sub>Г</sub> , с	ΔT <sub>v</sub> , °C	ΣC <sub>T</sub> , кг/м <sup>3</sup>
1	2	3	4	5	6	7
400	Бензин, ПММА, кабелі з гумовою ізоляцією	Кабелі в нормальному режимі роботи (T <sub>кабеля</sub> ≤ 80 °C)	950-1250	<35	70-100	0,07-0,08

Продовження табл. 1.7

1	2	3	4	5	6	7
			$\leq 200$	$< 20$	50	0,12-0,13
44		Кабелі при теплових перевантаженнях в жилах (Ткабелю $\geq 200$ °C)	950-1250	120-180	90-140	0,095-0,100
			$\leq 200$	$< 15$	60	0,150

Таблиця 1.8

Результати натурних випробувань засобів аерозольного пожежогасіння на об'єктах з шафовою електро- і радіотехнічною апаратурою  
(негерметичність об'ємів 0,3-1,5 %)

Об'єкт	$V_z$ , м <sup>3</sup>	$K_{об}$ , %	Горюча речовина	$T_{АУС}$ , °C	$\sum C_T$ , кг/м <sup>3</sup>	$\Delta T_v$ , °C	Примітки
1	2	3	4	5	6	7	8
Типова силова шафа управління	4,7	30	Гас, гума, ПММА	900-1250	0,07	60-100	Екрани, вентилявання, протирання
				$< 200$	0,12-0,14	40-60	Вентилювання, протирання
Шафа з електронною типовою апаратурою	1,9	45	Гас, поліетилен, ПВХ, ПММА	900-1250	0,08	50-100	Екрани, вентилявання, протирання
				$< 200$	0,12-0,14	30-50	Вентилювання, протирання
Приміщення із шафною електроапаратурою	64,0	30	Гас, поліетилен, ПВХ, ПММА	900-1250	0,10-0,12	90-160	Екрани, подавання черг, вентилявання, протирання

Примітка -  $K_{об}$  – частка об'єму, що зайнята обладнанням

Таблиця 1.9

Результати оцінки працездатності елементів електротехнічної і радіоелектронної апаратури і виробів після впливу аерозолів АУС (типу СТК, СБК, ПТ-4 і ін.)

Найменування виробів	Терміни працездатності
1	2
Електродвигуни нормального виконання різноманітної потужності (5 типів, в тому числі 3 малопотужних)	Понад три роки
Дизель-генератор ДЕС-500	Те ж саме
Радіоелектронні комірки (8 типів) і друковані плати обчислювальної машини (4 типи)	Те ж саме
Персональні комп'ютери Toshiba (модель NO.PA115U X) – ноутбук, процесор Pentium, клавіатура, монітор WIEVSONIC E 641, мишка Logitech і т.д.	Більше року
Магнітний диск електронно-обчислюваної машини ЕС - 5053	Протягом одного місяця
Мікрокалькулятор К-50-3	Понад три роки
Блоки живлення (5 типів)	Працездатні понад три роки
Реле (8 типів, в т.ч. низьковольтні – 4 типи)	Те ж саме
Резистори типу СП-4	Не менше п'яти років
Ріп-діод в арматурі	Те ж саме
Металокерамічні підсилювальні прилади	Те ж саме
Високовольтний ізолятор (катодна ніжка) підсилювального приладу	Те ж саме
Високочастотні (ВЧ) і надвисокочастотні (НВЧ) фазообертачі, фільтри (5 шт.), відгалужувачі	Те ж саме
СВЧ-дільник (міст)	Те ж саме
СВЧ-відгалужувач на ситалі (негерметизований)	Те ж саме



Продовження табл. 1.9

1	2
Апаратура діючої телефонної станції АТСК 5/200, вузлів телефонного стільникового зв'язку: релейні і електронні плати АТСК, РА-2 і ін., блоки 12ГИ2, ТЕЗ комутаційного поля САД і абонентських комплектів ЕАО і т.д.	Протягом одного року і більше
Блоки серверної апаратури типу ISTB 214 06354 ВВСА і АLCBВ 211 79582 FBBA (Німеччина) <sup>3)</sup>	Те ж саме
Друковані плати МС УВТ В7/В9 пристрою сполучення ЦВВ01 (5 типів) типових шаф АЕС	Півроку і більше

Представлені результати свідчать про ефективність застосування аерозольних засобів пожежогасіння для протипожежного захисту та відсутність шкідливого впливу вогнегасних аерозолів з вмістом неорганічних солей-інгібіторів горіння на працездатність електрообладнання.

На рисунку 1.1 наведено схему процесу утворення вогнегасних аерозолів, згенерованих з твердопаливних АУС та їх взаємодію з дифузійним полум'ям за об'ємного способу пожежогасіння, а на рис. 1.2-1.4 – області розповсюдження полум'я в газових горючих середовищах у разі введення газоповітряних вогнегасних аерозолів [15].

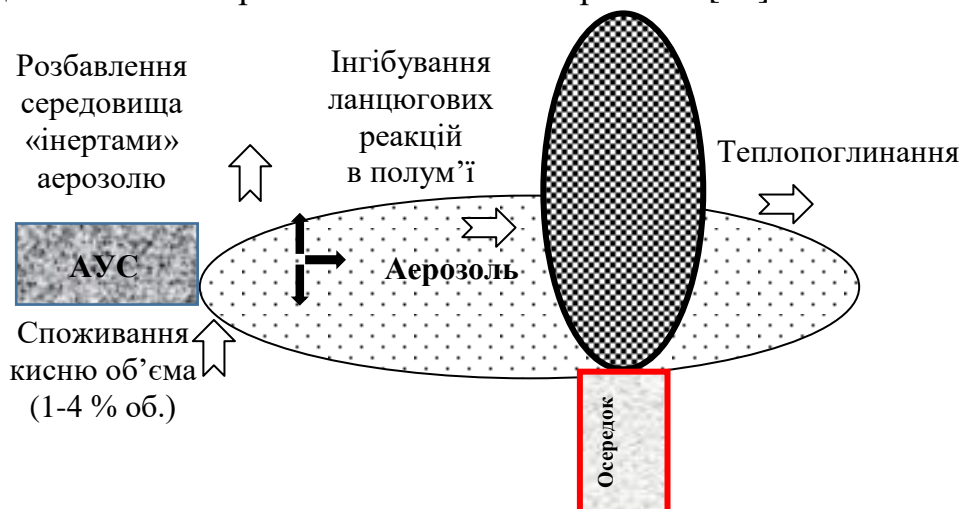


Рисунок 1.1 - Схемне зображення процесу утворення вогнегасного аерозолю твердопаливних АУС та його взаємодія з дифузійним полум'ям за об'ємного способу пожежогасіння

Флегматизувальна питома витрата (концентрація АУС  $C_{\text{фл}}$ , г/м<sup>3</sup>)

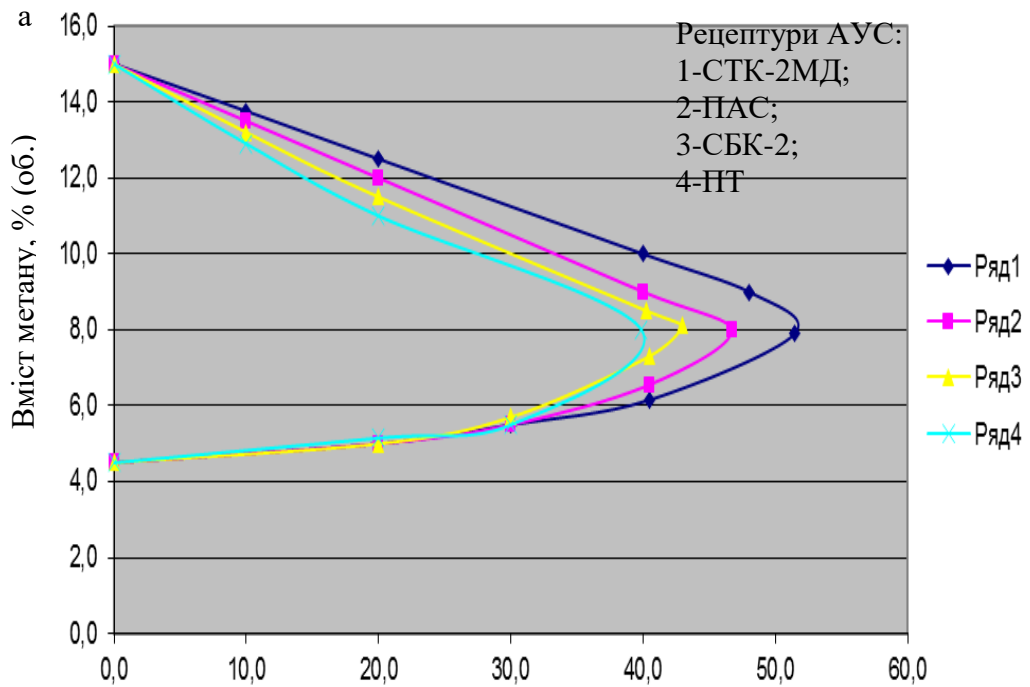


Рисунок 1.2 - Область розповсюдження полум'я у газових горючих середовищах у разі введення вогнегасних аерозолів АУС  $\text{CH}_4$ +повітря

Флегматизувальна питома витрата (концентрація АУС  $C_{\text{фл}}$ , г/м<sup>3</sup>)

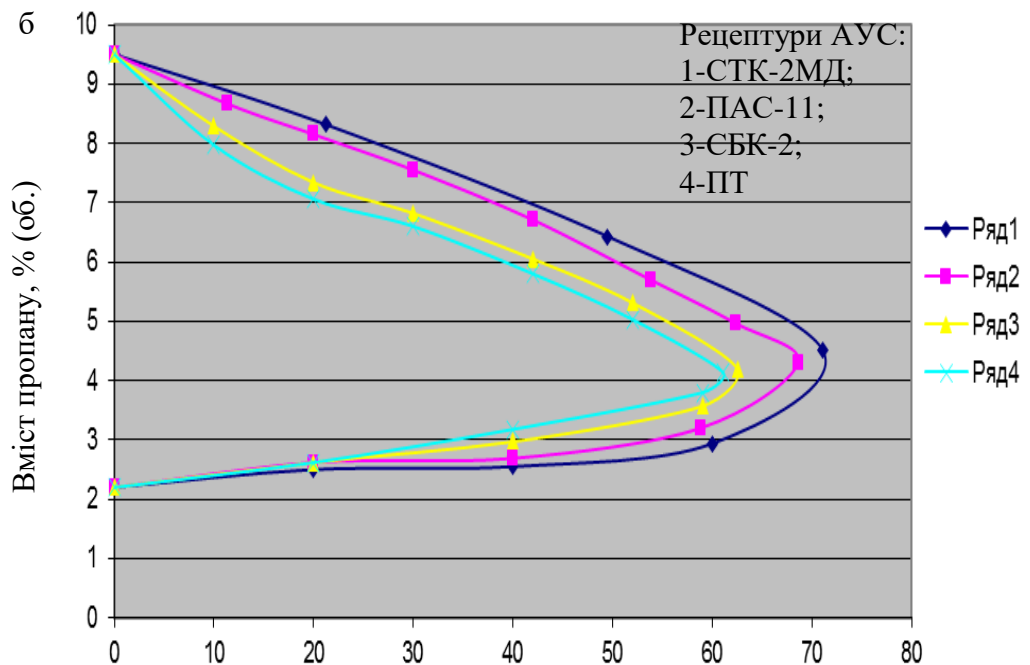


Рисунок 1.3 - Область розповсюдження полум'я у газових горючих середовищах у разі введення вогнегасних аерозолів АУС  $\text{C}_3\text{H}_8$ +повітря

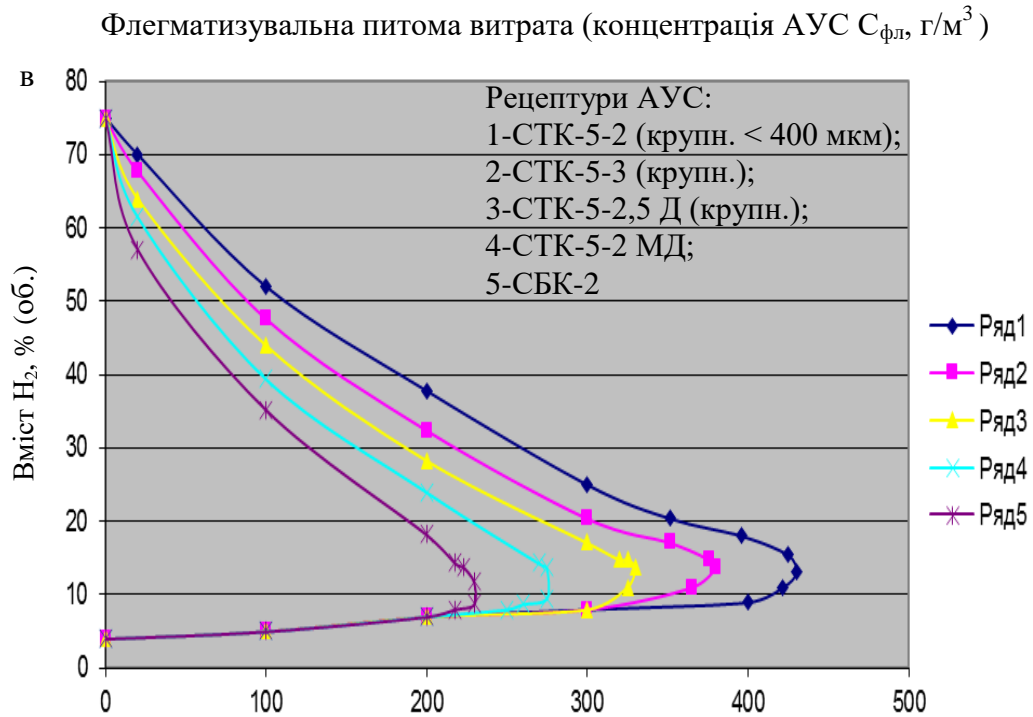


Рисунок 1.4 - Область розповсюдження полум'я у газових горючих середовищах у разі введення вогнегасних аерозолів АУС Н<sub>2</sub>+повітря

Аналіз наведених результатів дає підставу зробити висновок щодо ефективності застосування автоматичних систем та елементів аерозольного пожежогасіння для флегматизування газових горючих середовищ.

Ефективність застосування автоматичних систем газового пожежогасіння загальновідома [16, 29-31]. Сучасні газові вогнегасні речовини, які набули поширеного застосування саме в автоматичних системах газового пожежогасіння об'ємним способом, розподіляються за своїм агрегатним станом на зріджені, рідинні та стиснені [32-36]. До першої групи відносяться хладон 125 (C<sub>2</sub>F<sub>5</sub>H); хладон 227ea (C<sub>3</sub>F<sub>7</sub>H); хладон 23 (CF<sub>3</sub>H), хладон 218 (C<sub>3</sub>F<sub>8</sub>), хладон ТФМ-І (хладон 23, CF<sub>3</sub>H – 90 % (мас.) + йодистий метил, CH<sub>3</sub>I – 10 % (мас.)); хладон 1311 (CF<sub>3</sub>I); шестифториста сірка (SF<sub>6</sub>); діоксид карбону (CO<sub>2</sub>). До другої групи відносяться хладон 2402 (C<sub>2</sub>F<sub>4</sub>Br<sub>2</sub>); хладон 21711 (C<sub>3</sub>F<sub>7</sub>I); ФК-5-1-12

( $\text{CF}_3\text{CF}_2\text{C}(\text{O})\text{CF}(\text{CF}_3)_2$ ) (торгова назва Novac 1230). До групи стиснених газових вогнегасних речовин відносяться галон 1301 ( $\text{CF}_3\text{Br}$ ); азот ( $\text{N}_2$ ); аргон ( $\text{Ar}$ ); аргоніт (азот-50 % (об.)+аргон – 50 % (об.)); інерген (азот – 52 % (об.)+аргон – 40 % (об.)+8 % (об.)  $\text{CO}_2$ ).

Наприкінці 20 сторіччя було виявлено, що такі ефективні за вогнегасною та флегматизувальною здатністю хладони, як галон 1301 ( $\text{CF}_3\text{Br}$ ), хладон 2402 ( $\text{C}_2\text{F}_4\text{Br}_2$ ), мають високий озоноруйнівний потенціал, що призводить до руйнування озонового шару Землі у разі їх проникнення до верхніх шарів атмосфери [37-39]. У зв'язку з цим у всьому світі розширились дослідження стосовно пошуку альтернативних екологічно прийнятних вогнегасних речовин [40-49].

В Україні діяльність з питань створення та застосування систем аерозольного пожежогасіння здійснюють такі організації, як ЛДУБЖД, УкрНДІЦЗ, НУЦЗУ ДСНС України, СП «Паралакс», НВФ «Бранд-Майстер» (м. Київ), ТОВ «Крайз» (м. Полтава), ТОВ «Проектний інститут «Електропром», ПрАТ «Інститут «Спецавтоматика» (м. Луганськ), фірма «Алтосан» тощо [7, 14, 50-55].

До розробки засобів аерозольного гасіння виявляють інтерес і закордонні фірми. Фірмою Kidde Walter (США) проведено низку експериментальних досліджень з гасіння пожеж в двигунах та багажних відсіках літаків вогнегасними аерозолями. Фірма Dinamit Nobel (Німеччина) спільно з Люберецьким НВО «Союз» (Росія) налагодила випуск аерозольних генераторів для європейського споживача. Фірмою Kidde Deugra (Німеччина) спільно з фірмою «Інтертехнолог» (Росія) створено рецептури аерозольотворювальних сполук (АУС), які не утворюють токсичних продуктів та мають невелику температуру горіння. За останні 20 років в розробці і використанні засобів аерозольного пожежогасіння активну участь беруть також такі підприємства Російської

Федерації, як НВО ім. С.М. Кірова, НДПМ, НВФ «Норд», ІВЦ «Техномаш», ІЧП «Габар», фірма «Граніт-Саламандра», та ін [15].

На сьогодні накопичено як позитивний, так і негативний досвід застосування таких засобів пожежогасіння, практика висвітлила специфічні особливості аерозольного пожежогасіння, які слід враховувати, щоб не отримати протилежний до бажаного результат. З метою розширення сфери застосування таких засобів пожежогасіння та кваліфікованого їх застосування на ринку України актуальними залишаються дослідження з поглиблення знань щодо флегматизувальних та вогнегасних властивостей аерозольних вогнегасних речовин [ 23, 24, 53, 56-67].

Як відомо, однією з переваг такого виду вогнегасної речовини над іншими є досить тривалий проміжок часу, протягом якого в об'ємі, який є об'єктом протипожежного захисту, концентрація вогнегасного аерозолу суттєво не змінюється [19, 23, 43, 56, 57, 68, 69]. Ця особливість відкриває перспективу використання такої дисперсної системи типу газ-тверда фаза для перетворення горючих газових середовищ на негорючі, тобто їх флегматизування [15, 65, 70, 73]. Поряд із високою економічною ефективністю, яка полягає в значному зниженні матеріальних збитків від пожеж на захищених об'єктах, збільшуються витрати на технічне обслуговування систем протипожежного захисту.

В даний час важливе місце в дослідженнях і розробках у сфері протипожежного захисту займає напрямок, пов'язаний з вдосконаленням об'ємного способу пожежогасіння [15, 21, 74-99]. В індустріально розвинених країнах об'ємний спосіб гасіння з використанням газів, хладонів домінує при захисті обчислювальних центрів, машинних залів, транспортних засобів, багатьох промислових об'єктів. Об'ємний спосіб гасіння пожеж забезпечує не тільки швидке припинення процесу горіння в будь-якій точці захищуваного об'єму, але і флегматизування його

горючого газового середовища. В роботі [84] запропоновано підвищення рівня протипожежного захисту технологічних процесів шляхом флегматизування горючих середовищ азотом, отриманим з повітря методом його розділення мембранними установками, але такий спосіб отримання азоту є дорогим і має обмежене застосування. В роботі [85] запропоновано для флегматизування горючих середовищ, які можуть виникнути на компресорних станціях газотурбінними приводами, газові вогнегасні речовини-флегматизатори. Також автор вказує, що застосування газів флегматизаторів підвищує температуру самозаймання що робить процес безпечнішим. Автор [100] пропонує створювати інертне середовище в приміщеннях кораблів видаленням із приміщень частини газового середовища, що містить кисень працюючими енергетичними установками, включеними в режим забору повітря.

Іноді спосіб об'ємного гасіння застосовують для протипожежного захисту локальної ділянки у великих об'ємах, але при цьому передбачається підвищена витрата вогнегасних речовин.

Вищенаведені способи флегматизування є досить складними та вартісними і потребують встановлення на об'єктах установок із запасами газів-флегматизаторів.

Поряд з тим, що сьогодні досить широко впроваджені аерозольні системи пожежогасіння, застосування вогнегасного аерозолу в якості флегматизатора розглядається переважно на рівні експериментальних досліджень [6, 15, 68, 87, 88].

Як відомо, горіння більшості вуглеводневих речовин припиняється у разі зниження вмісту кисню у горючому середовищі до 12-15 %, а для речовин, які характеризуються широкою областю займання (водень, ацетилен), металів (калій, натрій і ін.), деяких гідридів металів і металоорганічних з'єднань, тліючих матеріалів – до 5 % і менше [89-92]. У табл. 1.10 наведено граничний вміст кисню, за якого ще підтримується

горіння горючих речовин при розведенні середовища інертними розріджувачами.

Таблиця 1.10

Граничний вміст  $O_2$  при розведенні газоповітряного середовища (%)

Горюча речовина	% вміст в атмосфері газового компонента	
	Вуглекислий газ	Азот
1	2	3
Метан	16,0	13,0
Бутан	16,0	13,0
Пропілен	14,0	12,0
Ацетилен	9,0	6,5
Бавовна	6,0	4,0
Водень	7,0	5,0
Калій	-	5,0
Натрій	-	5,0

У хімічних перетвореннях, що супроводжують горіння органічних речовин, інертні розріджувачі участі не беруть. Вогнегасна ефективність їх тому невисока. Для більшості горючих речовин і матеріалів вогнегасна концентрація газових вогнегасних речовин-розріджувачів за об'ємного способу гасіння становить 0,6-0,8 кг/м<sup>3</sup> [91]. У разі застосування діоксиду карбону летальна концентрація його становить близько 10 %. Разом з тим, вогнегасні концентрації азоту і діоксиду карбону становлять відповідно 40 % (від.) і 30 % (від.), тобто виявляються вищими за припустимі для людей концентрації [40].

Усім вогнегасним речовинам, у тому числі газовим вогнегасним речовинам-розріджувачам, притаманні як переваги, так і недоліки [15, 16, 18, 30, 55, 95-99, 101].

До недоліків газових вогнегасних речовин-розріджувачів, насамперед, слід віднести такі:

- для забезпечення протипожежного захисту об'єкту потрібна значна кількість балонів, отже, значні витрати на їх обслуговування;
- вогнегасна концентрація зазначених вогнегасних речовин у 3-5 разів вища, ніж припустима для людей, тому потрібна наявність витяжної вентиляції.

Не рекомендується застосовувати установки газового пожежогасіння при гасінні волокнистих, сипучих і пористих матеріалів, у яких можливе горіння всередині шару у вигляді тління; хімічних речовин, здатних окислюватися без доступу повітря; хімічно активних металів; пірофорних матеріалів.

У даний час установки газового пожежогасіння за поширеністю стоять на третьому місці після водяних і пінних систем і становлять близько п'ятої частини від загального числа автоматичних установок пожежогасіння. За кордоном газові установки поступають тільки водяним установкам, випереджаючи за загальним числом і темпами розвитку застосування систем порошкового і пінного пожежогасіння.

Для більшості горючих речовин вогнегасна концентрація двоокису вуглецю становить 20-30 % (об.), при безпосередньому гасінні пожежі вона приймається не менше 30% по об'єму або  $0,637 \text{ кг/м}^3$  для приміщень категорії В та  $0,768 \text{ кг/м}^3$  для категорій А і Б [81]. Випадки застосування твердого  $\text{CO}_2$  для охолодження горючої речовини до температури нижчої за температуру запалювання настільки рідкісні, що при дослідженні ефекту гасіння ними можна знехтувати [69, 83].

Одним із флегматизаторів-розріджувачів є азот, із застосуванням якого створено сучасні системи пожежогасіння. Це обладнання ефективно для запобігання і ліквідації вибухів, пожеж на об'єктах нафтогазового комплексу, на хімічних, нафтохімічних і інших підприємствах. У багатьох



випадках вони являють собою єдиний тип обладнання, що застосовується для гасіння важкодоступних вогнищ пожежі, як, наприклад, в шахтах [69, 83].

Азот використовується для флегматизування горючих парів та газів, для продувки і осушення ємностей і апаратів від залишків газоподібних або рідких горючих речовин. Балони зі стисненим азотом в умовах розвиненої пожежі становлять небезпеку, оскільки можливий їх вибух внаслідок зниження міцності стінок за високої температури і підвищення тиску газу в балоні при нагріванні. Азот не можна застосовувати для гасіння магнію, алюмінію, літію, цирконію та інших матеріалів, які утворюють нітриди, що володіють вибуховими властивостями. У цих випадках в якості інертного розріджувача застосовують аргон, значно рідше - гелій [11].

Застосування в пожежогасінні інертного газу аргону вважається одним з найбільш екологічно чистих способів захисту. Аргон особливо добре підходить для гасіння пожеж, пов'язаних з електрикою. Його характеристики особливо підходять для використання його в серверних залах та інших подібних приміщеннях.

Аргон не руйнує озоновий шар і не сприяє процесу глобального потепління. Аргон застосовується для гасіння пожеж класу А, В, С і вважається одним з найбільш екологічно прийнятних газів для гасіння. Цей газ відносять до чистих речовин, які не залишають слідів і не призводять до утворення шкідливих продуктів розкладання при контакті з полум'ям [29].

Аргон усуває горіння шляхом зниження концентрації кисню в повітрі. Інертні газові системи працюють завдяки зниженню концентрації кисню в атмосфері до рівня, який не підтримує горіння (нижче 14%). Кількість цієї речовини завжди точно розраховується, щоб не перевищити допустимі норми при зниженні кисню, оскільки це може призвести до

загибелі персоналу. Використовують газ в закритих приміщеннях. Аргон звільняється і рівномірно розподіляється по всьому простору. Для того, щоб аргон подіяв ефективно, необхідний тонкий розрахунок необхідних кількостей, які розраховуються виходячи з площі приміщення та інших чинників для рівномірного розподілу газу використовують систему труб. Розподіляє газ спеціальне обладнання, яке виступає в ролі не тільки регулювальника пожежогасіння, але і системи виявлення вогню [29].

На основі позитивних результатів досліджень в Україні, для застосування в шахтах був виготовлений експериментальний зразок генератора інертних газів ГГ-1, згодом було розроблено генератори інертних газів з продуктивністю від 340 м<sup>3</sup>/хв інертного газу до 1500 м<sup>3</sup>/хв [102].

Такі генератори призначені для продукування газової вогнегасної суміші у будь-які замкнені приміщення (шахти, склади, тунелі, житлові приміщення, телевежі і т.ін.).

Існує ряд проблемних моментів, які не дозволяють повною мірою використовувати вогнегасну та флегматизувальну ефективність вогнегасного аерозолю, як засобу пожежогасіння об'ємним способом. До них належать: недостатня концентрація аерозолю в так званих «мертвих зонах»; гасіння у важкодоступних, для проникнення вогнегасного аерозолю зонах; нерівномірний його розподіл [55]. Одним із шляхів підвищення ефективності автоматичних систем аерозольного пожежогасіння є послідовне застосування вогнегасного аерозолю та ударних хвиль, запропоноване у роботах [60-62, 64]. Предметом дослідження у зазначених роботах було виявлення впливу чинників на ефективність процесів припинення горіння у замкнених приміщеннях з можливістю виникнення пожеж класів А, В та С у разі застосування систем аерозольного пожежогасіння з послідовною дією ударних хвиль. При цьому було виявлено ефект синергізму у разі послідовного застосування

вогнегасного аерозолі та імпульсу ударної хвилі, сутність якого полягає у зниженні у 1,2 – 1,6 рази вогнегасної концентрації аерозолі, порівняно із значеннями, визначеними за її відсутності. Виявлено залежність зменшення вогнегасної концентрації вогнегасного аерозолі від відстані джерела одиночного імпульсу ударної хвилі потужністю 160 дБ до поверхні горіння у діапазоні від 2,2 до 0,4 м, яка описується формулою:  $y = 17,036 x^{0,1225}$ , де  $y$  – вогнегасна концентрація аерозолі,  $\text{кг/м}^3$ ;  $x$  – відстань від джерела імпульсу ударної хвилі до поверхні горіння.

Встановлено, що зменшення відстані у діапазоні від 2,8 до 0,4 м джерела ударних хвиль з потужністю 160 дБ та частотою до 10 Гц від поверхні горіння, призводить до зменшення вогнегасної концентрації аерозолі, згенерованого із аерозольотворювальної сполуки на основі неорганічних солей калію. Залежність зменшення вогнегасної концентрації вогнегасного аерозолі від відстані джерела генерування ударних хвиль до поверхні горіння описується співвідношенням:  $y = 14,345 x^{0,2462}$ ; де  $y$  – вогнегасна концентрація аерозолі,  $\text{кг/м}^3$ ;  $x$  – відстань від генератора ударних хвиль до поверхні горіння.

Аналіз вищевикладеного дає підставу зробити висновок, що, не зважаючи на безсумнівні наукові та практичні досягнення у сфері розроблення і застосування в системах протипожежного захисту об'єктів з наявністю газових горючих середовищ і можливістю виникнення пожеж класів А,В,С та електрообладнання як систем аерозольного, так і газового пожежогасіння, дослідниками недостатню увагу було приділено питанню комбінованого застосування вогнегасних аерозолів та газових вогнегасних речовин-розріджувачів.

### **1.3 Аналіз наукової літератури і нормативних документів щодо визначення вогнегасних та флегматизувальних властивостей газових та аерозольних вогнегасних речовин**

Системи пожежогасіння об'ємним способом, у яких використовують газові вогнегасні речовини можна застосовувати для гасіння пожеж певних класів з урахуванням обмежень описаних у нормативних документах [32-36]. Цими ж стандартами передбачені необхідні концентрації вогнегасних речовин, виходячи з розрахунку на одиницю об'єму захищуваних приміщень. Такі концентрації визначаються за методами, описаними у 7.6 ISO 14520-1. В Україні чинний ДСТУ 4466-1:2008 Системи газового пожежогасіння. Проектування, монтування, випробування, технічне обслуговування та безпека. Частина 1. Загальні вимоги (ISO 14520-1:2006 MOD), який встановлює альтернативний метод визначення мінімальної вогнегасної концентрації.

Зазначеним стандартом встановлено мінімум вимог до визначення мінімальної вогнегасної концентрації газових вогнегасних речовин з використанням установки, оснащеної «чашковим пальником». Дифузійне полум'я горючих речовин, які горять у круглому пальнику «чаші», який поміщено у центрі коаксіального повітряного потоку, гасять додаванням газової вогнегасної речовини до повітря. Концентрацію вогнегасної речовини, виражену у відсотках як об'ємну частку, розраховують за формулою:

$$C_{BA} = \frac{q_{BP}}{q_{П} + q_{BP}} \quad (1.1)$$

де  $C_{BA}$  – концентрація вогнегасної речовини, виражена у відсотках, як об'ємна частка;

$q_{П}$  – об'ємна витрата повітря, л/хв;

$q_{BA}$  – об'ємна витрата вогнегасної речовини, л/хв.

Визначення нормативної концентрації газової вогнегасної речовини для пожежогасіння об'ємним способом проводять за результатами лабораторних випробувань, при цьому беруть таку концентрацію, за якою у 3-х дослідах досягають успішного гасіння полум'я і відсутні повторні займання або тліючі вуглини. Нормативну концентрацію для

пожежогасіння об'ємним способом визначають як мінімальну вогнегасну концентрацію, визначену у лабораторних умовах, помножену на певний коефіцієнт безпеки. У якості палива застосовують гептан. У додатку Д ДСТУ 4466-1:2008 [34] регламентовано метод визначення мінімальної флегматизувальної концентрації. Метод визначення мінімальної флегматизувальної концентрації газової вогнегасної речовини базується на аналізуванні діаграм займистості потрійних систем (горюча речовина, газова вогнегасна речовина, повітря). Принцип проведення випробувань полягає у фіксуванні величини зростання тиску внаслідок підпалювання за допомогою електричного розряду суміші горючої речовини, газової вогнегасної речовини та повітря за атмосферного тиску у сферичній випробувальній камері місткістю  $(7,90 \pm 0,25)$  л із отворами для подавання та випускання газів, термопарою і перетворювачем тиску. Випробування проводять, змінюючи співвідношення горюча речовина/повітря і концентрацію вогнегасної речовини, щоб визначити концентрацію вогнегасної речовини, необхідну для флегматизування суміші (газового горючого середовища) у випробувальній камері, тобто за відсутності зростання тиску у випробувальній камері у разі підпалення газової горючої суміші електричним розрядом.

Сутність методу з визначення вогнегасної здатності ГВА, вогнегасної концентрації вогнегасного аерозолі (ВА), згідно з вимогами п. 6.4 ДСТУ 4442:2005 Пожежна техніка. Установки аерозольного пожежогасіння. Генератори вогнегасного аерозолі. Загальні технічні вимоги та методи випробування [103], полягає у визначенні вогнегасної концентрації ВА, за якої в серії з 4-х однакових випробувань не менше ніж як у 3-х з них погашено всі модельні вогнища класу  $A_1$ ,  $A_2$  та В. Модельне вогнище пожежі підкласу  $A_1$  являє собою зруб із 72 дерев'яних брусків розмірами  $(500 \pm 5)$  мм  $\times$   $(40 \pm 2)$  мм  $\times$   $(40 \pm 2)$  мм. Кількість брусків у ряду – 6, кількість рядів – 12. Модельне вогнище пожежі підкласу  $A_2$  являє собою

зразок із поліметилметакрілату (оргскла) або іншого матеріалу цього класу пожежі розмірами  $(200\pm 5)$  мм  $\times$   $(200\pm 5)$  мм  $\times$   $(10\pm 1)$  мм. Кількість модельних вогнищ – 3.

Модельне вогнище пожежі класу В являє собою металеве деко діаметром  $(180\pm 20)$  мм із висоток борта  $(70\pm 10)$  мм, у яке заливається пальне - бензин А – 76 об'ємом  $(630\pm 15)$  мл по водяній подушці у співвідношенні 1:1. Кількість модельних вогнищ – 3.

Згідно з вимогами цього стандарту, вогнегасна концентрація вогнегасного аерозолю, що утворюється під час роботи генератора вогнегасного аерозолю, згідно з вимогами на ГВА, повинна бути не більше  $0,2$  кг/м<sup>3</sup> для ГВА типу 1 та  $0,7$  кг/м<sup>3</sup> для ГВА типу 2 та 3. Генератори поділяють за температурою вогнегасного аерозолю на зрізі випускного отвору на типи:

- I - температура вогнегасного аерозолю яких перевищує  $500$  °С;
- II - температура яких знаходиться в межах від  $130$  до  $500$  °С;
- III - температура яких менша ніж  $130$  °С.

В науковій літературі крім зазначених вище застосовуються дослідницькі методики, які можна умовно поділити на методи «камери» та «циліндра» [83, 104-111], які будуть описані у наступному розділі.

Результати досліджень опубліковано у роботах [14, 65, 71, 72].

#### **1.4. Ідея роботи**

З урахуванням вище викладеного сформульовано ідею щодо підвищення ефективності застосування систем аерозольного пожежогасіння шляхом одночасного комбінованого застосування сумішей вогнегасних аерозолів та газових вогнегасних речовин-розріджувачів в автоматичних системах пожежогасіння, призначених для протипожежного захисту об'єктів з наявністю замкнених і напівзамкнених приміщень або

технологічних об'ємів і можливістю виникнення на них вибухів та пожеж класів А, В, С, а також електрообладнання.

### **1.5. Мета і задачі дослідження**

На підставі проведеного аналізу сучасного стану розроблення і застосування вогнегасних аерозолів та газових вогнегасних речовин для протипожежного захисту об'єктів і технологічних процесів сформульовано мету роботи, яка полягає у розкритті особливостей процесу флегматизування газових горючих середовищ у замкнених і напівзамкнених об'ємах за комбінованого застосування бінарних сумішей вогнегасних аерозолів та газових вогнегасних речовин-розріджувачів.

Для досягнення поставленої мети було визначено і поставлено до розв'язання такі задачі:

- провести аналіз сучасного стану розроблення і застосування газоаерозольних та газових вогнегасних речовин для протипожежного захисту об'єктів і технологічних процесів і виявити шляхи підвищення ефективності флегматизування газових горючих середовищ у замкнених і напівзамкнених об'ємах;
- розробити методика проведення теоретичних та експериментальних досліджень з виявлення впливу співвідношень концентрацій вогнегасних аерозолів та газових вогнегасних речовин на ефективність процесів флегматизування газових горючих середовищ;
- провести експериментальні дослідження з виявлення залежності флегматизувальної здатності від співвідношення концентрацій вогнегасних аерозолів та газових вогнегасних речовин-розріджувачів у їхніх бінарних сумішах;
- обґрунтувати схемне рішення і параметри технічного пристрою комбінованого подавання вогнегасного аерозолу та газової вогнегасної речовини-розріджувача, а також виготовити їх дослідну партію;

- провести експериментальні дослідження з виявлення ефективності флегматизування газових горючих середовищ у разі застосування розроблених технічних пристроїв комбінованого подавання вогнегасного аерозолю і газової вогнегасної речовини-розріджувача та провести їх апробацію в умовах можливого застосування;
- розробити проект рекомендацій щодо застосування технічних пристроїв комбінованого подавання вогнегасного аерозолю та газової вогнегасної речовини-розріджувача для флегматизування газових горючих середовищ в системах протипожежного захисту об'єктів з можливістю виникнення вибухів та пожеж класів А, В, С, а також електрообладнання.



**РОЗДІЛ 2**  
**МЕТОДИКИ ПРОВЕДЕННЯ ТЕОРЕТИЧНИХ ТА**  
**ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ З ВИЯВЛЕННЯ ВПЛИВУ**  
**СПІВВІДНОШЕНЬ КОНЦЕНТРАЦІЙ ВОГНЕГАСНИХ АЕРОЗОЛІВ**  
**ТА ГАЗОВИХ ВОГНЕГАСНИХ РЕЧОВИН НА ЕФЕКТИВНІСТЬ**  
**ПРОЦЕСІВ ФЛЕГМАТИЗУВАННЯ ГАЗОВИХ ГОРЮЧИХ**  
**СЕРЕДОВИЩ**

**2.1. Методики визначення флегматизувальної ефективності газových горючих середовищ газowymi вогнегасними речовинами, вогнегасними аерозолями та їх сумішами**

**2.1.1. Визначення флегматизувальної ефективності газových горючих середовищ методом «камери» у лабораторних умовах**

З урахуванням проаналізованого досвіду, висвітленого у наукових публікаціях та нормативній літературі [83, 104-111], проведення експериментальних досліджень з виявлення впливу співвідношень концентрацій вогнегасних аерозолів та газových вогнегасних речовин на ефективність процесів флегматизування газových горючих середовищ проводили за розробленими лабораторними методиками із застосуванням як методу «камери», так і «циліндра». Суть розробленої методики оцінювання флегматизувальної здатності газových горючих середовищ газowymi вогнегасними речовинами, вогнегасними аерозолями та їх сумішами у лабораторних умовах методом «камери» полягала у виявленні концентрації окремих досліджуваних вогнегасних речовин та їх сумішей, за якої не відбувається вибуху або займання повітряно-гексанового газového горючого середовища у випробувальній камері розміром (2,05 × 2,05 × 2,80) дм, об'ємом 11,7 дм<sup>3</sup> гексану у разі іскрового розряду, як джерела запалювання. Схемне зображення розробленої експериментальної установки з визначення ефективності флегматизування газových горючих

середовищ вогнегасними аерозолями, газовими вогнегасними речовинами та їх сумішами наведено на рис. 2.1.

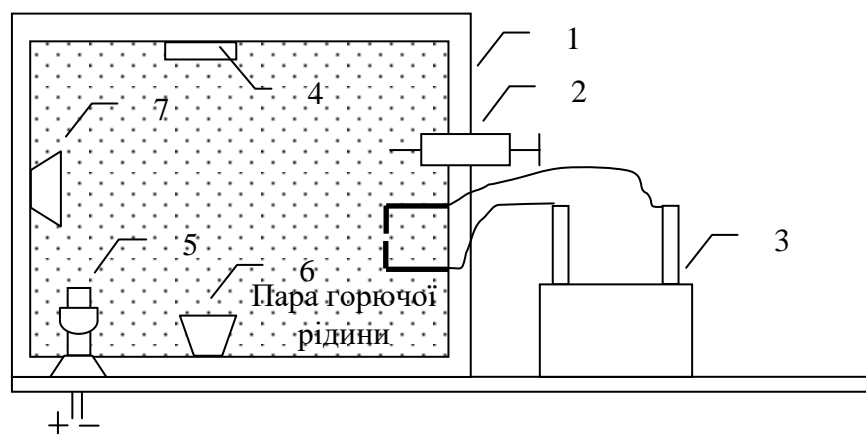


Рисунок 2.1 - Схемне зображення експериментальної установки з визначення ефективності флегматизування газових горючих середовищ вогнегасними аерозолями, газовими вогнегасними речовинами та їх сумішами (метод «камери»): 1. Випробувальна камера об'ємом 11,7 дм<sup>3</sup>; 2. Пристрій дозованого введення в камеру газової вогнегасної речовини; 3. Іскровий запалювач горючої суміші; 4. Вибухова мембрана; 5. Пристрій генерування вогнегасного аерозолю з АУС; 6. Випарник 1,9 мл гексану з поверхньою випаровування 7,06 см<sup>2</sup>; 7. Вентилятор-перемішувач газового середовища в камері

У разі визначення флегматизувальної здатності вогнегасного аерозолю із вмістом неорганічних солей калію-інгібіторів горіння, згенерованого з АУС «Багр», процедура проведення експериментальних досліджень із застосуванням описаної вище експериментальної установки включала в себе такі дії:

1. Поміщаємо початкову наважку АУС у пристрій генерування вогнегасного аерозолю випробувальної камери та генеруємо вогнегасний аерозоль в об'єм камери.

2. У випарник з поверхнею випаровування 7,06 см<sup>2</sup> наливаємо 1,9 мл гексану, герметизуємо об'єм.

3. Вмикаємо вентилятор та секундомір і фіксуємо відлік часу, протягом якого випаровується гексан та гомогенізується гексаноповітряне газове горюче середовище у випробувальній камері.

4. На 60 с вмикаємо іскровий запальник та візуально визначаємо наявність або відсутність займання гексаноповітряного газового горючого середовища у випробувальній камері.

5. У разі наявності загоряння гексаноповітряного газового горючого середовища збільшують наважку АУС на 0,1 г порівняно з початковою.

6. У разі відсутності загоряння гексаноповітряного газового горючого середовища внаслідок спалювання наважки АУС проводять ще 4 паралельні дослідження з такою ж наважкою.

7. У разі відсутності загоряння гексаноповітряного газового горючого середовища внаслідок спалювання початкової наважки АУС під час експерименту за пунктом 1 послідовно зменшують наважку на 0,1 г порівняно з початковою до настання займання.

8. У разі наявності загоряння внаслідок застосування початкової наважки АУС під час експерименту за пунктом 1 послідовно збільшують наважку на 0,1 г порівняно з початковою до настання умов відсутності займання гексаноповітряного горючого середовища у випробувальній камері.

9. Флегматизувальна концентрація обчислюється як відношення мінімальної наважки АУС у разі генерування вогнегасного аерозолу з якої відсутнє займання гексаноповітряного газового горючого середовища в об'ємі випробувальної камери експериментальної установки.

У разі визначення флегматизувальної концентрації гексаноповітряного газового горючого середовища газовими вогнегасними речовинами-розріджувачами (діоксид карбону) процедура проведення експериментальних досліджень із застосуванням описаної вище експериментальної установки включала в себе такі дії:

1. У випарник з поверхнею випаровування  $7,06 \text{ см}^2$  наливаємо 1,9 мл гексану, герметизуємо об'єм.

2. Пристроєм дозованого введення вводимо в об'єм випробувальної камери досліджувану газову вогнегасну речовину (за концентрацій  $\text{CO}_2$  35,0; 9,0; 3,0, та 2,0 % об. послідовно).

3. Вмикаємо вентилятор та гомогенізуємо гексаноповітряну суміш з досліджуваною газовою вогнегасною речовиною або їх сумішшю.

4. Після включення вентилятора за секундоміром фіксуємо відлік часу, протягом якого випаровується гексан та гомогенізується гексаноповітряне газове горюче середовище у випробувальній камері.

5. На 60 с вмикаємо іскровий запалювач та візуально визначаємо наявність або відсутність займання гексаноповітряного газового горючого середовища у випробувальній камері.

6. У разі наявності загоряння гексаноповітряного газового горючого середовища послідовно збільшують концентрацію газової вогнегасної речовини або їх суміші до досягнення відсутності загоряння.

7. У разі відсутності загоряння гексаноповітряного газового горючого середовища у випробувальній камері внаслідок введення газової вогнегасної речовини або їх суміші проводять ще 4 паралельні досліди з такою ж концентрацією.

8. За позитивного результату у разі проведення експерименту за пунктами 1-7 послідовно зменшують концентрацію газової вогнегасної речовини або їх суміші до досягнення займання гексаноповітряного газового горючого середовища у випробувальній камері.

9. Флегматизувальна концентрація обчислюється як відношення об'ємної концентрації газової вогнегасної речовини та вогнегасного аерозолу або їх суміші, введених у випробувальну камеру з гексаноповітряною сумішшю до об'єму цієї камери.

Схематичне зображення процедури визначення мінімальної флегматизувальної концентрації газових вогнегасних речовин-розріджувачів наведено на рисунку 2.2.

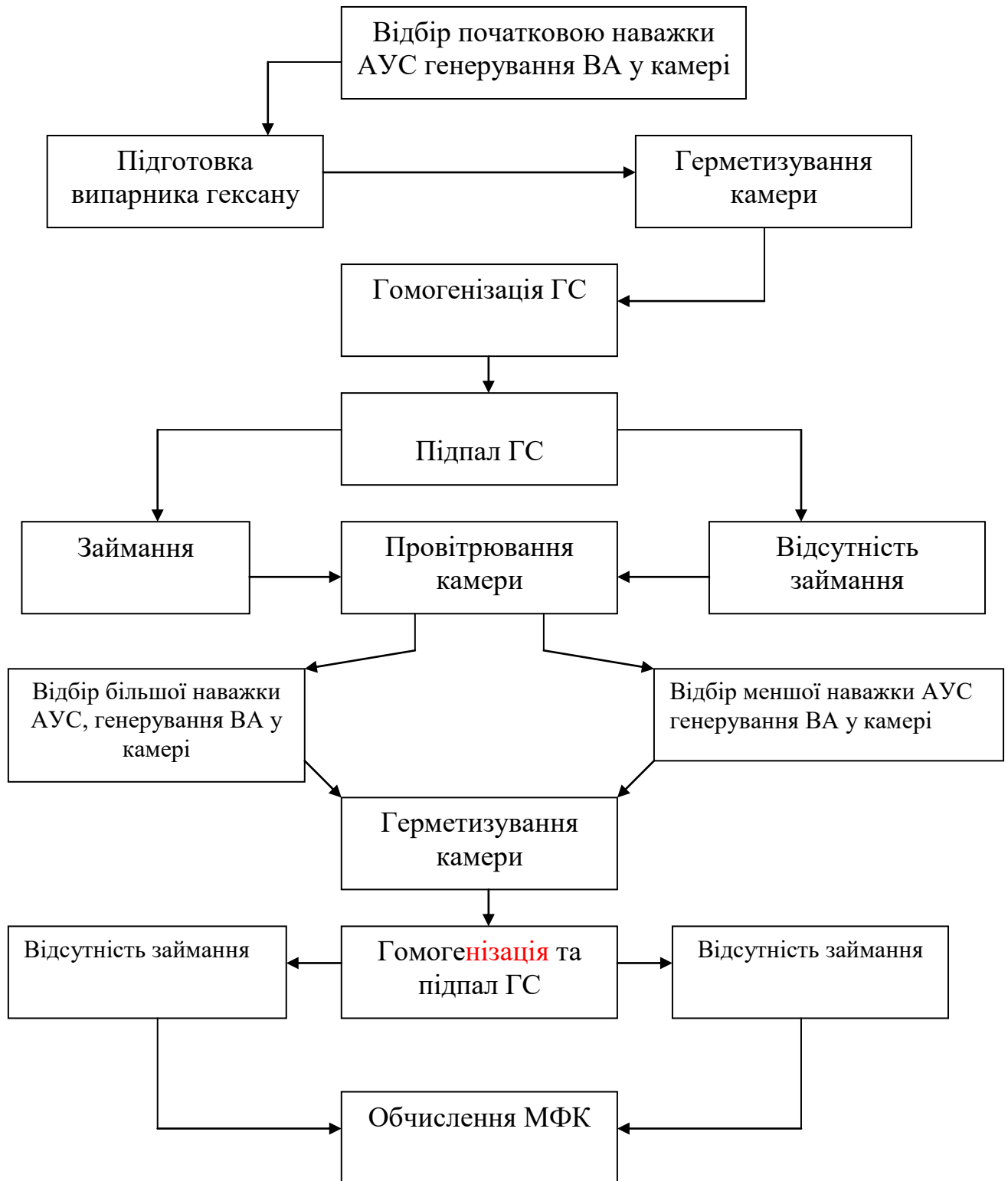


Рисунок 2.2 - Схематичне зображення процедури визначення мінімальної флегматизувальної концентрації газових вогнегасних речовин-розріджувачів

У разі визначення флегматизувальної здатності вогнегасного аерозолу із вмістом неорганічних солей калію – інгібіторів горіння, згенерованого з АУС «Багр» та діоксиду карбону, процедура проведення

експериментальних досліджень із застосуванням описаної вище експериментальної установки включатиме в себе такі дії:

1. Поміщаємо початкову наважку АУС у пристрій генерування вогнегасного аерозолі випробувальної камери та генеруємо вогнегасний аерозоль в об'єм камери.

2. У випарник з поверхнею випаровування  $7,06 \text{ см}^2$  наливаємо 1,9 мл гексану, герметизуємо об'єм.

3. Пристроєм дозованого введення вводимо в об'єм випробувальної камери досліджувану газову вогнегасну речовину (за концентрацій  $\text{CO}_2$  35,0; 9,0; 3,0, та 2,0 % об. послідовно).

4. Вмикаємо вентилятор та секундомір і фіксуємо відлік часу, протягом якого випаровується гексан та гомогенізується гексаноповітряне газове горюче середовище у випробувальній камері.

5. На 60 с вмикаємо іскровий запальник та візуально визначаємо наявність або відсутність займання гексаноповітряного газового горючого середовища у випробувальній камері.

6. У разі наявності загоряння гексаноповітряного газового горючого середовища збільшуємо наважку АУС на 0,1 г порівняно з початковою.

7. У разі відсутності загоряння гексаноповітряного газового горючого середовища внаслідок спалювання наважки АУС проводимо ще 4 паралельні досліди з такою ж наважкою.

8. У разі відсутності загоряння гексаноповітряного газового горючого середовища внаслідок спалювання початкової наважки АУС під час експерименту за пунктом 1 послідовно зменшуємо наважку на 0,1 г порівняно з початковою до настання займання.

9. У разі наявності загоряння внаслідок застосування початкової наважки АУС під час експерименту за пунктом 1 послідовно збільшуємо наважку на 0,1 г порівняно з початковою до настання умов відсутності

займання гексаноповітряного горючого середовища у випробувальній камері.

10. Флегматизувальна концентрація обчислюється як відношення мінімальної наважки АУС у разі генерування вогнегасного аерозолу з якої відсутнє займання гексаноповітряного газового горючого середовища із вмістом введеного за певної концентрації діоксиду карбону в об'ємі випробувальної камери експериментальної установки.

Схематичне зображення процедури визначення мінімальної вогнегасної концентрації суміші вогнегасного аерозолу, згенерованого з АУС Багр та діоксиду карбону наведено на рисунку 2.3.

У разі одночасного комбінованого застосування вогнегасного аерозолу, згенерованого з АУС «Багр», та суміші діоксиду карбону і азоту у співвідношенні 50×50 %, об. процедура проведення експериментальних досліджень із застосуванням описаної вище експериментальної установки включатиме такі дії:

1. Поміщаємо початкову наважку АУС у пристрій генерування вогнегасного аерозолу випробувальної камери та генеруємо вогнегасний аерозоль в об'єм камери.

2. У випарник з поверхнею випаровування 7,06 см<sup>2</sup> наливаємо 1,9 мл гексану, герметизуємо об'єм.

3. Пристроєм дозованого введення вводимо в об'єм випробувальної камери суміш за співвідношення 50×50 %, об. діоксиду карбону і азоту (за концентрацій суміші CO<sub>2</sub> 3,0; 5,0 та 15,0 % об. послідовно).

4. Вмикаємо вентилятор та секундомір і фіксуємо відлік часу, протягом якого випаровується гексан та гомогенізується гексаноповітряне газове горюче середовище у випробувальній камері.

5. На 60 с вмикаємо іскровий запальник та візуально визначаємо наявність або відсутність займання гексаноповітряного газового горючого середовища у випробувальній камері.

6. У разі наявності загоряння гексаноповітряного газового горючого середовища збільшують наважку АУС на 0,1 г, порівняно з початковою.

7. У разі відсутності загоряння гексаноповітряного газового горючого середовища внаслідок спалювання наважки АУС проводять ще 4 паралельні дослід з такою ж наважкою.

8. У разі відсутності загоряння гексаноповітряного газового горючого середовища внаслідок спалювання початкової наважки АУС під час експерименту за пунктом 1 послідовно зменшують наважку на 0,1 г, порівняно з початковою, до настання займання.

9. У разі наявності загоряння внаслідок застосування початкової наважки АУС під час експерименту за пунктом 1 послідовно збільшують наважку на 0,1 г, порівняно з початковою, до настання умов відсутності займання гексаноповітряного горючого середовища у випробувальній камері.

10. Флегматизувальна концентрація обчислюється як відношення мінімальної наважки АУС у разі генерування вогнегасного аерозолу з якої відсутнє займання гексаноповітряного газового горючого середовища із вмістом введеної за певної концентрації суміші за співвідношення 50×50 %, об. діоксиду карбону та азоту в об'ємі випробувальної камери експериментальної установки.



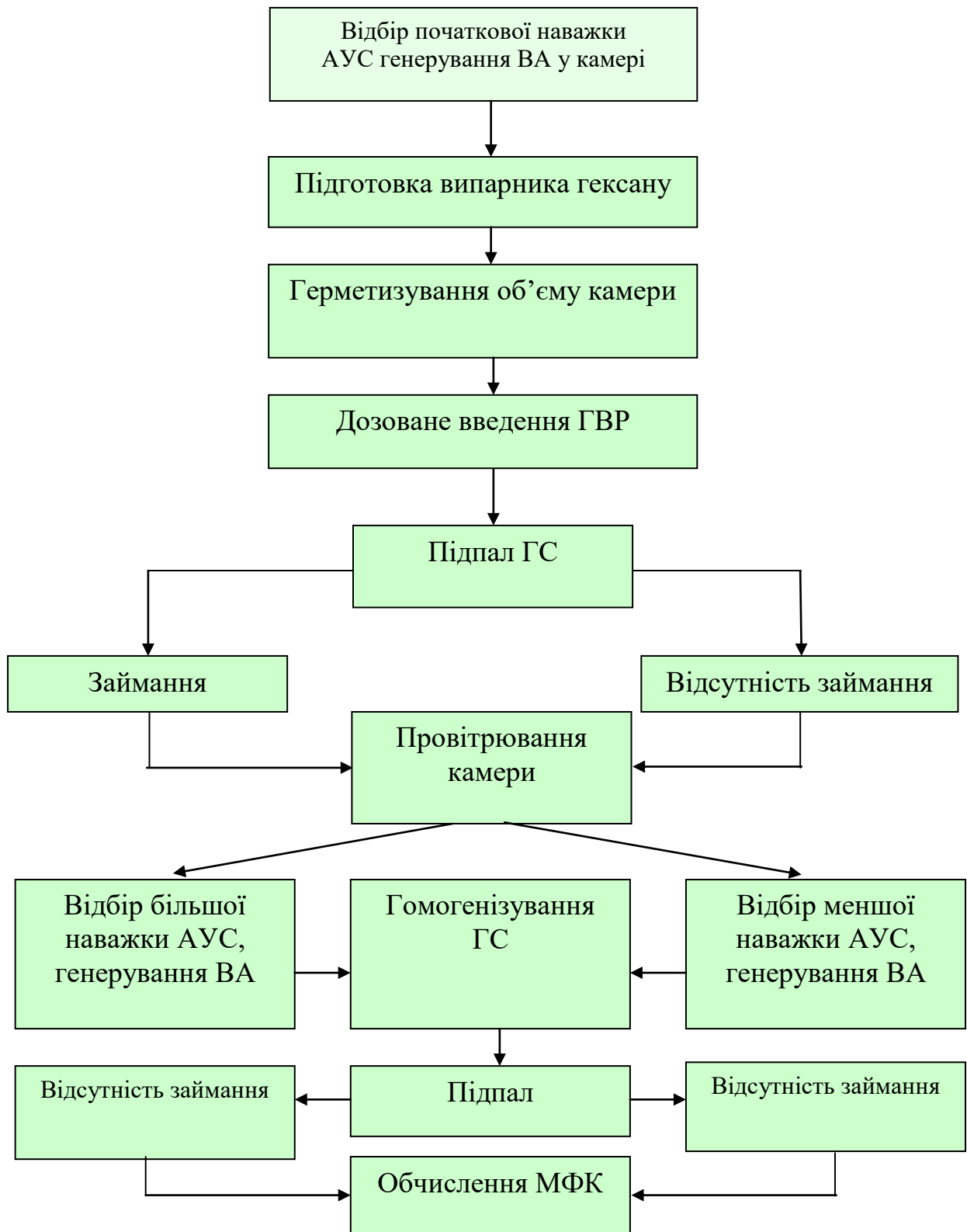


Рисунок 2.3 - Схематичне зображення процедури визначення мінімальної вогнегасної концентрації суміші вогнегасного аерозолю, згенерованого з АУС Багр та діоксиду карбону: АУС – аерозольутворювальна сполука; ВА – вогнегасний аерозоль; ГС – газове горюче середовище; ГВР – газова вогнегасна речовина; МФК – мінімальна флегматизувальна концентрація

### **2.1.2. Методика визначення флегматизувальної ефективності газових горючих середовищ методом «циліндра» у лабораторних умовах**

Суть методики дослідження процесів поширення полум'я в об'ємі стехіометричної гексаноповітряної суміші та її флегматизування із застосуванням методу «циліндра» полягала у фотофіксуванні та розкадруванні швидкісною камерою горіння або його відсутності в циліндрі об'ємом 0,5 л.

Процедура проведення експериментальних досліджень із застосуванням описаного вище методу включала в себе такі дії:

1. Поміщали початкову наважку АУС на край циліндра біля його отвору.
2. Підпалювали наважку АУС та переміщали її у циліндр з одночасним закриванням отвору гумовим корком.
3. Відкривали корок та із застосуванням пристрою дозованого подавання вводили розрахункову концентрацію діоксиду карбону.
4. Гомогенізували газове горюче середовище шляхом обертання циліндра навколо своєї осі.
5. На 30 с відкривали циліндр та пристроєм дозованого введення вводили в об'єм циліндра 0,1 мл гексану, після чого протягом 60 с гомогенізували гексаноповітряне газове горюче середовище з вогнегасним аерозолем шляхом обертання циліндра навколо своєї осі.
6. По досягненні 60 с з моменту введення діоксиду карбону в об'єм циліндра вмикали іскровий запальник та швидкісною цифровою камерою фіксували процес поширення полум'я або відсутність його поширення.
7. Розкадровували фотофіксований процес поширення полум'я або відсутність його поширення з використанням стандартного медіа-програвача Windows.

8. Позитивним результатом флегматизування газового горючого середовища внаслідок застосування вогнегасних речовин вважали відсутність зафіксованого цифровою фотокамерою процесу виникнення та поширення горіння в об'ємі циліндра.

### **2.1.3. Визначення ефективності припинення горіння модельних і макетних вогнищ та флегматизування газового горючого середовища вогнегасним аерозолем, а також за одночасного комбінованого подавання вогнегасного аерозолу та діоксиду карбону**

Дослідження з виявлення ефективності застосування способу припинення горіння та флегматизування газових горючих середовищ з одночасним комбінованим подаванням вогнегасного аерозолу із вмістом неорганічних солей калію та діоксиду карбону у захищуваний об'єм проводили також в натурних полігонних умовах за запропонованою методикою.

Суть цієї методики полягає у візуальному фіксуванні припинення горіння модельних і макетних вогнищ, а також відсутності їх займання від примусового підпалу після припинення горіння, тобто флегматизуванні газового горючого середовища протягом 15 хв внаслідок подавання вогнегасного аерозолу, згенерованого з АУС «Багр» або комбінованого одночасного подавання такого аерозолу і діоксиду карбону, у випробувальному приміщенні розміром (6,0×4,0×2,7) м, об'ємом 65 м<sup>3</sup> з негерметичністю не більше 0,5 %. У якості модельних та макетних вогнищ у випробувальному приміщенні застосовувався випарник з 0,2 дм<sup>3</sup> гексану, з'єднаний з пальником Бунзена, 3 круглих металевих дека діаметром 200 мм і висотою борта 150 мм з 0,157 дм<sup>3</sup> гексану, у кожному, а також 2 модельних вогнища 0,1 А. Модельне вогнище 0,1 А являє собою зруб із 72 дерев'яних брусків довжиною (500±5) мм та перерізом (40±2) мм кожний. Кількість брусків у ряду – 6, кількість рядів – 12. Вологість брусків

деревини не перевищувала значення 14 %. Проміжок часу вільного горіння модельних вогнищ у всіх дослідах становив 60 с. У якості запальника використовували іскровий розрядник. Також у випробувальному приміщенні знаходився ноутбук у працездатному стані моделі Hewlett-Packard, після проведення вогневих натурних випробувань знову перевірялась його працездатність. Схемне зображення розташування у випробувальному приміщенні вогнищ пожежі класів А,В,С та електрообладнання представлено на рис. 2.4.

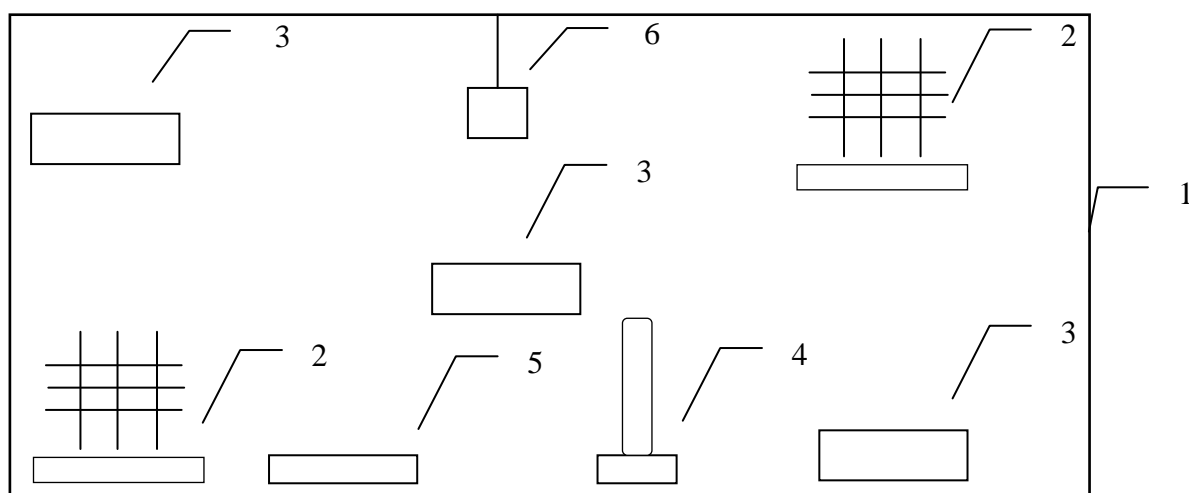


Рисунок 2.4 - Схемне зображення розташування у випробувальному приміщенні вогнищ пожежі класів А, В, С та електрообладнання: 1 - випробувальне приміщення об'ємом  $65 \text{ м}^3$  ( $3,8 \times 6,5 \times 2,6$ ) м; 2- модельні вогнища 0,1А; 3- макетні вогнища класу В з  $0,16 \text{ дм}^3$  гексану; 4- пальник типу Бунзена з гексаном у газовій фазі; 5- ноутбук моделі Hewlett-Packard у працездатному стані; 6- генератори вогнегасних аерозолів або їх сумішей з діоксидом карбону

Позитивним результатом випробувань вважали зафіксований візуально факт припинення горіння усіх модельних та макетних вогнищ і відсутність займання газового горючого середовища у випробувальному приміщенні протягом 15 хв після припинення горіння, а також збереження у працездатному стані ноутбука моделі Hewlett-Packard після його перебування у випробувальному приміщенні протягом проведення натурних полігонних випробувань.

## **2.2. Теоретичні дослідження з визначення впливу співвідношень компонентів в сумішах вогнегасного аерозолію та вогнегасних речовин-розріджувачів на їх флегматизувальну здатність із застосуванням методу повнофакторного експерименту**

З метою проведення теоретичного дослідження з виявлення впливу співвідношень концентрацій вогнегасних аерозолів та газових вогнегасних речовин на ефективність процесів флегматизування газових горючих середовищ було застосовано методику повнофакторного експерименту [112-116].

Було поставлено завдання: визначити вплив компонентів у суміші вогнегасного аерозолію та газових вогнегасних речовин-розріджувачів на ефективність флегматизування гексаноповітряного горючого середовища з виявленням залежності проміжку часу, за якого забезпечується його флегматизування.

Робота виконувалась поетапно:

### **2.2.1. Вибірка Y, визначення факторів і інтервалів їх варіювання**

#### **2.2.1.1. Вибір критерію:**

Критерій (Y): час, протягом якого не виникає займання у флегматизованому середовищі.

#### **2.2.1.2. Визначення факторів**

Фактори:

- 1)  $X_1$  – концентрація АУС «Багр»  $C_{auc}$  ;
- 2)  $X_2$  – концентрація азоту  $C_{N_2}$  .
- 3)  $X_3$  – концентрація діоксиду карбону  $C_{CO_2}$

#### **2.2.1.3. Визначення інтервалів зміни факторів**

Область визначення факторів встановлюється згідно з загальновідомими межами вогнегасних концентрацій речовин, що розглядаємо у цьому експерименті. Схема повнофакторного експерименту передбачає одночасне варіювання всіх досліджуваних факторів на двох

рівнях: верхньому (Max), що має максимальне значення розглянутого фактора, і нижньому (Min), що відповідає мінімальному значенню фактора. Інтервали зміни факторів в експерименті представлені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1

Інтервали варіювання факторів в експерименті

Фактори	Рівні	
	Min (-1)	Max (+1)
1	2	3
1	2	3
$X_1$	10	40
$X_2$	0,5	5
$X_3$	0,5	4

### 2.2.2. Побудова плану проведення повного факторного експерименту

При відомому значенні числа факторів, можна знайти число дослідів, необхідних для реалізації всіх можливих поєднань рівнів факторів.

$$N = 2^n \quad (2.1)$$

де  $N$  - кількість експериментів,  $n$  - число факторів експерименту.

Підставивши значення числа факторів, обчислимо кількість експериментів за формулою 2.1:

$$N = 2^3 = 8 \quad (2.2)$$

План експерименту зручно задавати таблицею, званою матрицею планування експерименту, що включає в себе значення факторів та ефектів їх взаємодій, а також значення досліджуваної функції, званої параметром оптимізації. Матриця планування повнофакторного експерименту типу  $N = 2^n$  та результати дослідів представлені в таблиці 2.2. У таблиці надалі

застосовуємо скорочене позначення рівнів факторів: замість +1 і -1 позначаємо + і -.

Таблиця 2.2

Матриця планування повнофакторного експерименту типу з ефектом взаємодії першого порядку і результати дослідів

Номер дослідів, $N_k$	Порядок варіювання факторів						Значення параметра оптимізації			
	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_1x_2$	$x_1x_3$	$x_2x_3$	$Y_{\text{експ}}$	$Y_{\text{розрах}}$	$\Delta Y$	$(\Delta Y)^2$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	+	+	+	+	+	+	0	0,5	0,5	0,25
2	-	+	+	-	-	+	2	1,5	-0,5	0,25
3	+	-	+	-	+	-	2	2	0	0
4	-	-	+	+	-	-	3	3	0	0
5	+	+	-	+	-	-	4	4	0	0
6	-	+	-	-	+	-	5	5	0	0
7	+	-	-	-	-	+	8	7,5	-0,5	0,25
8	-	-	-	+	+	+	8	8,5	0,5	0,25
$\frac{\Sigma}{N}$	-0,5	- 1,25	- 2,25	-0,25	-0,25	0,5	4	4	0	0,125

8с - приймаємо як флегматизацію (займання не виникає протягом більше 5с).

Таким чином, побудований повний факторний експеримент. Він має вісім дослідів і включає всі можливі комбінації рівнів трьох факторів.

### 2.2.3. Визначення коефіцієнтів рівняння регресії

Для повного факторного експерименту типу рівняння регресії з урахуванням ефектів взаємодії можна представити таким виразом:

$$Y = b_0 + \sum_{i=1}^n b_i x_i + \sum_{\substack{j,i=1 \\ j < i}}^n b_{ji} x_j x_i \quad (2.3)$$

$$\text{або } Y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + b_{12} x_1 x_2 + b_{13} x_1 x_3 + b_{23} x_2 x_3, \quad (2.4)$$

де  $b_0$  – Вільний член рівняння регресії;  $b_i$  – коефіцієнт лінійного ефекту,  $b_{ji}$  – коефіцієнт ефекту парної,  $n$  – число факторів,  $x_j$  та  $x_i$  – фактори експерименту.

Отримання моделі зводиться до знаходження за результатами експерименту значень невідомих коефіцієнтів.

### 2.2.3.1. Визначення вільного члена

Вільний член ( $b_0$ ) характеризує результат проведеного експерименту в центрі плану. Коефіцієнт обчислюється за такою формулою 2.5:

$$b_0 = \frac{\sum_{i=1}^N Y_{k \text{ експ}}}{N}, \quad (2.5)$$

де  $Y_{k \text{ експ}}$  - параметр оптимізації експериментальний,  $N$  - число дослідів,  $i$  - номер фактора експерименту,  $k$  - номер дослідів.

Відповідно до формули 3 обчислимо коефіцієнт  $b_0$ :

$$b_0 = \frac{0 + 2 + 2 + 3 + 4 + 5 + 8 + 8}{8} = \frac{32}{8} = 4 \quad (2.6)$$

### 2.2.3.2. Обчислення коефіцієнтів рівняння, що характеризують лінійні ефекти

Коефіцієнт рівняння розраховується за формулою, яка наведена нижче.

$$b_i = \frac{\sum_{i=1}^N x_i Y_{k \text{ експ}}}{N}, \quad (2.7)$$

де  $x_i$  - фактор експерименту.

Знайдемо коефіцієнти  $b_i$  для кожного фактора експерименту:



$$b_1 = \frac{0 - 2 + 2 - 3 + 4 - 5 + 8 - 8}{8} = \frac{4}{8} = -0,5 \quad (2.8)$$

$$b_2 = \frac{0 + 2 - 2 - 3 + 4 + 5 - 8 - 8}{8} = -\frac{10}{8} = -1,25 \quad (2.9)$$

$$b_3 = \frac{0 + 2 + 2 + 3 - 4 - 5 - 8 - 8}{8} = \frac{18}{8} = -2,25 \quad (2.10)$$

### 2.2.3.3. Визначення коефіцієнтів рівняння, що характеризують ефекти взаємодії

Коефіцієнт обчислюється за такою формулою:

$$b_{ji} = \frac{\sum_{\substack{j,i=1 \\ j < i}}^N x_j x_i Y_{k \text{ експ}}}{N}, \quad (2.11)$$

де  $i$  та  $j$  – номери факторів експерименту.

Обчислимо коефіцієнти ефекту парної взаємодії  $b_{ji}$ :

$$b_{12} = \frac{0 - 2 - 2 + 3 + 4 - 5 - 8 + 8}{8} = \frac{-2}{8} = -0,25 \quad (2.12)$$

$$b_{23} = \frac{0 + 2 - 2 - 3 - 4 - 5 + 8 + 8}{8} = \frac{4}{8} = 0,5 \quad (2.13)$$

$$b_{13} = \frac{0 - 2 + 2 - 3 - 4 + 5 - 8 + 8}{8} = \frac{-2}{8} = -0,25 \quad (2.14)$$

З урахуванням усіх знайдених коефіцієнтів основне рівняння регресії відповідно до виразу 2.2 для повного факторного експерименту буде виглядати таким чином:

$$Y = 4 - 0,5x_1 - 1,25x_2 - 2,25x_3 - 0,25x_1x_2 - 0,25x_1x_3 + 0,5x_2x_3 \quad (2.15)$$

## 2.2.4. Перевірка значущості коефіцієнтів регресії

### 2.2.4.1. Визначення розкиду в точці

Проводимо кілька паралельних дослідів в одній точці плану для того, щоб визначити розкид значень в цій точці. Паралельні експерименти проводимо для точки 4:

$$Y_{41} = 3; Y_{42} = 2; Y_{43} = 4 \quad (2.16)$$

Далі знайдемо їх середнє значення:

$$\bar{Y}_2 = \frac{3+2+4}{3} = \frac{9}{3} = 3 \quad (2.17)$$

#### 2.2.4.2. Визначення дисперсії експерименту

Дисперсія відтворюваності (адекватності) визначається за допомогою повторних дослідів в нульовій точці (центрі експерименту). Дисперсію адекватності обчислимо за такою формулою:

$$S_y^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\bar{Y}_i - Y_i)^2}{m-1}, \quad (2.18)$$

де  $m$  – число повторних дослідів

Для точки 4 отримаємо:

$$S_y^2 = \frac{\sum_{i=1}^3 (\bar{Y}_4 - Y_{4i})^2}{3-1} = \frac{(3-3)^2 + (3-2)^2 + (3-4)^2}{2} = \frac{2}{2} = 1 \quad (2.19)$$

#### 2.2.4.3. Середнє квадратичне відхилення

Далі візьмемо квадратний корінь і отримаємо середнє квадратичне відхилення:

$$S_y = \sqrt{S_y^2} = \sqrt{1} = 1 \quad (2.20)$$

Дисперсія коефіцієнтів рівняння регресії визначається за наступною формулою:

$$S_{bi} = \frac{S_y}{m}, \quad (2.21)$$

де  $m$  – кількість членів в рівнянні регресії (крім  $b_0$ ).

Згідно з формулою 2.22, середньоквадратичне відхилення становило:

$$S_{bi} = \frac{1}{6} = 0,17 \quad (2.22)$$

**2.2.4.4. Визначення довірчого інтервалу і значимість коефіцієнтів рівняння регресії**

Для оцінки значущості коефіцієнтів з довірчого інтервалу обчислюють довірчий інтервал для коефіцієнта за формулою 2.23.

$$\Delta b_i = \pm t S_{b_i}, \quad (2.23)$$

де  $t$  - критерій Стьюдента (табличне значення критерію при 5%-вому рівні значущості і при кількості ступенів свободи  $f = N(n-1) = 8(2-1) = 8$  дорівнює 2,3).

Обчислимо довірчий інтервал:

$$\Delta b_i = \pm 2,3 \times 0,17 = \pm 0,391 \quad (2.24)$$

Довірчий інтервал однакоий для всіх коефіцієнтів. Визначення значимості коефіцієнтів рівняння регресії за допомогою співвідношення 9 зручно тим, що дає змогу застосувати правило: коефіцієнт значущий, якщо його абсолютна величина більша за довірчий інтервал:

$$\Delta b_i < b_{ji} \quad (2.25)$$

Незначущі коефіцієнти виключаються з моделі. При цьому якщо коефіцієнти моделі некорельовані між собою (матриця моментів діагональна), то виключення незначущих коефіцієнтів не позначиться на інших коефіцієнтах. В іншому випадку залишені коефіцієнти перераховуються заново, оскільки коефіцієнти закорельовані один з одним.

Таким чином, визначимо значимість коефіцієнтів рівняння регресії шляхом їх порівняння з довірчим інтервалом:

$$Y = 4 - 0,5x_1 - 1,25x_2 - 2,25x_3 - 0,25x_1x_2 - 0,25x_1x_3 + 0,5x_2x_3 \quad (2.26)$$

$$\pm 0,391 < 4; \pm 0,391 < -0,5; \pm 0,391 < -1,25; \pm 0,391 < -2,25; \pm 0,391 > -0,25;$$

$$\pm 0,391 > -0,25; \pm 0,391 < 0,5.$$

З представлених вище виразів випливає, що не всі коефіцієнти регресійного рівняння більші від довірчого інтервалу (що говорить про їх значущість). Рівняння регресії набуде вигляду:

$$Y = 4 - 0,5x_1 - 1,25x_2 - 2,25x_3 + 0,5x_2x_3 \quad (2.27)$$

### 2.2.5. Обчислення розрахункових значень параметрів оптимізації

Визначимо розрахункові значення параметрів оптимізації шляхом підстановки відповідних знаків (+ чи -) у вираз 2.27. Тоді отримаємо такі розрахункові значення:

$$Y_{\text{розрах } 1} = 4 - 0,5 - 1,25 - 2,25 + 0,5 = 0,5 \quad (2.28)$$

$$Y_{\text{розрах } 2} = 4 + 0,5 - 1,25 - 2,25 + 0,5 = 1,5 \quad (2.29)$$

$$Y_{\text{розрах } 3} = 4 - 0,5 + 1,25 - 2,25 - 0,5 = 2 \quad (2.30)$$

$$Y_{\text{розрах } 4} = 4 + 0,5 + 1,25 - 2,25 - 0,5 = 3 \quad (2.31)$$

$$Y_{\text{розрах } 5} = 4 - 0,5 - 1,25 + 2,25 - 0,5 = 4 \quad (2.32)$$

$$Y_{\text{розрах } 6} = 4 + 0,5 - 1,25 + 2,25 - 0,5 = 5 \quad (2.33)$$

$$Y_{\text{розрах } 7} = 4 - 0,5 + 1,25 + 2,25 + 0,5 = 7,5 \quad (2.34)$$

$$Y_{\text{розрах } 8} = 4 + 0,5 + 1,25 + 2,25 + 0,5 = 8,5 \quad (2.35)$$

## 2.2.6. Визначення критерію Фішера і перевірка моделі на адекватність

### 2.2.6.1. Обчислення критерію Фішера

Адекватність моделі в цілому будемо визначати за критерієм Фішера. Експериментальне значення F-критерію (критерію Фішера) дорівнює:

$$F_{\text{розрах}} = \frac{S_{ad}^2}{S_y^2}, \quad (2.36)$$

де  $S_{ad}^2$  – дисперсія адекватності моделі (залишкова дисперсія),  $S_y^2$  – дисперсія дослідів (експерименту).

Обчислимо дисперсію адекватності за формулою:

$$S_{ad}^2 = \frac{\sum_{i=1}^N \Delta Y^2}{f} = \frac{\sum_{i=1}^N (Y_{i \text{ розрах}} - Y_{i \text{ експ}})^2}{N - (m + 1)}, \quad (2.37)$$

де

$f$  – число ступенів свободи;

$m$  – кількість значущих коефіцієнтів моделі (в рівнянні регресії, крім  $b_0$ );

$N$  – кількість дослідів.

Спочатку обчислимо різницю між розрахунковими і експериментальними значеннями параметрів оптимізації і заповнимо таблицю 2.2:

$$\Delta Y = Y_{\text{розрах}} - Y_{\text{експ}} \quad (2.38)$$

Також знайдемо  $(\Delta Y)^2$  і заповнимо таблицю 2.2.

Підставляючи відомі значення у вираз 2.38, обчислимо дисперсію адекватності моделі:

$$S_{ad}^2 = \frac{1 \times 8}{8 - (4 + 1)} = \frac{1}{3} = 0,33 \quad (2.39)$$

Експериментальне значення F-критерію (критерію Фішера) обчислимо за формулою 2.40.

$$F_{\text{розрах}} = \frac{0,33}{1} = 0,33 \quad (2.40)$$

Табличне значення критерію Фішера ( $F_{\text{табл}}$ ) визначається по таблиці. Значення F-критерію для рівня значущості  $p = 0,05$  залежить від  $f_1$  (число ступенів свободи більшої дисперсії),  $f_2$  (число ступенів свободи меншої дисперсії).

$$F_{\text{табл}} = 3,84 \quad (f_1 = 8 - 4 = 4, f_2 = 8(2 - 1) = 8) \quad (2.41)$$

### 2.2.6.2. Перевірка моделі на адекватність

Отриману за допомогою факторного експерименту модель необхідно перевірити на адекватність. Перевіряється адекватність моделі, тобто придатність отриманої моделі для опису реального об'єкта дослідження, по відношенню дисперсії адекватності та параметра оптимізації  $S_Y^2$ .

Порівняємо розрахункові та табличні значення критеріїв Фішера і сформулюємо висновок про адекватність моделі. Згідно з умовою

$F_{\text{розрах}} > F_{\text{табл}}$  – модель неадекватна і відповідно при  $F_{\text{розрах}} \leq F_{\text{табл}}$  – адекватна.

Таким чином, у нашому випадку:

$$F_{\text{розрах}} = 0,33; F_{\text{табл}} = 3,84. F_{\text{розрах}} < F_{\text{табл}}, \quad (2.42)$$

що свідчить про адекватність моделі.

### 2.2.7. Аналіз регресійної моделі в факторному просторі

Відповідно до рівняння регресії, виключаючи незначущі коефіцієнти, побудуємо лінію рівня в факторному просторі:

$$Y = 4 - 0,5x_1 - 1,25x_2 - 2,25x_3 + 0,5x_2x_3 \quad (2.43)$$

Слід зазначити, що область прийнятих значень факторів така:  $-1 \leq x_i \leq +1$ . Встановимо значення для  $Y = b_0 = 4$ . Після підстановки значення в рівняння регресії, отримаємо такий вираз:

$$0 = -0,5x_1 - 1,25x_2 - 2,25x_3 + 0,5x_2x_3 \quad (2.44)$$

Спочатку розглянемо передню грань куба (повного факторного експерименту) і зробимо необхідні розрахунки для того, щоб побудувати лінію рівня. Далі аналогічно розрахуємо необхідні параметри для побудови ліній рівня на інших гранях куба.

#### 2.2.7.1. Передня грань куба:

У даному випадку  $x_1$  набуває значення 1, тобто  $x_1 = 1$ . Підставивши відоме значення в рівняння 2.44, отримаємо вираз з двома невідомими:

$$0 = -0,5 - 1,25x_2 - 2,25x_3 + 0,5x_2x_3 \quad (2.45)$$

Висловимо в рівнянні 2.45 одне невідоме через інше:

$$x_2 = \frac{0,5 + 2,25x_3}{-1,25 + 0,5x_3} \quad (2.46)$$

Враховуючи область прийнятих значень факторів, шляхом підстановки чисел у вираз 2.47, отримаємо такі координати точок лінії рівня:

$$\text{т.1-1: } x_2 = -1; x_3 = 0,27; \quad (2.47)$$

$$\text{т.1-2: } x_2 = -0,86; x_3 = 0,21; \quad (2.48)$$

$$\text{т.1-3: } x_2 = 1; x_3 = -1. \quad (2.49)$$

Зазначимо відповідні точки на квадраті і з'єднаємо їх лінією. На рисунку 2.5 побудовані проєкції регресійної моделі в факторному просторі на передній стороні куба.

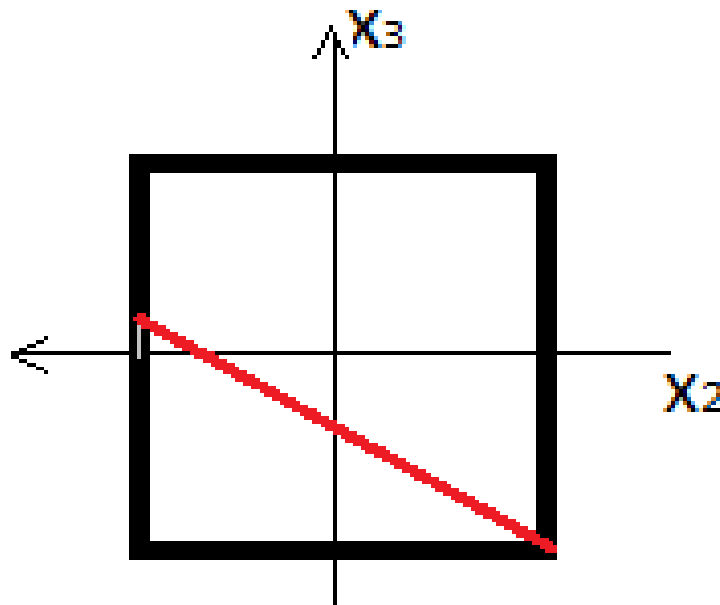


Рисунок 2.5 - Лінія рівня на передній грані куба.

### 2.2.7.2. Права грань куба:

$$x_2 = 1$$

$$0 = -0,5x_1 - 1,25 - 2,25x_3 + 0,5x_3$$

$$x_3 = \frac{-1,25 - 0,5x_1}{1,75} \quad (2.50)$$

$$\text{т.2-1: } x_1 = 0,5; x_3 = -0,86; \quad (2.51)$$

$$\text{т.2-2: } x_1 = 1; x_3 = -1; \quad (2.52)$$

$$\text{Т.2-3: } x_1 = -1; x_2 = -0,43. \quad (2.53)$$

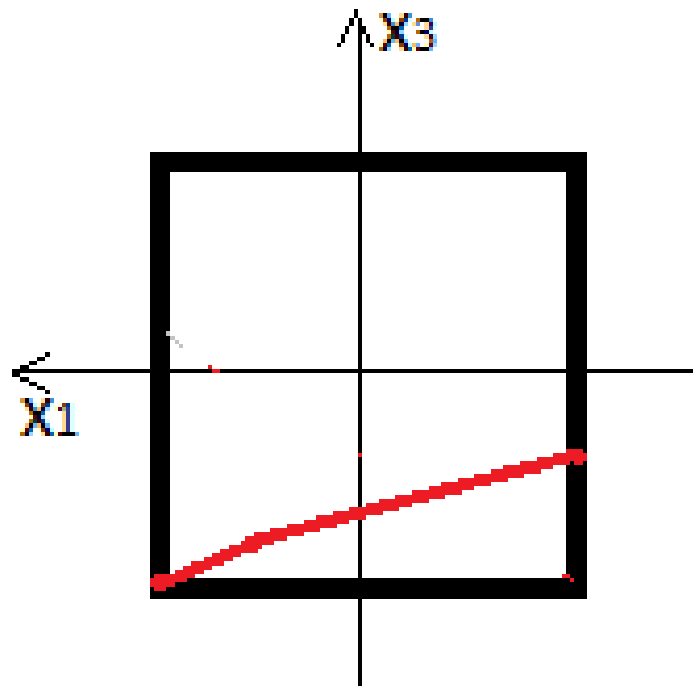


Рисунок 2.6 - Лінія рівня на правій грані куба

### 2.2.7.3. Задня грань куба:

$$x_1 = -1$$

$$0 = 0,5 - 1,25x_2 - 2,25x_3 + 0,5x_2x_3$$

$$x_3 = \frac{1,25x_2 - 0,5}{-2,25 + 0,5x_2} \quad (2.54)$$

$$(2.55)$$

$$(2.56)$$

$$(2.57)$$

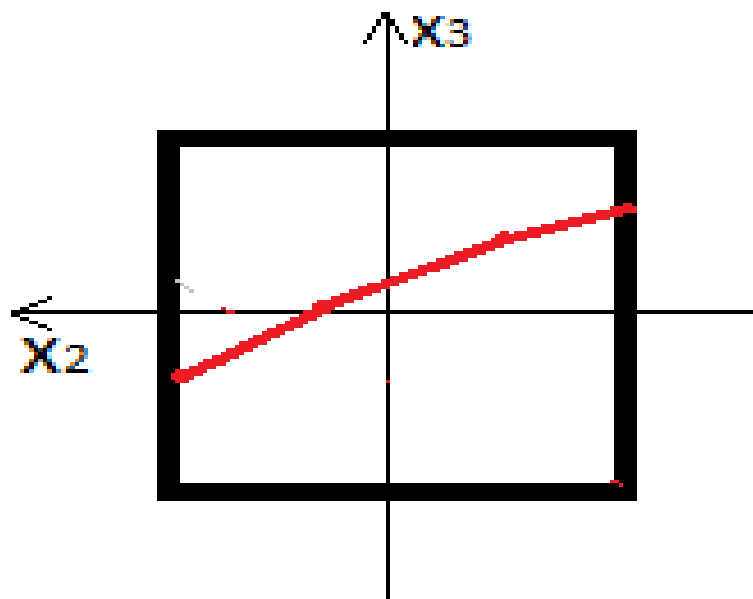


Рисунок 2.7 - Лінія рівня на задній грані куба.



#### 2.2.7.4. Ліва грань куба:

$$x_2 = -1$$

$$0 = -0,5x_1 + 1,25 - 2,25x_3 - 0,5x_3$$

$$x_3 = \frac{1,25 - 0,5x_1}{2,75} \quad (2.58)$$

$$\text{T.4-1: } x_1 = -1; x_3 = 0,64; \quad (2.59)$$

$$\text{T.4-2: } x_1 = 0; x_3 = 0,45; \quad (2.60)$$

$$\text{T.4-3: } x_1 = 1; x_3 = 0,27. \quad (2.61)$$

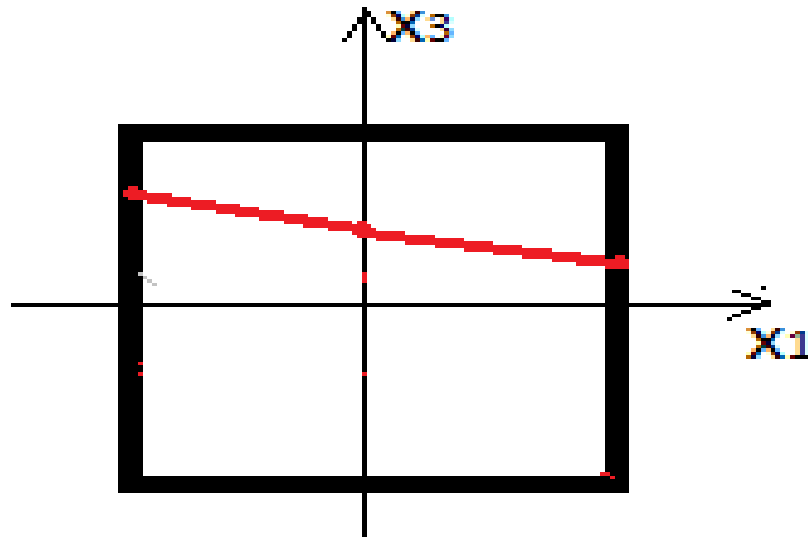


Рисунок 2.8 - Лінія рівня на лівій грані куба

Верхня і нижня грані не задіяні оскільки у нашій моделі фактори, що відображаються на них – не значущі.

Таким чином, поверхня регресійної моделі перетинає 4 грані куба. Модель регресії в факторному просторі, яка відображає залежність між критерієм і факторами експерименту, зображена на рисунку 2.9.

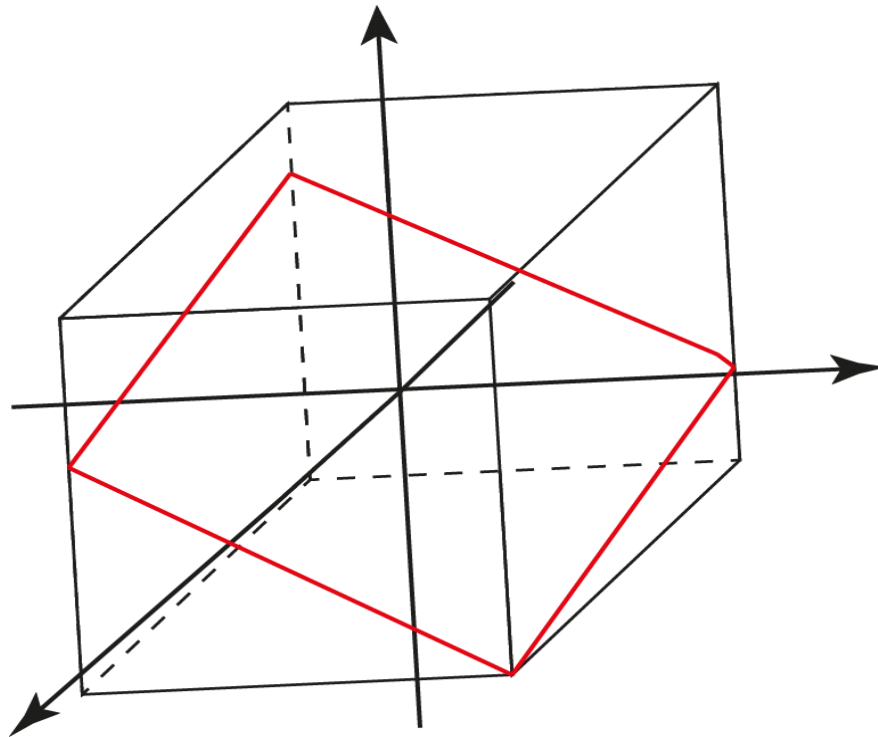


Рисунок 2.9 - Регресійна модель в факторному просторі

Рівняння регресії для даного повного факторного експерименту виглядає таким чином:

$$Y = 4 - 0,5x_1 - 1,25x_2 - 2,25x_3 + 0,5x_2x_3. \quad (2.62)$$

Оскільки  $F_{расч} \leq F_{табл}$ , - модель адекватна, тобто придатна для опису реального об'єкта дослідження. Найбільше впливає на результат ( $x_3 = 2,25$ ) робить фактор концентрації  $CO_2$ , значно впливають – концентрації азоту ( $x_2 = 1,25$ ) та практично не впливає ( $x_1=0,5$ ) кількість у суміші АУС і фактор взаємної дії двох інертних газів.

### 2.3. Теоретичні розрахунки теплопоглинальної здатності аерозолів, згенерованих АУС з вмістом неорганічних солей калію

Як відомо, внаслідок згоряння АУС утворюються продукти, що мають високі значення теплоємностей, крім того, тверда фаза аерозолу  $K_2O$  може взаємодіяти з компонентами газової фази, такими як  $CO_2$  чи  $H_2O$  з утворенням або  $K_2CO_3$ , або  $KHCO_3$ , або  $KOH$ . В свою чергу ці новоутворені сполуки легко утворюють гідратовані форми:  $K_2CO_3 \cdot 2H_2O$ ;

$\text{KOH}\cdot\text{H}_2\text{O}$ ;  $\text{KOH}\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ;  $\text{KOH}\cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ;  $\text{KCl}\cdot 1,5\text{H}_2\text{O}$  і т.п. Оскільки ці частинки знаходяться в дрібнодисперсному стані і є гідрофільними, то відповідно до визначення поняття аерозолів як систем [15], тверді частинки відіграють роль центрів координації для створення комплексів – тверда частинка+ $\text{CO}_2$ + $\text{H}_2\text{O}$  з набагато більшою кількістю  $\text{CO}_2$  і  $\text{H}_2\text{O}$  на одиницю твердої фази. Всі ці форми є термічно нестабільні і при підвищенні температури вище  $100^\circ\text{C}$  починають розпадатися, а оскільки інтенсивність розпаду таких речовин напряму залежить від ступеня їх дисперсності, то очевидним є те, що дрібнодисперсні частинки аерозолі забезпечуватимуть високу інтенсивність тепловідводу від зони займання, тобто буде проявлятися ефект ендотермічного розпаду, а аерозолі можна розглядати як теплові флегматизатори. Крім того, вищезгадані компоненти аерозолі, перебуваючи в безпосередній близькості до зони нагрівання і розкладаючись під дією високої температури, будуть утворювати додаткові об'єми газових продуктів ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ) і тим самим розбавляти область займання газами–флегматизаторами, що також буде сприяти додатковому розбавленню газового горючого середовища. Отже, в будь-якому випадку створення умов, що приводять до збільшення енергії активації через інгібування ланцюгових реакцій дисперсними солями, розбавлення продуктами розкладу аерозолі газами–інгібіторами, призводить до збільшення періоду індукції, звуження області займання та перетворення суміші на негорючу – зафлегматизовану у декілька етапів.

Теплопоглинальну здатність компонентів аерозолів АУС наведено у таблиці 2.3. Величину загального теплопоглинання і частки теплоти згоряння метаноповітряної суміші, що поглинається аерозолем наведено у таблиці 2.4.

Таблиця 2.3

## Теплопоглинальна здатність компонентів аерозолів АУС

Речовина	$Q_{\text{нагр}}$ (завдяки теплоємності), кДж/г	$Q_{\text{плавл.}}$ кДж/г	$Q_{\text{випар.}}$ кДж/г	$Q_{\text{розкл.}}$ кДж/г	$\Sigma Q$ , кДж/г
1	2	3	4	5	6
$K_2O$	0,75	0,3	1,65	7,7	10,4
$KOH$	2,82	0,24	2,3	8,9	14,26
$K_2CO_3$	-	-	-	-	11,65
$KCl$	1,1	0,34	2,16	5,7	9,3
$CO_2$	1,98	-	-	-	1,98
$N_2$	1,1	-	-	-	1,1

Таблиця 2.4

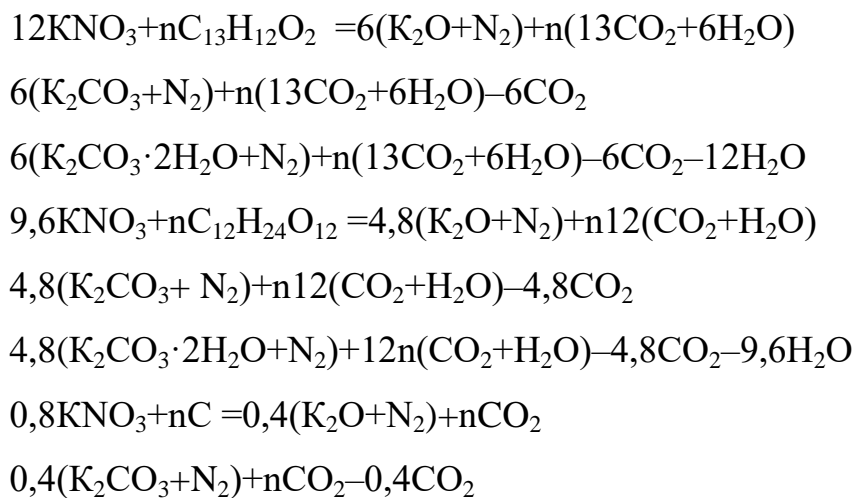
Величина загального теплопоглинання і частки теплоти згоряння метаноповітряної суміші, що поглинається аерозолем, який складається з 50 % (мас.)  $K_2CO_3 \cdot 2 H_2O$  та 50 %  $CO_2$

$C_T$ , г/м <sup>3</sup>	$\Sigma Q$ , кДж	% поглинання
1	2	3
50	315,750	8,9
75	473,625	13,3
100	631,500	17,8
150	947,250	26,7

Виходячи з цього, вогнегасну дію аерозолію потрібно розглядати як одночасну комбіновану дію чинників інгібування та теплопоглинання [15, 117-119].

У зв'язку з викладеним було проведено оціночні розрахунки теплопоглинальної здатності аерозолів, одержаних із АУС різного складу. Розрахунки проводили для продуктів горіння АУС з нульовим та від'ємним кисневим балансом, в якості пального розглянули ідітол, лактозу та вуглець.

Рівняння горіння складали враховуючи утворення  $K_2CO_3$  і  $K_2CO_3 \cdot 2H_2O$



Вихідні дані теплофізичних величин [12] вибирали вважаючи що компоненти аерозолу нагріваються в полум'ї до  $1400^\circ C$ .

Середні значення теплоємності речовин при цих умовах:

$C_p (CO_2)$ – 52 Дж/моль або 1,18 Дж/г	1,652
$C_p (H_2O)$ – 41 Дж/моль або 2,28 Дж/г	3,192
$C_p (N_2)$ – 32,2 Дж/моль або 1,15 Дж/г	1,610
$C_p (K_2O)$ – 102,25 Дж/моль або 1,08 Дж/г	1,512
$C_p (K_2CO_3)$ – 149 Дж/моль (до $t_{пл}=891^\circ C$ ) – 1,08 Дж/г	
$C_p (K_2CO_3 \cdot 2H_2O)$ – Дж/моль (до $t_{розкл}=100^\circ C$ ) – Дж/г	
$C_p (KHCO_3)$ – 97,3 Дж/моль (до $t_{розкл}=100^\circ C$ ) – 0,97 Дж/г	
$C_p (KOH)$ – 87,75 Дж/моль (до $t_{пл}=450^\circ C$ ) – 1,57 Дж/г	
$C_p (KOH \cdot 2H_2O)$ – 125,5 Дж/моль (до $t_{розкл}=100^\circ C$ ) – 1,36 Дж/г	
$C_p (KCl)$ – 51,3 Дж/моль (до $t_{пл}=770^\circ C$ )	

Значення теплоти фазових переторень:

$$Q_{\text{пл}} (\text{K}_2\text{O}) - 27,2 \text{ кДж/моль} - 289,36 \text{ Дж/г}$$

$$Q_{\text{пл}} (\text{K}_2\text{CO}_3) - 30,5 \text{ кДж/моль} - 289,36 \text{ Дж/г}$$

$$Q_{\text{пл}} (\text{KOH}) - 9,4 \text{ кДж/моль}$$

$$Q_{\text{пл}} (\text{KCl}) - 26,32 \text{ кДж/моль.}$$

Значення теплоти розкладу:

$$Q_{\text{розкл}} (\text{K}_2\text{CO}_3) - 419 \text{ кДж/моль}$$

$$Q_{\text{розкл}} (\text{K}_2\text{CO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}) - \text{кДж/моль}$$

$$Q_{\text{розкл}} (\text{KHCO}_3) - 73 \text{ кДж/моль}$$

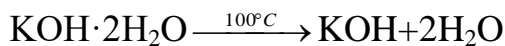
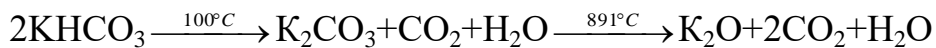
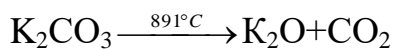
Теплопоглинання розраховували за звичайними методиками:

$$- \text{теплоту нагріву } Q_{\text{нагр}[n]} = m_n \cdot C_{p[n]} \cdot \Delta T;$$

$$- \text{теплоту плавлення } Q_{\text{пл}[n]} = m_n \cdot Q'_{\text{пл}};$$

$$- \text{теплоту розкладу } Q_{\text{розкл}[n]} = m_n \cdot Q'_{\text{розкл}}.$$

Розклад  $\text{K}_2\text{CO}_3$  і  $\text{KHCO}_3$  іде за реакціями:



Загальне поглинання тепла розраховували як суму значень теплоти нагрівання, плавлення і розкладання компонентів:  $Q_{\text{погл}} = \sum (Q_{\text{нагр}} + Q_{\text{пл}} + Q_{\text{розкл}})$

Одержані такі значення теплоти поглинання (теплоємність) компонентами утвореного аерозолію (табл. 2.5).

Таблиця 2.5

Теплоємність компонентів аерозолію

Компоненти	Теплоємність, кДж/г
1	2

Продовження табл. 2.5

1	2
CO <sub>2</sub>	1,652
H <sub>2</sub> O	3,192
N <sub>2</sub>	1,610
K <sub>2</sub> O	1,797
K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	4,980
K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> ·2H <sub>2</sub> O	5,37
KHCO <sub>3</sub>	4,886
KOH	2,362
KOH·2H <sub>2</sub> O	2,637
KCl	1,653

Використовуючи одержані величини теплоти поглинання, розраховали питому теплопоглинальну здатність аерозолів та теплопоглинальну здатність аерозолів одержаних з одного грама АУС. Одержані результати розрахунків представлені в табл. 2.6.

Таблиця 2.6

Розрахункові питомі теплопоглинальні властивості аерозолів одержаних із АУС при різних співвідношеннях окисник : пальне

Тверда фаза	n	Пальне								
		ітігол			лактоза			вуглець		
		Σq <sub>m</sub> , кДж/г АУС	Окисник: пальне, % вагових	Σq <sub>v</sub> , кДж/л АУС	Σq <sub>m</sub> , кДж/г АУС	Окисник: пальне, % вагових	Σq <sub>v</sub> , кДж/л АУС	Σq <sub>m</sub> , кДж/г АУС	Окисник: пальне, % вагових	Σq <sub>v</sub> , кДж/л АУС
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
K <sub>2</sub> O	1,0	1,822	85,2:14,2	4,594	1,943	78,0:27	4,006	1,706	87:13	5,048
	1,5	1,837	80,2:19,8	4,164	1,977	65:35	3,682	1,695	82:18	4,573
	2,0	1,847	75,2:24,8	3,919	1,999	57,4:42 ,6	3,505	1,698	77:23	4,296

Продовження табл. 2.6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	2,5	1,853	70,8:29,2	3,825	2,014	52:48	3,394	1,683	73:27	4,115
K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	1,0	3,717	85,2:14,2	12,33	3,556	78,0:27	8,795	3,631	87:13	15,042
	1,5	3,363	80,2:19,8	9,230	3,238	65:35	6,832	3,249	82:18	11,106
	2,0	3,125	75,2:24,8	7,680	3,033	57,4:42 ,6	5,85	2,994	77:23	9,141
	2,5	2,95	70,8:29,2	6,750	2,291	52:48	5,261	2,808	73:27	7,9620
K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> · 2H <sub>2</sub> O	1,0	–	85,2:14,2	–	4,034	78,0:27	16,628	–	87:13	–
	1,5	–	80,2:19,8	–	3,612	65:35	10,390	–	82:18	–
	2,0	3,380	75,2:24,8	12,58	3,340	57,4:42 ,6	8,052	–	77:23	–
	2,5	3,279	70,8:29,2	10,03	3,151	52:48	6,826	–	73:27	–

Як видно, теплоємність продуктів горіння АУС, тобто утвореного АУС, достатньо висока, що свідчить на користь того, що в процесі припинення горіння вогнегасним аерозолем не останню роль відіграє механізм теплопоглинання. Одержані результати показують також, що за умови утворення тільки K<sub>2</sub>O для всіх АУС значення теплопоглинання аерозолів мало відрізняються між собою і тільки за утворення K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> і особливо гідратованих форм різко збільшується теплоємність аерозолів. Причому із збільшенням кількості пального в АУС, питома теплоємність аерозолю зменшується (табл. 2.6) завдяки зменшенню концентрації твердої фази в аерозолі. Розрахунки теплоємності для аерозолів, одержаних із АУС, в яких окислюється тільки KClO<sub>4</sub>, показали, що теплоємність таких аерозолів мало відрізняється від теплоємності аерозолів із АУС на основі KNO<sub>3</sub> за умови утворення K<sub>2</sub>O.

Так, для АУС складу 7,5 KClO<sub>4</sub> : C<sub>13</sub>H<sub>12</sub>O<sub>2</sub> і 6,0 KClO<sub>4</sub> : C<sub>12</sub>H<sub>24</sub>O<sub>12</sub> теплоємність аерозолю становить відповідно 1,79 кДж/г (5218,4 кДж/м<sup>3</sup>) і 1,93 кДж/г (4275,7 кДж/м<sup>3</sup>). При введенні KClO<sub>4</sub> в рецептуру АУС спостерігалось повніше перетворення вихідної суміші в кінцевий продукт – аерозоль. Так, наприклад, для АУС стехіометричного складу 9,6KNO<sub>3</sub> : 1,44KClO<sub>4</sub> : 1,24C<sub>12</sub>H<sub>24</sub>O<sub>13</sub> теплоємність аерозолю становить при умові



утворення  $K_2O$  – 1,95 кДж/г АУС (4068 кДж/м<sup>3</sup>),  $K_2CO_3$  – 3,32 кДж/г, (8052 кДж/м<sup>3</sup>),  $K_2CO_3 \cdot 2H_2O$  – 3,73 кДж/г (13376 кДж/м<sup>3</sup>).

Розрахунки теплоємності аерозолів, одержаних з одиниці ваги АУС (1 г), показують, що із збільшенням кількості горючого теплоємність аерозолів навіть дещо зростає (табл. 2.6). Не враховуючи концентрацію твердої фази, можна зробити припущення, що додавання в об'єм інертних газів таких як  $CO_2$ ,  $N_2$  чи  $H_2O$  може підвищувати теплопоглинальну здатність аерозолів, тим самим зменшувати концентрацію самої твердої фази. Порівнюючи одержані розрахункові значення теплоємності АУС з теплоємностями газів-флегматизаторів  $CO_2$  і  $N_2$  (при 1400°C), які становлять відповідно  $Q=3241$  кДж/м<sup>3</sup> та  $Q=2012,5$  кДж/м<sup>3</sup> видно, що теплоємність аерозолу значно перевищує теплоємність цих газів і особливо у випадках утворення  $K_2CO_3$  чи  $K_2CO_3 \cdot 2H_2O$ . Так, наприклад, для зарядів із надлишком пального, що відповідає стехіометричному коефіцієнту при пальному  $n=1,5$ , теплоємність 1 м<sup>3</sup> аерозолу з АУС на основі ідітолу, лактози, вуглецю (при умові утворення  $K_2CO_3$ ) в декілька раз більше від теплоємності 1 м<sup>3</sup>  $CO_2$ ,  $N_2$ , а саме:

для $CO_2$	для $N_2$
АУС з ідітолом $9230/3241=2,85$ разів;	4,59 разів
АУС з лактозою $6832/3241=2,11$ разів;	3,40 разів
АУС з вуглецем $11106/3241=3,42$ разів.	5,51 разів

Порівняння вогнегасних властивостей АУС із  $CO_2$ , враховуючи, що все ж таки частка теплової дії при гасінні є притаманною для АУС, нашттовхує на думку, що для припинення горіння полум'я різних речовин потрібно очікувати існування залежності мінімальної вогнегасної концентрації АУС від кількості тепла, що виділяється при горінні різних речовин і особливо від теплового випромінювання. Адже відомо, що трьохатомні гази  $CO_2$  і  $H_2O$  і тверді частинки здатні сприймати (акумуляувати) випромінювання в інфрачервоному діапазоні. Тим самим,

чим більше тепла буде видалятися при горінні і особливо чим більша доля інфрачервоного випромінювання в цих полум'ях, тим більшу кількість аерозолію необхідно буде затратити на гасіння, через руйнування аерозольних частинок ( $K_2CO_3$  і  $K_2CO_3 \cdot 2H_2O$ ) від дії теплового випромінювання, та підняття аерозолію разом з супутніми конвективними потоками повітря вгору. Очевидно при гасінні полум'я з сильним променевим випромінюванням (горіння полімерів, вуглеводнів) необхідно створити більшу концентрацію аерозолію ніж при гасінні полум'я з відносно слабким випромінюванням (горіння спиртів). Наявність  $CO_2$  і  $H_2O$  в складі аерозолію буде сприяти його швидкому нагріванню через високу теплопровідність та теплоємність цих компонентів. Все це може призвести до зменшення вогнегасних властивостей аерозолію. Так результати експериментів роботи [89, 94] показали, що при підвищенні температури аерозолію, спостерігається відповідне підвищення витрат аерозолію та інтенсивності його подачі для досягнення ефекту гасіння. Це можна пояснити фактом руйнування під дією високих температур власне таких аерозольних компонентів як  $K_2CO_3$  і  $K_2CO_3 \cdot 2H_2O$  і т.д. Найбільшу теплоємність виявлено у АУС, одержаних з лактози. Звертає на себе увагу той факт, що теплоємність  $1 \text{ м}^3$  АУС (за умови утворення  $KHCO_3$ ) складає приблизно  $14487 \text{ кДж/м}^3$ , що майже в 4,5 разів більше, ніж теплоємність  $1 \text{ м}^3$   $CO_2$  при  $1400^\circ\text{C}$ .

Дані розрахунків теплопоглинальної здатності АУС та вище наведені припущення наводять на думку, що при гасінні різних класів пожеж (А, В, С) роль теплопоглинальної здатності АУС також має відігравати важливу роль. А саме, якщо розглянути флегматизування газоповітряних сумішей, то, як було вказано вище, очевидно, що флегматизувальна властивість суміші вогнегасного аерозолію із вмістом неорганічних солей калію – інгібіторів горіння та інертних газів-розріджувачів буде достатньо високою.

## 2.4. Висновки за розділом

Наведені у розділі результати досліджень дали підставу зробити такі висновки:

- розроблено лабораторну методику з визначення флегматизувальної здатності газових горючих середовищ газовими вогнегасними речовинами, вогнегасними аерозолями та їх сумішами, методом «камери» суть якої полягає у виявленні концентрації окремих досліджуваних вогнегасних речовин та їх сумішей, за якої не відбувається вибуху або займання гексаноповітряного газового горючого середовища у випробувальній камері розміром (2,05 × 2,05 × 2,80) дм, об'ємом 11,7 дм<sup>3</sup> гексану у разі іскрового розряду, як джерела запалювання;
- розроблено лабораторну методику з визначення флегматизувальної здатності газових горючих середовищ газовими вогнегасними речовинами, вогнегасними аерозолями та їх сумішами, методом «циліндра», суть якої полягає у фотофіксуванні та розкадруванні швидкісною камерою горіння або його відсутності в циліндрі об'ємом 0,5 л;
- розроблено методику натурних полігонних випробувань з визначення ефективності припинення горіння модельних і макетних вогнищ та флегматизування газового горючого середовища вогнегасним аерозолем, а також за одночасного комбінованого подавання вогнегасного аерозолю та діоксиду карбону, сутність якої полягає у візуальному фіксуванні припинення горіння модельних і макетних вогнищ, а також відсутності їх займання від примусового підпалу після припинення горіння, тобто флегматизуванні газового горючого середовища протягом 15 хв внаслідок подавання вогнегасного аерозолю, згенерованого з АУС «Багр» або комбінованого одночасного подавання такого аерозолю і діоксиду карбону, у випробувальному приміщенні розміром (6,0×4,0×2,7) м, об'ємом 65 м<sup>3</sup> з негерметичністю не більше 0,5 %;

- із застосуванням методики математичного планування повнофакторного експерименту за результатами проведених теоретичних досліджень з визначення впливу співвідношень компонентів в сумішах вогнегасного аерозолю та вогнегасних речовин-розріджувачів на їх флегматизувальну здатність виявлено, зокрема, що рівняння регресії для даного повного факторного експерименту виглядає таким чином:

$$Y = 4 - 0,5x_1 - 1,25x_2 - 2,25x_3 + 0,5x_2x_3. \quad (2.62)$$

де

$X_1$  – концентрація АУС (Багр);

$X_2$  – концентрація азоту;

$X_3$  – концентрація діоксиду карбону.

Так, як  $F_{расч} \leq F_{табл}$ , то модель адекватна, тобто вона придатна для опису реального об'єкта дослідження, таким чином флегматизувальна ефективність суміші вогнегасного аерозолю та  $CO_2$  повинна бути найвищою за значенням фактору концентрації  $CO_2$  ( $x_3 = 2,25$ ). Менша флегматизувальна ефективність буде притаманна суміші вогнегасного аерозолю та азоту ( $x_2 = 1,25$ ), а також суміші вогнегасного аерозолю з азотом і діоксидом карбону ( $x_1 = 0,5$ );

- за результатами проведених теоретичних розрахунків виявлено, що флегматизувальна властивість суміші вогнегасного аерозолю із вмістом неорганічних солей калію – інгібіторів горіння та інертних газів - розріджувачів повинна бути вищою ніж флегматизувальна здатність окремих компонентів суміші;

- розрахунковим шляхом встановлено, що вогнегасний аерозоль утворений при згорянні аерозольотворювальної сполуки на основі сахарози, ідітолу та лактози за умови створення гідратованих частинок володіє високою теплоємністю, яка є більшою від теплоємності  $CO_2$  до 2 разів, а для азоту до 3-х разів. Розрахована теплопоглинаюча здатність на 1 м<sup>3</sup> аерозолю становить в середньому від 4068 кДж/м<sup>3</sup> до 14487 кДж/м<sup>3</sup> за

умови створення гідратованих частинок. Визначено принципи флегматизації газоаерозольними сумішами, які полягають у поетапному процесі, який складається з горіння аерозольутворювального складу, утворення аерозолі та подальшого добавляння інертних газів до аерозолі призведе до підвищення його теплоємності, а отже і флегматизувальної здатності.

- результати досліджень висвітлено у роботах [59, 70].

### РОЗДІЛ 3

## ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ З ВИЯВЛЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ ФЛЕГМАТИЗУВАЛЬНОЇ ЗДАТНОСТІ ВІД СПІВВІДНОШЕННЯ КОНЦЕНТРАЦІЙ ВОГНЕГАСНИХ АЕРОЗОЛІВ ТА ГАЗОВИХ ВОГНЕГАСНИХ РЕЧОВИН-РОЗРІДЖУВАЧІВ У ЇХНІХ БІНАРНИХ СУМІШАХ

### 3.1. Експериментальні дослідження з виявлення впливу співвідношень концентрацій бінарних сумішей вогнегасних аерозолів та газових вогнегасних речовин на ефективність процесів флегматизування газових горючих середовищ методом «камери»

За розробленою методикою, яку наведено у підрозділі 2.1, проведено експериментальні дослідження з виявлення залежності вогнегасної та флегматизувальної здатності від співвідношення концентрацій вогнегасних аерозолів та газових вогнегасних речовин-розріджувачів у їхніх бінарних сумішах. Спочатку було встановлено, що вогнегасні концентрації АУС БАГР та АГС, а також діоксиду карбону, азоту та сумішей діоксиду карбону і азоту у співвідношенні 50 на 50 % об., за яких забезпечується припинення горіння гексаноповітряної суміші у камері зазначеної вище випробувальної установки, мають значення 19,5 г/м<sup>3</sup>; 17,5 г/м<sup>3</sup>, 36,0 % об. та 39,5 % об. відповідно. Усереднені результати цих експериментальних досліджень наведено в табл. 3.1.

Результати експериментальних досліджень з виявлення залежності флегматизувальної здатності від співвідношення концентрацій вогнегасних аерозолів та газових вогнегасних речовин-розріджувачів у їхніх бінарних сумішах і графіки виявлених залежностей наведено у табл. 3.2, а також на рис. 3.1-3.3.

Таблиця 3.1

Усереднені результати експериментальних досліджень з визначення концентрацій досліджуваних вогнегасних речовин, за яких відбувається припинення горіння гексаноповітряного горючого середовища методом «камери»

Вид вогнегасної речовини	Концентрація вогнегасної речовини, г/м <sup>3</sup> , (% об.)	Результат гасіння
БАГР	18,5	Не погашено
	19,0	Не погашено
	19,5	Горіння припинено
АГС	16,0	Не погашено
	17,0	Не погашено
	17,5	Горіння припинено
СО <sub>2</sub>	(32,0)	Не погашено
	(34,0)	Не погашено
	705,3 (36,0)	Горіння припинено
Суміш СО <sub>2</sub> та N <sub>2</sub> у співвідношенні 50 % на 50 % об.	(36,0)	Не погашено
	(38,0)	Не погашено
	655,7 (39,5)	Горіння припинено

Як це видно з таблиці 3.1, припинення горіння газового гексаноповітряного горючого середовища у випробувальній камері та його флегматизування досягнуті за значення концентрації вогнегасного аерозолю, згенерованого з АУС АГС 49,0 г/м<sup>3</sup>, а також за значення концентрації вогнегасного аерозолю, згенерованого з АУС «Багр» 52,0 г/м<sup>3</sup>

Таблиця 3.2

Усереднені результати експериментальних досліджень з визначення флегматизувальної здатності АУС БАГР та АГС методом «камери»

Вид вогнегасної речовини	Концентрації вогнегасного аерозолю, г/м <sup>3</sup>	Наявність горіння горючого середовища протягом фіксованої тривалості з моменту його підпалювання, с				
		≤2,0	<2,0≤3,0	<3≤5,0	120,0	900,0
1	2	3	4	5	6	7
Багр	19,5	+	+	+	+	+
АГС	19,5	+	+	+	+	+
Багр	33,0	+	+	+	+	+
АГС	33,0	+	+	+	+	+
Багр	35,0	+	+	+	+	+
АГС	35,0	+	+	+	+	+
Багр	37,0	+	+	+	+	+
АГС	37,0	+	+	+	+	+
Багр	43,0	+	+	+	+	+
АГС	43,0	+	займання з поширенням полум'я на весь об'єм	+	+	+
Багр	47,5	+	+	+	+	+
АГС	47,5	+	+	+	+	+
Багр	49,0	+	займання з поширенням полум'я на весь об'єм	+	+	+
АГС	49,0	Займання та поширення полум'я відсутнє. Відбувся процес флегматизування газового горючого середовища				
Багр	52,0					

На рисунку 3.1 наведено графік залежності змінення флегматизувальної концентрації гексаноповітряного горючого середовища



від співвідношення вмісту вогнегасного аерозолу, згенерованого з АУС БАГР, та діоксиду карбону за сумісного комбінованого їх подавання у випробувальну камеру.

На графіку показано криву залежності за експериментальними даними для бінарної суміші вогнегасного аерозолу із вмістом неорганічних солей калію-інгібіторів горіння, згенерованого з АУС БАГР, та діоксиду карбону, пунктиром - пряму залежності (теоретичну) у разі адитивності.

Як це видно з рисунка 3.1 експериментальні значення вогнегасних концентрацій бінарних сумішей вогнегасного аерозолу, згенерованого з АУС БАГР, та діоксиду карбону розташовані нижче значень, які б відповідали точкам на пунктирній прямій у разі адитивності, тобто зафіксовано ефект синергізму для зазначених бінарних сумішей.

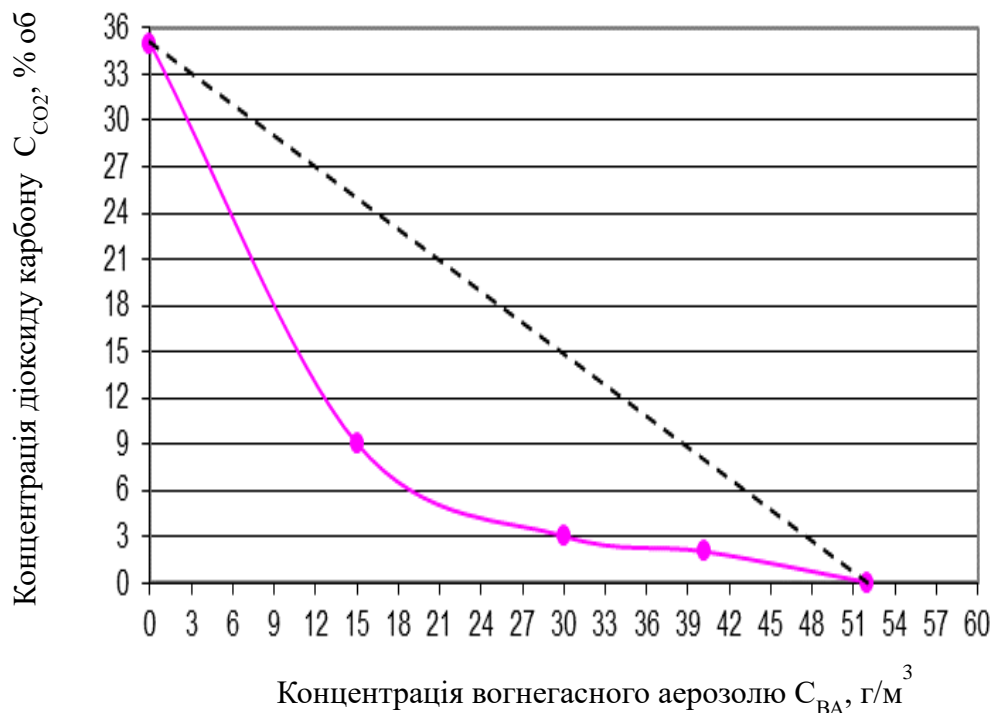


Рисунок 3.1 - Графік залежності змінення флегматизувальної концентрації гексаноповітряного горючого середовища від співвідношення вмісту вогнегасного аерозолу, згенерованого з АУС БАГР, та діоксиду карбону за сумісного комбінованого їх подавання у випробувальну камеру:

----- - теоретична залежність у разі адитивності;

————— - залежність за експериментальними даними.

**3.2. Експериментальні дослідження флегматизувальної ефективності вогнегасного аерозолу, згенерованого з АУС «Багр», та його суміші з  $\text{CO}_2$  та  $\text{N}_2$  за співвідношення  $50 \times 50$  %, об.**

На рисунку 3.2 наведено графік залежності зміни флегматизувальної концентрації гексаноповітряного горючого середовища від співвідношення вмісту вогнегасного аерозолу, згенерованого з АУС БАГР, та суміші діоксиду карбону з азотом у співвідношенні 50% на 50% об. за сумісного комбінованого їх подавання у випробувальну камеру (за результатами експериментальних даних).



Рисунок 3.2 - Графік залежності змінення флегматизувальної концентрації гексаноповітряного горючого середовища від співвідношення вмісту вогнегасного аерозолу, згенерованого з АУС БАГР, та суміші діоксиду карбону з азотом у співвідношенні 50% на 50% об. за сумісного комбінованого їх подавання у випробувальну камеру (за результатами експериментальних даних)

Як це видно з рисунка 3.2 флегматизування гексаноповітряного горючого середовища у разі комбінованого одночасного застосування вогнегасного аерозолу, згенерованого з АУС «Багр», та його суміші з  $\text{CO}_2$

та  $N_2$  за співвідношення  $50 \times 50$  %, об. забезпечується за таких концентрацій компонентів:  $CO_2$  - 3 %, об. +  $30 \text{ г/м}^3$  ВА;  $CO_2$  - 2 %, об. +  $40 \text{ г/м}^3$  ВА;  $CO_2$  - 9 %, об. +  $15 \text{ г/м}^3$  ВА.

### 3.3. Експериментальні дослідження визначення флегматизувальної ефективності газових горючих середовищ методом «циліндра» у лабораторних умовах

За методикою описаною у підрозділі 2.1.2 проведено визначення флегматизувальної ефективності газових горючих середовищ методом «циліндра» у лабораторних умовах.

Результати розкадрування швидкісної зйомки процесу поширення полум'я у разі флегматизування стехіометричного гексаноповітряного горючого середовища у циліндрі об'ємом 0,5 л наведено на рисунках 3.3-3.4.

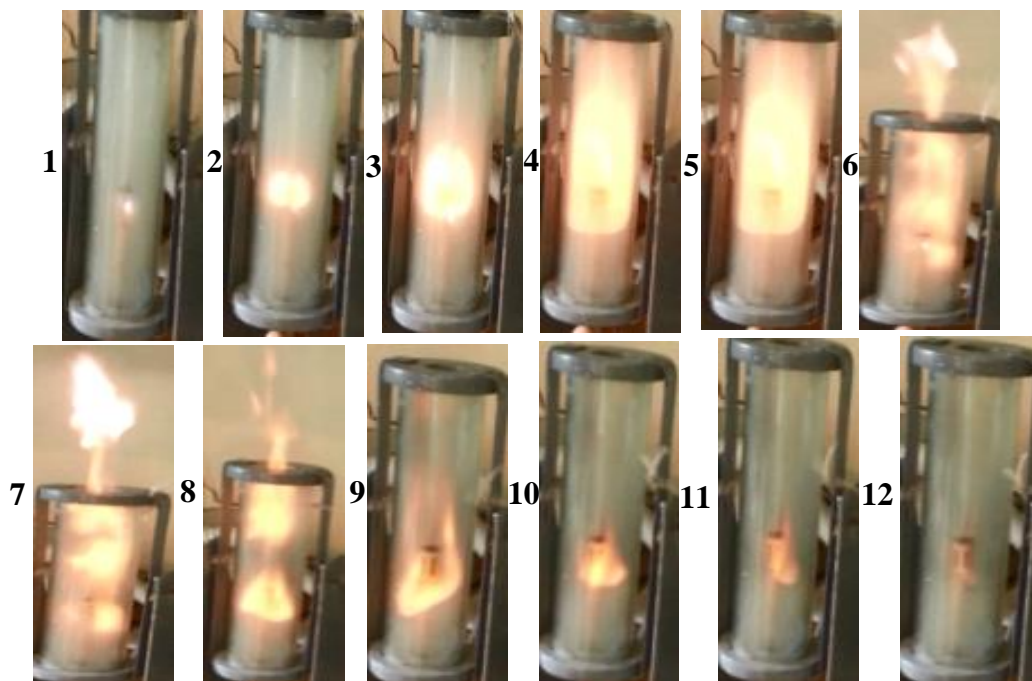


Рисунок 3.3 - Розкадрування процесу поширення полум'я у гексаноповітряному горючому середовищі у разі його флегматизування сумішшю вогнегасного аерозолу з концентрацією  $30 \text{ г/м}^3$ , згенерованого з АУС БАГР та діоксиду карбону з концентрацією 2 % об.



Рисунок 3.4 - Розкадрування процесу поширення полум'я у гексаноповітряному горючому середовищі у разі його флегматизування сумішшю вогнегасного аерозолу з концентрацією  $30 \text{ г/м}^3$ , згенерованого з АУС БАГР та діоксиду карбону з концентрацією 3 % об.

Як видно з рисунку 3.3 на кадрах 1-12 зафіксовано виникнення займання та розповсюдження полум'я по гексаноповітряній суміші в об'ємі циліндра, а на рисунку 3.4 на відміну від попередніх, представлено фотофіксацію відсутності виникнення займання та поширення полум'я у гексаноповітряному горючому середовищі у разі введення в нього вогнегасного аерозолу з концентрацією  $30 \text{ г/м}^3$  та діоксиду карбону з концентрацією 3 % об., тобто забезпечено його флегматизування протягом 900 с.

#### 3.4. Висновки за розділом

- припинення горіння газового гексаноповітряного горючого середовища та його флегматизування протягом 15 хвилин у випробувальній камері об'ємом  $11,7 \text{ дм}^3$  досягається за значень для вогнегасного аерозолу, згенерованого з АУС АГС  $49,0 \text{ г/м}^3$ , а для вогнегасного аерозолу, згенерованого з АУС «Багр»  $52,0 \text{ г/м}^3$ ;
- уперше виявлено ефект неадитивності, а саме синергізму у разі одночасного комбінованого застосування бінарних сумішей вогнегасних аерозолів із вмістом неорганічних солей калію та газових вогнегасних

речовин-розріджувачів (діоксид карбону або азот), який проявляється у зниженні значень флегматизувальної концентрації газових горючих середовищ від 1,25 до 3,5 разів, порівняно з концентрацією вогнегасних аерозолів, та більше ніж на порядок, порівняно з флегматизувальною концентрацією газової вогнегасної речовини-розріджувача;

- флегматизування гексаноповітряного горючого середовища у разі комбінованого одночасного застосування вогнегасного аерозолу, згенерованого з АУС «Багр», та його суміші з  $\text{CO}_2$  та  $\text{N}_2$  за співвідношення 50×50 %, об. забезпечується за таких концентрацій компонентів:  $\text{CO}_2$  - 3 %, об. + 30 г/м<sup>3</sup> ВА;  $\text{CO}_2$  – 2 %, об. + 40 г/м<sup>3</sup> ВА;  $\text{CO}_2$  – 9 %, об. + 15 г/м<sup>3</sup> ВА;

- флегматизування гексаноповітряного горючого середовища під час проведення випробувань методом «циліндра» досягається за значень концентрації 30 г/м<sup>3</sup> вогнегасного аерозолу, згенерованого з АУС «Багр» та діоксиду карбону з концентрацією 3 % об., що збігається із значеннями, визначеними за методом «камери»;

- результати досліджень висвітлено у роботах [66, 67, 80].

## РОЗДІЛ 4

### ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

#### 4.1. Обґрунтування схемного рішення і параметрів технічного пристрою комбінованого подавання вогнегасного аерозолю та діоксиду карбону

Газоаерозолеві суміші, як було теоретично обґрунтовано в 2-му розділі та експериментально підтверджено в 3-му розділі, на сьогодні є найефективнішими флегматизаторами з підтвердженими параметрами найоптимальнішого з них складу. Концентрація аерозолю становить  $30 \text{ г/м}^3$  а  $\text{CO}_2$  - 3%. Досягнення високої флегматизаційної ефективності потребує особливих технічних рішень та умов використання газоаерозольної суміші.

Використання газоаерозолевої суміші пов'язане з обмеженням форсу полум'я при утворенні аерозолю. Ця проблема вирішується ізоляцією форсу від атмосфери та підмішуванням в нього інертного газу  $\text{CO}_2$  через дифузор, що забезпечує додаткове охолодження газоаерозольної суміші. Впровадження цього рішення повинно привести до ефективного використання флегматизаційної здатності газоаерозольної суміші.

Час заповнення газоаерозольною сумішшю об'єму дорівнює близько 30 секунд причому флегматизація горючої системи забезпечується вже з перших секунд і у міру заповнення аерозолем спостерігатиметься тільки підвищення флегматизаційної ефективності газоаерозольної суміші.

Набуття газоаерозольною сумішшю максимальних флегматизаційних властивостей буде відбуватись лише за умови коли газоаерозольна суміш буде максимально перемішана, а гази рівномірно розподілені в ній. Це забезпечить утворення «ефективних» частинок які чинитимуть флегматизаційну дію. З іншої сторони, подача інертного газу в

зону догорання буде вносити певні негативні моменти, а саме недогорання суміші призведе до утворення проміжних форм частинок аерозолу – ( $\text{CO}$ ,  $\text{C}$ ,  $\text{C}_n\text{H}_m$  і т.д.) Насправді це може спричинити зменшення флегматизаційної ефективності, до того ж, до складу аерозолів, які зазнають додаткового охолодження, можуть входити токсичні продукти, які утворюються при неповному згорянні, а їх вогнегасна концентрація значно підвищується. Майже те ж саме стосується і процесу гасіння пожежі в негерметичному об'ємі, де на процес гасіння впливають такі фактори, як тип палива, ступінь негерметичності приміщення, площі відкритих прорізів в захищуваному об'ємі.

Оптимальним варіантом застосування газоаерозольної суміші для горючих систем є момент до виникнення горіння та за відсутності турболізації середовища. Збільшення часу подачі газоаерозольної суміші робить проблематичним флегматизацію великих об'ємів в умовах негерметичності, коли велика кількість аерозолу встигає витекти назовні через нещільності. Якщо пожежа можлива в гетерогенному режимі, то після припинення полум'яного горіння можливе її відновлення через тління. Такі умови гасіння аерозолем можна вважати за несприятливі.

З урахуванням результатів досліджень було запропоновано технічний пристрій, основними елементами якого є 2 генератори вогнегасного аерозолу (ГВА) масою 1 кг кожного та балон з діоксидом карбону ємністю 5 л, вузла(и) запуску-ініціатора (електро, термо або комбінованого пристрою). Геометричні параметри запропонованого пристрою: довжина 40 см, ширина 12 см, висота 35 см. Загальна маса пристрою у спорядженому стані не перевищує 12 кг. Середня тривалість подавання вогнегасного аерозолу та діоксиду карбону становить  $58 \pm 2$  с, температура поверхні його корпусу при спрацюванні не перевищує  $78^\circ\text{C}$ . Пристрій розраховано на забезпечення припинення горіння та флегматизування газового горючого середовища протягом не менше 15 хвилин.

Схемне рішення пристрою комбінованого подавання вогнегасного аерозолю та діоксиду карбону наведено на рисунку 4.1.

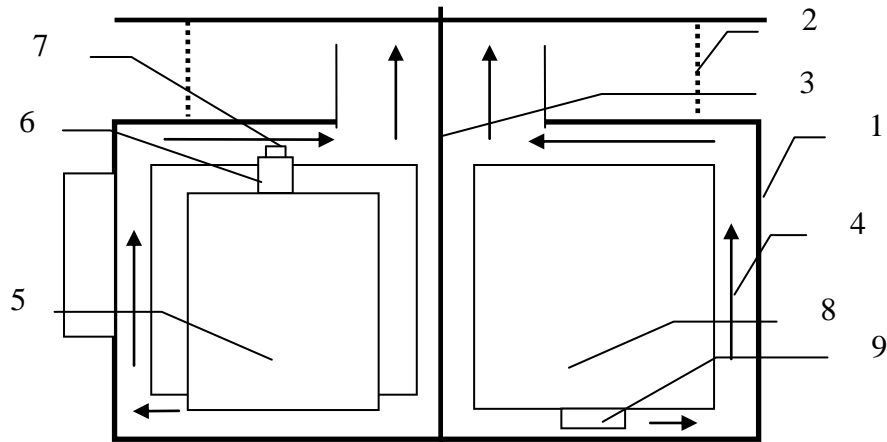


Рисунок 4.1 - Схемне зображення пристрою одночасного комбінованого подавання вогнегасного аерозолю та діоксиду карбону в захищений об'єм: 1 – корпус пристрою; 2 – отвори виходу аерозолю; 3 – болти кріплення; 4 – міжстінний простір; 5 – корпус заряду АУС; 6 – електричне джерело запалювання; 7 – контактний термошнур; 8 – посудина з CO<sub>2</sub>; 9 – пусковий пристрій

## **4.2. Розроблення технічного регламенту на виготовлення технічного пристрою комбінованого подавання вогнегасного аерозолю та діоксиду карбону**

### **Загальні положення**

Пристрій одночасного подавання вогнегасного аерозолю та діоксиду карбону представляє з себе виріб, що складається з двох генераторів вогнегасного аерозолю та одного балона з CO<sub>2</sub> ємністю 5 л та таких функціональних частин: корпусу пристрою; отворів виходу аерозолю; болтів кріплення; міжстінного простору; корпус заряду АУС; електричного джерела запалювання; контактного термошнура, а також пускового пристрою. Для виготовлення пристрою використовується металевий корпус, що виготовляється вітчизняною промисловістю.



### **Вхідний контроль**

За необхідності всі компоненти перевіряють на відповідність сертифікатам якості у спеціалізованих лабораторіях (за договором). Періодичні перевірки залежать від терміну зберігання, але не рідше 1 разу на рік.

### **Вимоги безпеки праці та охорони навколишнього природного середовища**

#### **Пожежна безпека**

Аерозольотворювальні сполуки повинні бути пожежо- і вибухобезпечними за ГОСТ 12.1.044.

Роботи з приготування аерозольотворювальної сполуки та збирання пристрою повинні проводитись відповідно до «Правил пожежної безпеки в Україні», зареєстрованих в Міністерстві юстиції України 4.07.95 р. №219/755.

Виробництво пристрою повинно відповідати «Правилам безпеки во взрывоопасных и взрывопожарных химических и нефтехимических производствах».

Виробничі і складські приміщення, устаткування і технологічні процеси повинні відповідати вимогам ГОСТ 12.1.004, ГОСТ 12.1.019, ГОСТ 12.3.002, ДСТУ 3273, а також «Правилам пожежної безпеки в Україні», зареєстрованим в Міністерстві юстиції України 14.07.95 р. № 219/755. Приміщення має бути обладнане згідно з «Правилами пожежної безпеки в Україні», зареєстрованими в Міністерстві юстиції України 14.07.95 р. № 219/755, засобами гасіння пожежі: піском, кошмою, вогнегасниками пінними й вуглекислотними за ГОСТ 4.132. Категорія вибухонебезпечності визначається за СНиП 2.09-02.89.

### **Токсикологія і заходи безпеки працюючих**

Аерозольутворювальна речовина відноситься до малотоксичних сумішей, III класу небезпеки за СТ 12.1.007 відповідно до токсикологічного паспорта. Метод контролю – МУ 3935 «Контроль содержания вредных веществ в воздухе рабочей зоны».

При недотриманні вимог індивідуального захисту і потраплянні в організм у великих дозах аерозольні вогнегасні речовини (АВР) чинять загальнотоксичний вплив, можливі прояви алергійного характеру.

Технологічне устаткування повинно відповідати вимогам СП 1042, ДСанПіН. 2.2.7.029, ДСН 3.3.6.037, ДСН 3.3.6.042, ГОСТ 12.2.003, ГОСТ 12.3.002. Приміщення, в яких передбачено застосування ГВА, повинно бути обладнане припливно-витяжною вентиляцією і місцевою вентиляцією за ГОСТ 12.4.021, СНиП 11.4.05, освітленням за СНиП 11-4-79 та забезпечено питною водою.

Устаткування, комунікації і резервуари повинні бути заземлені від статичної електрики, згідно з вимогами ГОСТ 12.1.019 і СНиП 11-А-Э-71(ПУЭ). До самостійної роботи з хімічними речовинами допускаються особи не молодші за 18 років, що пройшли медичний огляд та інструктаж з техніки безпеки. Проведення періодичних медичних оглядів здійснюється відповідно до наказу № 45 МОЗ України.

Під час приготування композицій необхідно працювати в спецодязі, за ГОСТ 12.4.131 і ГОСТ 12.4.132, та гумових рукавичках, за ГОСТ 20010. Органи дихання та зору повинні бути захищені респіратором типу «Лепесток» або «УК-2» за ГОСТ 12.4.028, ГОСТ 12.4.013, а також окулярами.

Особи з підвищеною чутливістю та такі, що схильні до алергійних захворювань, до роботи з АУС не допускаються.

В аварійних ситуаціях захист органів дихання здійснюється із застосуванням протигазів КВ, КД – ГОСТ 12.4.121.

Не допускається контакт АУС зі шкірою і слизовими оболонками. У разі потрапляння ВА на шкіру його необхідно змити великою кількістю проточної води, а потім видалити з поверхні шкіри спочатку за допомогою м'яких серветок, змочених в етиловому спирті, потім обробити твердими щітками гарячою водою з милом. Після видалення ВА на шкіру необхідно нанести мазь на основі ланоліну або вазеліну.

### **Охорона природи**

Метрологічні параметри повітря у виробничих приміщеннях повинні відповідати вимогам ГОСТ 12.1.005.

ГДК шкідливих речовин, що виділяються у повітря робочої зони, не повинні перевищувати норм, зазначених у ГОСТ 12.1.005. Періодичність контролю, відповідно до ГОСТ 12.1.005 і МУ № 3936-85 - один раз у квартал. Метод контролю за МУ № 3210.

Для захисту атмосферного повітря від забруднень шкідливими речовинами потрібно вживати заходів, відповідно до вимог ГОСТ 7.2.3.02, СН 245-71.

### **Виготовлення та пакування пристрою одночасного подавання вогнегасного аерозолю та діоксиду карбону**

Виготовлення пристрою одночасного подавання вогнегасного аерозолю та діоксиду карбону здійснюється відповідно до схемного зображення (рис. 4.1).

Аерозольутворювальна сполука виготовляється за рецептурою, наведеною в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1

## Рецептура аерозольоутворювальної сполуки АУС

Найменування компонентів	Вміст компонентів, % мас.
1	2
Нітрат калію	57,0
Перхлорат калію	9,5
Диціандіамід	5,0
Сахароза	28,5

На виробництві готові пристрої комплектуються наліпками та пакуються у картонні коробки, на які наклеєно етикетку з такими даними:

- найменування підприємства - виробника, його адреса та товарний знак;
- найменування продукції;
- позначення дійсних технічних умов;
- маса нетто;
- дата виготовлення;
- номер партії;
- національний знак відповідності за ДСТУ 2296 (при сертифікації).

**Метрологічне забезпечення виробництва**

Технологічні показники, що вимірюються.

Витрата води та сипучих матеріалів визначається за допомогою ваг електронних (СВП -50-5).

### **Транспортування і зберігання**

Транспортування пристроїв здійснюється усіма видами транспорту відповідно до правил перевезення вантажів, що діють на даному виді транспорту, в умовах, що забезпечують упаковку від ушкоджень.

Пристрої повинні зберігатись в закритих, сухих, провітрюваних приміщеннях, що захищені від атмосферних опадів, за температури від 5 °С до 50 °С і вологості не більше 85 %, відповідно до «Правил пожежної безпеки в Україні», зареєстрованих в Міністерстві юстиції України 14.07.95 р. № 219/755.

### **Гарантії виробника**

Виробник гарантує відповідність виготовленої продукції даним технічним умовам.

Гарантійний термін зберігання виготовленої продукції, за умов дотримання транспортування та зберігання, становить не менше 5 років від дати виготовлення.

## **4.3. Розробка проекту технічних умов пристрою комбінованого подавання вогнегасного аерозолю та діоксиду карбону**

### **Загальні положення**

Ці технічні вимоги поширюються на пристрій одночасного подавання вогнегасного аерозолю на основі аерозольотворювальної сполуки «Багр-1» та діоксиду карбону та містять рекомендації щодо його застосування в автоматичних системах протипожежного захисту об'єктів з можливістю виникнення вибухів та пожеж класів А, В та С, а також електрообладнання. Далі за текстом - пристрій.

Пристрій складається з генератора аерозольотворювальної сполуки та посудини з діоксидом карбону. Аерозольотворювальна сполука використовується для отримання вогнегасного аерозолю шляхом

спалювання АУС у спеціальному пристрої – генераторі вогнегасного аерозолю.

Споживачами пристрою є організації, що здійснюють проектування, монтування та технічне обслуговування автоматичних систем пожежогасіння та мають ліцензію Державного департаменту пожежної безпеки ДСНС України.

Дані технічні умови регламентують вимоги до пристрою, який виготовляється для потреб народного господарства та поставок на експорт. Технічну та супровідну документацію на пристрій, що виготовляється на експорт, потрібно складати відповідно до вимог «Положення про порядок складання, оформлення і розсилання технічної та супровідної документації на товари, що поставляються на експорт».

Приклад запису при замовленні і в технічній документації: «Пристрій одночасного подавання вогнегасного аерозолю на основі аерозольотворювальної сполуки «Багр-1» та діоксиду карбону».

Дані технічні умови придатні для сертифікації за вимогами Державної системи сертифікації УкрСЕПРО.

### **Нормативні посилання**

У цьому стандарті є посилання на такі нормативні документи:

- ДСТУ 2273 Пожежна техніка. Терміни та визначення.
- ДСТУ 2296-93 Система сертифікації УкрСЕПРО. Знак відповідності. Форма, розміри, технічні вимоги та правила застосування.
- ДСТУ 2708-99 Метрологія. Повірка засобів вимірювальної техніки. Організація та порядок проведення.
- ДСТУ 2860-94 Надійність техніки. Терміни та визначення.
- ДСТУ 3004-95 Надійність техніки. Методи оцінки показників надійності за експериментальними даними.

- ГОСТ 16504-81 Система государственных испытаний продукции. Испытания и контроль качества продукции. Основные термины и определения. ГОСТ 19433-88 Грузы опасные. Классификация и маркировка.

### **Технічні вимоги**

Пристрій одночасного подавання вогнегасного аерозолю на основі аерозольотворювальної сполуки «Багр-1» та діоксиду карбону повинен виготовлятися згідно з вимогами цих технічних умов за рецептурою та технологічним регламентом, узгодженим у встановленому порядку. Корпус пристрою виготовляється з металеві або полімерної оболонки з внутрішньою картонною оболонкою з аерозольотворювальною сполукою. з металу або полімерного матеріалу

Для виготовлення аерозольотворювальної сполуки використовують такі матеріали: калію нітрат за ГОСТ 4217-77, калію перхлорат за ТУ 6-09-3801-76, диціандіамід за ГОСТ 6988-73, сахароза за ГОСТ 5833-75 та деревне борошно.

Дозволяється використовувати аналогічні за характеристиками речовини та матеріали, згідно з чинною нормативною документацією, або закордонного виробництва – за наявності санітарно-епідеміологічного висновку МОЗ України.

Пакування. Виготовлена продукція, яка повинна відповідати технічним вимогам, наведеним у таблиці 4.2, пакується в картонні ящики по 6 шт., згідно з ГОСТ 5799. Пакування готової продукції, що поставляється на експорт, повинно відповідати «Єдиному технічному руководству «Упаковка грузов для экспорта».

Таблиця 4. 2

Експлуатаційні характеристики пристрою комбінованого подавання  
вогнегасного аерозолю та діоксиду карбону

Найменування показника та одиниця вимірювання	Норма	Метод аналізу
1	2	3
1. Зовнішній вигляд готового виробу (пристрою)	Аерозольоутворювальна сполука – однорідна тверда маса від сірого до білого кольору без грудок та включень іншого кольору	Візуально
2. Відносна вологість сполуки	Сполука має мати відносну вологість більше 2%	Метод випарювання
3. Міцність сполуки	Сполука має зберігати монолітні первинні розміри, не розсипатись та не кришитись	Візуально
4. Зовнішній вигляд пристрою після випробовування	Корпус пристрою має бути цілісним без скрізних прогарів, допускається обвуглення корпусу в місцях виходу аерозолю	Візуально



## **Маркування**

Кожен пристрій одночасного подавання вогнегасного аерозолю на основі аерозольотворювальної сполуки «Багр-1» та діоксиду карбону маркується з позначеннями, що містять:

- позначення ГВА (згідно з ДСТУ 4442:2005 Пожежна техніка. Установки аерозольного пожежогасіння. Пристрій одночасного подавання вогнегасного аерозолю на основі аерозольотворювальної сполуки «Багр-1» та діоксиду карбону. Загальні технічні вимоги та методи випробування.);

- об'єм приміщення, у якому пристрій одночасного подавання вогнегасного аерозолю на основі аерозольотворювальної сполуки «Багр-1» та діоксиду карбону забезпечує вогнегасну здатність;

- дату виготовлення;

- номер партії;

- номер ТУ, відповідно до якого виготовлено ГВА;

- знак відповідності, згідно з ДСТУ 2296, про підтвердження факту сертифікації продукції.

Транспортне маркування – згідно з ГОСТ 14192.

Маркування повинно здійснюватись українською мовою.

Комплектність. Пристрій одночасного подавання вогнегасного аерозолю на основі аерозольотворювальної сполуки «Багр-1» та діоксиду карбону може поставлятись партіями.

## **Вимоги безпеки та охорони навколишнього середовища**

Аерозольотворювальна сполука Багр є горючою та вибухонебезпечною.

Перелік компонентів, які входять до АУС, нормативно-технічна документація, згідно з якою вони випускаються та поставляються, ГДК, клас їх небезпечності, згідно з ГОСТ 12.1.005, токсикологічні характеристики компонентів АУС БАГР-1(АГС) наведено у таблиці 4.3.

Таблиця 4.3

## Токсикологічні характеристики компонентів АУС БАГР-1(АГС)

Найменування компонента	Хімічна формула	Гранично допустима ГДК, мг*м <sup>-3</sup>	Клас небезпеки за ГОСТ 12.1.007
1	2	3	4
Калію нітрат (ГОСТ 4217 - 77)	KNO <sub>3</sub>	5,0	III
Калію перхлорат (ТУ6-09-3801)	KClO <sub>4</sub>	5,0	III
Диціандіамід ГОСТ 6988-73	NH <sub>2</sub> C(=NH)NH CN	2,5	II
Сахароза ГОСТ 5833-75	C <sub>12</sub> H <sub>24</sub> O <sub>12</sub>	15,0	IV

Загальні вимоги безпеки при використанні пристрою повинні відповідати ГОСТ 12.1.005, ДСН 3.3.042. При спрацюванні пристрою приміщення заповнюється аерозолем, який складається з твердої фази – калію карбонату, калію гідрокарбонату, калію хлориду газової фази – в основному вуглекислого газу (CO<sub>2</sub>). Клас їх небезпечності та особливості дії на організм, згідно з ГОСТ 12.1.005, наведені в таблиці 4.4.

Таблиця 4.4

## Клас небезпечності та особливості дії на організм компонентів аерозолю

Найменування компонента	Хімічна формула	ГДК мг*м <sup>-3</sup>	Клас небезпеки	Особливості дії на організм
1	2	3	4	5

Продовження табл. 4.4

1	2	3	4	5
Калію карбонат	$K_2CO_3$	2	III	Подразлива дія на слизові оболонки
Калію гідрокарбонат	$KHCO_3$	2	III	Сильно подразлива дія на слизові оболонки, руйнування верхнього епітеліального шару
Калію хлорид	KCl	2,5	III	Подразлива дія на слизові оболонки
Водяна пара	$H_2O$ (пара)	не визначено	IV	
Вуглекислий газ	$CO_2$	не визначено	IV	

Приміщення, де монтують пристрої, мають бути обладнані припливно-витяжною вентиляцією за ГОСТ 12.4.021. Стіни, підлоги і стелі в приміщенні повинні бути зручними для вологого прибирання.

Організація технологічного процесу виготовлення пристрою.

Приміщення, де виготовляється аерозольутворювальна сполука, має бути окремим або відгородженим стіною з межею вогнестійкості не менше 2 год, згідно з ГОСТ.

Загальна маса компонентів для виготовлення аерозольоутворювальної сполуки приміщенні повинна бути не більше як для виготовлення партії аерозольоутворювальної сполуки.

Приміщення, де виготовляється аерозольоутворювальна сполука, повинно бути забезпеченим питною водою за ГОСТ 2874.

До роботи з аерозольоутворювальною сполукою допускаються особи, що пройшли попередній медогляд, навчання безпечним методам роботи, правилам поведінки з засобами індивідуального захисту і інструктаж з безпеки праці з відповідним оформленням, згідно з ГОСТ 12.0.004.

Особи, які працюють з аерозольоутворювальною сполукою, повинні забезпечуватись засобами індивідуального захисту: респіраторами за ГОСТ 12.4.034 (респіратор ШБ-1 «Лепесток»– за ГОСТ 12.4. 028 або інші протиаерозольні респіратори), захисними окулярами – за ГОСТ 12.4.013, рукавицями за ГОСТ 12.4.103, спецодягом та спецвзуттям, згідно з «Типовими отраслевими нормами видачі безплатной спецодежды, обуви и других средств индивидуальной защиты рабочих и служащих химических производств», що затвержені Держкомітетом з праці і соціальних питань та ВЦСП, а також дотримуватись правил особистої гігієни.

При потраплянні сполуки, яка знаходиться в гарячому стані, на поверхню шкіри чи в очі, необхідно терміново промити місце ураження проточною водою, в очі закапати альбуцид.

Виробництво аерозольоутворювальної сполуки є безвідходним. Стічні води, тверді та рідкі відходи у виробництві відсутні.

### **Правила приймання**

Аерозольоутворювальна сполука приймається партіями. Партією вважається кількість продукції, вироблена за один технологічний цикл та однорідна за своїми показниками якості.

Партія пристроїв повинна супроводжуватись документом, що містить такі дані:

- найменування підприємства-виробника, його товарний знак та адресу;
- найменування сполуки;
- номер партії;
- масу нетто;
- позначення технічних умов;
- штамп ВТК;
- національний знак відповідності за ГОСТ 2296;
- результати випробувань;
- гарантійний термін зберігання.

Вхідний контроль здійснюють за ГОСТ 24297.

Аерозольутворювальна сполука підлягає приймально-здавальним, періодичним і сертифікаційним випробуванням.

Приймально-здавальні випробовування сполуки проводяться виробником на відповідність вимогам технічних умов, контроль упаковки, маркування та комплектності.

Періодичні випробовування проводять на відповідність сполуки вимогам даних технічних умов.

Періодичні випробовування проводять один раз на рік. Періодичним випробовуванням підлягають сполуки, що пройшли приймально-здавальні випробовування.

При одержанні незадовільних результатів, проводять повторний аналіз на подвоєній вибірці. Результати повторної перевірки розповсюджуються на всю партію і є остаточними. В разі одержання незадовільних результатів партія бракується.

Результати приймально-здавальних випробувань відображають в документі, який супроводжує партію продукції.

Сертифікаційні випробовування проводять згідно з ДСТУ 4442:2005.

Вимоги безпеки контролюються у процесі підготовки та освоєння виробництва і органами Держнагляду.

### **Методи контролю**

Для перевірки якості пристроїв на відповідність вимогам даних ТУ із партії відбирають три пристрої та проводять випробовування на відповідність показникам.

Контроль зовнішнього вигляду проводиться згідно з ДСТУ 4442:2005.

Визначення відповідності розмірам проводяться згідно з ДСТУ 4442:2005.

Визначення відповідності маси АУС та маси пристрою зазначеним параметрам проводяться у відповідності до ДСТУ 4442:2005.

Вогнегасну концентрацію аерозолю визначають згідно з ДСТУ 4442:2005.

Зовнішній вигляд пристрою після випробовування повинен відповідати вимогам ДСТУ 4442:2005.

Контроль комплектності пакування та маркування здійснюють візуально.

Зовнішній вигляд пристрою контролюють візуально.

### **Транспортування та зберігання**

Готові пристрої транспортуються партіями.

Упаковані пристрої транспортують згідно з НД на них залізничним транспортом в критих вагонах або універсальних контейнерах, а також будь-яким видом транспорту в критих транспортних засобах при температурі від 5 до 50°C згідно з «Єдиними правилами перевезення вантажів».

При транспортуванні та тривалому зберіганні повинні бути забезпечені умови, які запобігають пошкодженню упаковки.

Упаковані пристрої у одержувача повинні зберігатись в зачинених сухих провітрюваних приміщеннях, що захищені від атмосферних опадів, в умовах, що забезпечують цілісність упаковки, при температурі від 5 до 50°C і відносній вологості не більше 95%.

### **Вказівки щодо експлуатації**

Пристрої застосовуються згідно з рекомендаціями щодо їх застосування в приміщеннях, для гасіння пожежі, вказаних в супроводжувальній документації, яка додається до кожної одиниці пристрою.

Рекомендації щодо застосування технічних пристроїв комбінованого подавання вогнегасного аерозолю та діоксиду карбону для флегматизування газових горючих середовищ в автоматичних системах пожежогасіння для протипожежного захисту об'єктів з можливістю виникнення вибухів та пожеж класів А, В та С, а також електрообладнання. Перелік об'єктів, на яких рекомендуються застосування пристрою комбінованого подавання вогнегасного аерозолю та діоксиду карбону, наведено у таблиці 4.5.

Таблиця 4.5

Перелік об'єктів, на яких рекомендується застосування пристрою комбінованого подавання вогнегасного аерозолю та діоксиду карбону

№ з/п	Перелік об'єктів
1	2

Продовження табл. 4.5

1	2
1	Ангари, гаражі, майстерні, трамвайні та тролейбусні депо, компресорні станції, насосні станції, машинні зали, електрощитові, цехи хімічних підприємств, склади, склади багатостелажні, об'єми технологічних апаратів.
2	В адміністративних будівлях – електрощитові, котельні, компресорні станції, підвали, горища.
3	Лікарні, медичні заклади, окремі медичні кабінети без перебування людей чи з обмеженим перебуванням людей.
4	В житлових будинках – підвали, горища, гаражі, котельні, бойлерні, технічні приміщення.
5	В культурно-глядацьких закладах, зокрема, театрах, кінотеатрах, клубах, палацах мистецтв – підвали, горища, підсобні та технічні приміщення.
6	Промислові будівлі, фарбувальні цехи, підвальні приміщення, спалімі покриття великих площ у виробничих будівлях.
7	Торговельні підприємства та склади товарно-матеріальних цінностей. Холодильники, електропідстанції, електрощитові, кабельні тунелі, машинні зали та котельні відділення, галереї паливоподавання, трансформатори, реактори, масляні вимикачі.
8	Транспортні засоби. Судна-сухогрузи, надбудови та трюми суден.

### Гарантії виробника

Виробник гарантує відповідність сполуки вимогам даних технічних умов при дотриманні споживачем умов транспортування і зберігання, застережених даними технічними умовами.



Строк зберігання пристрою – 5 років з моменту виготовлення.

### ЛИСТ РЕЄСТРАЦІЇ ЗМІН

Зміна	Номери аркушів (сторінок)				Всього стор. в докум.	Номер документа	Вхід № упр. документа та дата	підпис	дата
	змінених	замінених	нових	виключених					

#### **4.4. Апробування запропонованого технічного пристрою комбінованого подавання вогнегасного аерозолі і діоксиду карбону з визначенням ефективності флегматизування газового горючого середовища в натурних умовах**

З метою апробування запропонованого технічного пристрою комбінованого подавання вогнегасного аерозолі і діоксиду карбону та визначення ефективності флегматизування газового горючого середовища в натурних умовах було виготовлено дослідну партію таких пристроїв (Додаток Ж).

За розробленою методикою натурних випробувань, яку було наведено у підрозділі 2.1.3, проведено апробування запропонованого технічного пристрою.

Результати експериментальних досліджень наведено у таблиці 4.6.

Таблиця 4.6

Результати полігонних натурних випробувань з визначення ефективності припинення горіння модельних та макетних вогнищ, а також флегматизування газового горючого середовища

Усереднена тривалість подавання вогнегасних речовин, с	Результат гасіння	Концентрація поданого в об'єм CO <sub>2</sub> , % об.	Маса застосованої АУС БАГР, г	Наявність флегматизування горючого середовища протягом 15 хв	Усереднене значення флегматизаційної концентрації г/м <sup>3</sup>
1	2	3	4	5	6

Продовження табл. 4.6

1	2	3	4	5	6
58±2	Припинено горіння усіх вогнищ за проміжок часу менше 5 с	0,0	2000±0,3	Після примусового підпалу через 120 с після припинення подавання аерозолі відбулося займання гексану у металевих деках та пальника типу Бунзена	Флегматизування газового горючого середовища не забезпечено
58±2	Припинено горіння усіх вогнищ за проміжок часу менше 5 с	4,0 %	2000±0,3	Протягом 15 хв забезпечено флегматизування газового горючого середовища (не відбулося займання модельних та макетних вогнищ від джерела запалювання). Працездатність ноутбуку не порушено	30,0±0,3

Аналіз результатів, наведених у таблиці 4.1, дають підставу зробити позитивний висновок щодо правомірності теоретичних та експериментальних досліджень стосовно підвищення ефективності роботи автоматичних систем пожежогасіння у разі застосування у якості основного елемента такого пристрою.

**4.5. Розробка проекту рекомендацій щодо застосування технічних пристроїв комбінованого подавання вогнегасного аерозолі та діоксиду карбону для флегматизування газових горючих середовищ в автоматичних системах пожежогасіння для протипожежного захисту об'єктів з можливістю виникнення вибухів та пожеж класів А, В та С, а також електрообладнання**

З урахуванням отриманих позитивних результатів полігонних натурних випробувань розроблено проект рекомендацій щодо застосування технічних пристроїв комбінованого подавання вогнегасного аерозолю та діоксиду карбону для флегматизування газових горючих середовищ в автоматичних системах пожежогасіння для протипожежного захисту об'єктів з можливістю виникнення вибухів та пожеж класів А, В та С, а також електрообладнання, які наведено у додатках А і Б.

Проектом розроблених технічних умов передбачено, зокрема, перелік об'єктів, на яких рекомендуються застосування пристрою комбінованого подавання вогнегасного аерозолю та діоксиду карбону, який наведено у таблиці 4.5.

#### **4.6. Техніко-економічне обґрунтування результатів роботи**

Запропоновані пристрої комбінованого подавання вогнегасного аерозолю та діоксиду карбону для гасіння та флегматизації пожежі є новими засобами об'ємної флегматизації та пожежогасіння. В них поєднуються переваги декількох напрямів флегматизування та пожежогасіння: газових, порошкових та газових систем флегматизування. Переваги пристроїв комбінованого подавання вогнегасного аерозолю та діоксиду карбону полягають у низьких флегматизувальних та вогнегасних концентраціях, високих експлуатаційних характеристиках, відсутність озоноруйнівної дії, широкий температурний діапазон застосування, відсутність необхідності застосування балонів під тиском, трубопроводів та запірно-пускової арматури, простота та надійність в експлуатації, зниження габаритів та маси систем флегматизування та об'ємного пожежогасіння.

Недоліками пристроїв комбінованого подавання вогнегасного аерозолю та діоксиду карбону є: обмеженість областей застосування в приміщеннях категорії А та В, в приміщеннях з великим ступенем

негерметичності, а також один з основних недоліків – втрата на тривалий час видимості при спрацюванні пристрою в приміщенні.

Ринок флегматизувальних та вогнегасних засобів показав, що в Україну завозяться вироби іноземного виробництва. Вартість цих пристроїв є високою. Що стосується цін на генератори, то в середньому в Україні вартість захисту  $1 \text{ м}^3$  об'єму становить близько 25 грн. Якщо вдатись до обґрунтування вартості генератора або газових систем пожежогасіння, то основною складовою ціни є вартість газової арматури та аерозольоутворювальної сполуки.

Провівши розрахунок вартості флегматизувального захисту  $1 \text{ м}^3$  об'єкта об'ємом  $65 \text{ м}^3$ . За розрахунками маса АУС, яка необхідна для захисту цього об'єму, становить 2 кг, ціна – 108 грн (54 грн за 1 кг). Виходячи з цього, на флегматизувальний захист  $1 \text{ м}^3$  приміщення необхідно АУС та  $\text{CO}_2$  на суму  $1,95 + 108$  грн, всього 109,95 грн.

Згідно з проведеними розрахунками флегматизувальна ефективність газоаерозольної суміші є вищою за флегматизувальну ефективність газових систем до 5-8 разів, та в 8-10 разів від  $\text{N}_2$ . Середня вартість газової системи флегматизування – пожежогасіння становить близько 1,0 млн грн.

Таким чином, стає видима попередня економічна за рахунок меншої кількості трубопроводів та балонів для зберігання газу а також запірнопускової арматури та розпилювачів. З позиції аерозольного гасіння, потрібна менша кількість газоаерозольних модулів в приміщенні, отже, кількість пристроїв комбінованої подачі вогнегасного аерозолю та газової речовини також буде менша. Враховуючи те, що облаштування таких систем не потребує високовартісних робіт, ціна інсталяції пристроїв комбінованої подачі буде теж меншою. Згідно з проведеними розрахунками, кількість генераторів зменшується в 2-4 рази, таким чином економія вартості гасіння становить від 20 % до 50% тільки на стадії виготовлення та встановлення.

#### 4.7. Висновки за розділом

Наведені у розділі результати досліджень дають підстави зробити такі висновки:

- розроблено проект технологічного регламенту на виготовлення, а також виготовлено дослідну партію пристрою комбінованого подавання вогнегасного аерозолю та діоксиду карбону, основними елементами якого є 2 генератори вогнегасного аерозолю (ГВА) масою 1 кг кожного та балон з діоксидом карбону ємністю 5 л, вузла запуску-ініціатора (електро, термо або комбінованого пристрою). Геометричні параметри запропонованого пристрою: довжина 40 см, ширина 12 см, висота 35 см. Загальна маса пристрою у спорядженому стані не перевищує 12 кг. Середня тривалість подавання вогнегасного аерозолю та діоксиду карбону становить  $58 \pm 2$  с, температура поверхні його корпусу при спрацюванні не перевищує  $78^{\circ}\text{C}$ . Пристрій розраховано на забезпечення припинення горіння та флегматизування газового горючого середовища протягом не менше 15 хвилин;
- за результатами полігонних натурних випробувань встановлено правомірність теоретичних та експериментальних досліджень стосовно підвищення ефективності роботи автоматичних систем пожежогасіння у разі застосування у якості основного елемента запропонованого пристрою комбінованого подавання вогнегасного аерозолю та діоксиду карбону;
- розроблено проект технічних умов з рекомендаціями щодо застосування технічних пристроїв комбінованого подавання вогнегасного аерозолю та діоксиду карбону для флегматизування газових горючих середовищ в автоматичних системах пожежогасіння для протипожежного захисту об'єктів з можливістю виникнення вибухів та пожеж класів А, В та С, а також електрообладнання;
- результати досліджень впроваджено шляхом застосування для протипожежного захисту виробничої дільниці науково-дослідного

інституту «Акорд» автоматичної системи із застосуванням запропонованого пристрою комбінованого подавання вогнегасного аерозолю та діоксиду карбону (Додаток В),

- результати досліджень також впроваджено у навчальний процес Черкаського інституту пожежної безпеки ім. Героїв Чорнобиля Національного університету цивільного захисту України ДСНС України і Львівського державного університету безпеки життєдіяльності під час викладання дисципліни «Теорія розвитку та припинення горіння» (Додаток Д);

- отримані результати досліджень висвітлено у роботах [81].

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі, яка є закінченим науковим дослідженням, розв'язано актуальну науково-технічну задачу розкриття особливостей впливу чинників на процеси флегматизування газових горючих середовищ у замкнених і напівзамкнених об'ємах за комбінованого застосування сумішей вогнегасних аерозолів та газових вогнегасних речовин-розріджувачів як наукового підґрунтя підвищення ефективності протипожежного захисту об'єктів з можливістю виникнення пожеж класів А, В, С та електрообладнання. При цьому отримано такі основні наукові і практичні результати:

1. На підставі аналізу сучасного стану розроблення і застосування газоаерозольних та газових вогнегасних речовин для протипожежного захисту об'єктів і технологічних процесів, висунуто ідею, що одним із шляхів підвищення ефективності флегматизування газових горючих середовищ у замкнених і напівзамкнених об'ємах є комбіноване використання вогнегасного аерозолу разом з газовими вогнегасними речовинами-розріджувачами.

2. Теоретично обґрунтовано високу флегматизувальну ефективність газоаерозольних систем при сумісному застосуванні вогнегасного аерозолу та газів-флегматизаторів. Розглянуто та проаналізовано хімічний склад та фізико-хімічні характеристики аерозольних систем. Розрахунково встановлено, що в склад аерозолу входять такі компоненти, як  $K_2CO_3 \cdot nH_2O$ ,  $KCl \cdot nH_2O$ ,  $KOH \cdot nH_2O$ , які забезпечують ефективну інгібувальну та теплопоглинальну дії. Розрахунково встановлено, що при згорянні 1 граму аерозольотворювальної сполуки утворюється в середньому від 0,3 до 0,6 літрів газів при цьому утворюється твердої фази гаерозольотворювальної сполуки у вигляді солей  $K_2O$ ,  $KCl$ ,  $KOH$ , та інших в середньому 0,3 г. Розмір частинок аерозолу при цьому становить від 2

мкм з кількісним співвідношенням 32-52 % до більше 5 мкм з кількісним співвідношенням 8-20 %.

3. Розрахунковим шляхом встановлено, що вогнегасний аерозоль утворений при згорянні аерозольутворювальної сполуки на основі сахарози, ідітолу та лактози за умови створення гідратованих частинок має високу теплоємність, яка є більшою за теплоємність  $\text{CO}_2$  до 2 разів, а азоту – до 3 разів. Розрахована теплопоглинальна здатність на  $1 \text{ м}^3$  аерозолю становить в середньому від  $4068 \text{ кДж/м}^3$  до  $14487 \text{ кДж/м}^3$  за умови створення гідратованих частинок. Визначено принципи флегматизації газоаерозольними сумішами, які полягають у поетапному процесі, що складається з горіння аерозольутворювального складу, утворення аерозолю та подальшого добавляння інертних газів до аерозолю, яке призведе до підвищення його теплоємності, а отже і флегматизувальної здатності.

1. Розроблено методику та проведено експериментальні дослідження з виявлення впливу концентрацій вогнегасних аерозолів та газових вогнегасних речовин на ефективність процесів флегматизування газових горючих середовищ. Виконано математичне планування повнофакторного експерименту. Визначено модель регресії у факторному просторі яка відображає залежність між критерієм і фактором експерименту. Рівняння регресії для повнофакторного експерименту має вигляд:  $Y=4-0,5x_1-1,25x_2-2,25x_3+0,5x_2x_3$ .

5. Виявлено ефект синергізму у разі застосування бінарних сумішей вогнегасних аерозолів із вмістом неорганічних солей калію та газових вогнегасних речовин-розріджувачів (діоксид карбону або азот), який проявляється у зниженні значень флегматизувальної концентрації газових горючих середовищ від 1,25 до 3,5 разів порівняно з концентрацією вогнегасних аерозолів та більше ніж на порядок, порівняно з флегматизувальною концентрацією газової вогнегасної речовини-розріджувача.



6. Експериментально встановлено, що флегматизувальна концентрація аерозолу, утвореного з АУС на основі лактози – 27,6 %,  $\text{KNO}_3$  – 60 %,  $\text{KClO}_4$  – 12,4 %, становить близько  $52 \text{ г/м}^3$ . Експериментально підтверджені теоретичні припущення про явище синергізму при добавленні до аерозолу газових вогнегасних речовин. Також експериментально встановлено, що добавка до аерозолу  $\text{CO}_2$  в кількості 3 % забезпечує флегматизацію вже при концентрації аерозолу  $30 \text{ г/м}^3$ . Діапазон флегматизувальних концентрацій для стехіометричної гексаноповітряної горючої суміші лежить в межах від найменшої концентрації:  $\text{CO}_2$  – 9 %,  $C_{\text{BA}}$  –  $15 \text{ г/м}^3$  до верхнього значення концентрації:  $\text{CO}_2$  – 2%,  $C_{\text{BA}}$  –  $40 \text{ г/м}^3$ . Для суміші 50 %  $\text{CO}_2$  та 50 %  $\text{N}_2$  флегматизація настає при таких параметрах:  $\text{CO}_2$  – 14 %,  $C_{\text{BA}}$  –  $15 \text{ г/м}^3$  до верхнього значення концентрації:  $\text{CO}_2$  – 3,5%,  $C_{\text{BA}}$  –  $40 \text{ г/м}^3$ .

7. Обґрунтовано схемне рішення та вихідні дані технічного пристрою комбінованого подавання вогнегасного аерозолу і діоксиду карбону. Проведено його апробацію в натурних умовах.

8. Розроблено технічні документи, виготовлено дослідну партію пристроїв одночасної подачі вогнегасного аерозолу та газу, проведено апробацію в полігонних умовах, а також розроблено проект рекомендацій щодо застосування технічних пристроїв комбінованого подавання вогнегасного аерозолу та газової вогнегасної речовини-розріджувача для флегматизування газових горючих середовищ в системах протипожежного захисту об'єктів з можливістю виникнення вибухів та пожеж класів А, В та С, а також електрообладнання.

9. Результати досліджень впроваджено в системі газоаерозольного пожежогасіння для протипожежного захисту виробничої дільниці науково-дослідного інституту «Акорд», а також у навчальний процес Академії пожежної безпеки ім. Героїв Чорнобиля під час викладання дисципліни «Теорія розвитку та припинення горіння».

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. <http://www.mns.gov.ua/>.
2. Корольченко Д. А. Тушение пожаров аэрозольными составами: Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук: специальность 05.26.03 Пожарная безопасность / Московский институт пожарной безопасности МВД России. – Москва, 1998. – 24 с.
3. Аликин В. Н. Автономные системы аэрозольного пожаротушения на твердом топливе / Аликин В.Н., Кузьмицкий Г.Э., Степанов А.Е. – Пермь : ПНЦ УрО РАН, 1998. –148 с.
4. Агафонов В. В. Установки аэрозольного пожаротушения / Агафонов В. В. Копилов Н. П. // Элементы и характеристики проектирование монтаж и эксплуатация. – М.: ВНИИПО, 1999. – 236 с.
5. Агафонов В. В. Теплопоглощающая способность аэрозолей АОС и их компонентов / Агафонов В. В. // Проблемы горения и тушения на рубеже веков: материалы XV науч.- практ. конф. – Ч. 1. – М.: ВНИИПО, 1999. – С. 315-318.
6. Агафонов В. В. Перспективы комбинированного пожаротушения с применением АОС с другими огнетушащими составами / Агафонов В. В., Арбузов Н. Б. // Проблемы горения и тушения на рубеже веков : материалы XV науч.-практ. конф. – Ч. 1. – М.: ВНИИПО, 1999. – С. 331-335.
7. Тарахно Е. В. Аэрозольное ингибирование пламенного горения / Тарахно Е.В., Михайлюк А.П, Рябова И.Б. // Проблемы пожарной безопасности. – 2000. – Вып 7. – С. 201-204.
8. Агафонов В. В. Вопросы проектирования, монтажа и эксплуатации установок аэрозольного пожаротушения : методическое пособие / Агафонов В.В., Копылов Н.П. – М.: ВНИИПО, 2001. – 115 с.
9. Перспектива применения средств аэрозольного пожаротушения во взрывопожароопасных помещениях / В.В. Агафонов [и др.] // Крупные

пожары: предупреждение тушение: материалы XVI науч.-практ. конф. – Ч. 2. – М.: ВНИИПО, 2001. – С. 96-102.

10. Агафонов В. В. Установки аэрозольного пожаротушения. Основные характеристики Текст. / В. В. Агафонов, Н. П. Копылов // Учебно-методическое пособие. Под ред. Н.П. Копылова. – М.: ВНИИПО, 2001. – 91 с.

11. Агафонов В. В. Обоснование механизма подавления газофазного горения аэрозолями АОС и пути повышения их огнетушащей способности / Агафонов В. В. Копылов Н. П. // Материалы 16 Всероссийской науч.–техн. конф. – 2001. – С. 91-96.

12. Баратов А. Н. Физические и химические аспекты пожаротушения экономически эффективными системами основанными на сжигании пропеллантов. Пожаровзрывоопасность 6'2001. – С. 26-32.

13. Коростелёв В. Г. Аэрозольгенерирующие пожаротушащие составы. Основные типы составов и оптимальные условия их применения / Коростелёв В. Г. // Пожаровзрывобезопасность. – 2002, №1. – С. 61-66.

14. Журбинський Д. А. Особливості припинення процесів горіння аерозоль утворюючими системами при об'ємному пожежегасінні / Д. А. Журбинський // Вісник Черкаського державного технологічного університету. – 2002. – Вип. 4. – С. 110-114.

15. Современное состояние и перспективы совершенствования средств аэрозольного пожаротушения / В. В. Агафонов, А. В. Казаков, Н. П. Копылов, С. Н. Копылов // Юбилейный сборник трудов ФГБУ ВНИИПО МЧС России; под общ. ред. В.И. Климкина. – М.: ВНИИПО, 2012. – С. 257-311.

16. Кулаков В. Г. Современное состояние газового пожаротушения / В.Г. Кулаков, С.Н. Копылов, А.В. Казаков. // Юбилейный сборник трудов ФГБУ ВНИИПО МЧС России / под общ. ред. В.И. Климкина. – М.: ВНИИПО, 2012. –С. 234-250.

17. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов, средства их тушения : Справ. изд. в 2 книгах / А. Н. Баратов, А. Я. Корольченко, Г. Н. Кравчук. – М. : Химия, 1990. – 496 с.

18. Баратов А. Н. Пожаротушение на предприятиях химической и нефтеперерабатывающей промышленности / Баратов А. Н., Иванов Е. И. // 2-е изд., перераб. – М. : Химия, 1979. – 368 с.

19. Баратов А. Н. Исследование огнетушащей способности аэрозольных составов / Баратов А. Н., Мышак Ю. А., Радченко С. А. // Материалы 11 Всесоюзной конф. – ВНИИПО, 1991. – С. 56-57.

20. Влияние начальных температур среды и аэрозолей АОС на эффективность объемного аэрозольного пожаротушения / Агафонов В.В., Большаков В.С., Голубчиков В.Б., Поляков Д.В. // Матер. 16 всероссийской научн.-техн. конф. – Москва, 2001. – С. 87-91.

21. Агафонов В. В. Генераторы с дистанционной подачей огнетушащих аэрозолей / Агафонов В. В., Копылов Н. П., Углов В. А. // Комплексная безопасность России - исследования, управление, опыт: тезисы докладов Международного симпозиума. – М. : ВНИИПО, 2004. – С. 42—46.

22. Вогнегасні речовини : посібник / Антонов А.В., Боровиков В.О., Орел В.П. та ін. – К.: Пожінформтехніка, 2004. – 176 с.

23. Дослідження вогнегасної дії аерозолів одержаних спалюванням твердопаливних композицій різного складу / Баланюк В. М., Щербина О. М., Грималюк Б. Т., Кіт Ю. В. // Пожежна безпека. – 2004. – № 4. – С. 56-58.

24. Інгібувальні властивості деяких аерозольотворювальних сполук (АУС) на основі солей калію / Баланюк В.М., Цапко Ю.В., Антонов А.В., Соколенко К.І. // Науковий вісник УкрНДІПБ. – 2006, № 2 (14). – С. 66-70.

25. Агафонов В. В. Эффективность и особенности аэрозольного пожаротушения на энергетических объектах: Опыт применения / Агафонов

В. В., Александров С. В., Цариченко С. Г. // Снижение риска гибели людей при пожарах : Тезисы докладов XVIII науч.-практ. конф. – М. : ВНИИПО, 2003. – С. 40-43.

26. Ковригин Л.А., Труфанова Н.М. Электрическая прочность воздушного промежутка с однородным и неоднородным электрическим полем во время действия автоматической системы аэрозольного пожаротушения: Отчет Пермского ГТУ (электротехнический факультет). - Пермь, ИТ У, 2000.- 4 с.

27. Оценка опасности токсического воздействия огнетушащих газов и аэрозолей, применяемых для объемного пожаротушения / Иличкин В.С., Сидорин Г.И., Елисеев Ю.Н., Белоусов Ю.Ю. : метод. пособие. – М. : ВНИИПО, 2005. – 85 с.

28. Агафонов В. В. Тушение пожаров аэрозолями АОС в шкафной электро- и радиотехнической аппаратуре / Агафонов В. В., Копылов Н. П., Морозов В. И. // Пожарная безопасность многофункциональных и высотных зданий и сооружений : материалы XIX науч.-практ. конф. - М. : ВНИИПО, 2005. – 4.2. – С. 178-185.

29. Дослідження з визначення вогнегасної ефективності сумішей інгібіторів горіння та інертних розріджувачів / Жартовський В.М., Откідач М.Я., Цапко Ю.В., Тропінов О.Г. // Науковий вісник. – 2003, № 2. – С. 5-10.

30. Котов А. Г. Газовые огнетушащие составы. Практическое пособие по применению / Котов А.Г., Андрейченко П.А. – К. : Изд. дом «Ретро-Графіка», 2004.– 215 с.

31. Цапко Ю. В. Отримання газових сумішей продуктів піролізу органічних матеріалів та дослідження умов їх флегматизування газовими вогнегасними речовинами / Цапко Ю. В., Орел В. П., Антонов А. В. // Науковий вісник УкрНДІПБ : Наук. журнал. – К. : УкрНДІПБ МВС України, 2001. – № 4. – С. 59–65.

32. ISO 14520-1:2006 Gaseous fire-extinguishing systems – Physical properties and system design – Part 1: General requirements (Системи газового пожежогасіння. Фізичні властивості та проектування систем. Частина 1. Загальні вимоги) з поправкою ISO 14520-1:2006/Cor.1:2007. Крім 7.5.1.2, 7.5.2 та Н. 4.1., де є відхили.

33. ДСТУ 3958-2000 «Газові вогнегасні речовини. Номенклатура показників. Загальні технічні вимоги. Методи випробувань. – Київ: Держстандарт України. 2000».

34. ДСТУ 4466-1:2008 «Системи газового пожежогасіння. Проектування, монтаж, випробування, технічне обслуговування та безпека. Частина 1. Загальні вимоги».

35. ДСТУ 5092:2008 «Пожежна безпека. Вогнегасні речовини. Діоксид карбону».

36. ДСТУ 4578:2006 «Системи пожежогасіння діоксидом вуглецю. Проектування та монтаж. Загальні вимоги».

37. HaloneinKreuzfeuer / Widetschekotto / Blaulicht (Разрушающее воздействие хладонов на озоновый слой планеты). 1988. 37. № 9. S. 21-25.

38. Something in the air: Will concern for the ozone layer affect use of halons (ВоздействиеогнетушащиххладоновнаозоновыйслойЗемли). Fire, 1988. – Vol. 81. – № 996. – P. 17-18.

39. Fire protections halons and the environment: anupdate symposium (Хладоновые установки пожаротушения и охрана окружающей среды). GrantC.C. FireTechnol., 1988. Vol. 24. № 1. P. 63-64.

40. Антонов А. В. Проблема заміни озоноруйнівних хладонів на екологічно безпечні альтернативні вогнегасні речовини / Антонов А. В. // Пожежна безпека. –2003. – № 3. – С. 9-12.

41. Yurchenko D. The use of halons in the USSR [Pap], Int. halons and environment conference / Yurchenko D. – Geneva, 1-3 Oct., 1990. –14 p.

42. Поиск альтернативы хладонам в пожаротушении / М. Н. Вайсман, И. Еремин, В. В. Агафонов, Н. П. Копылов // Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях: Реф. сб. – М. : ВИНТИ, 1992. Вып. 1. – С. 73-99.

43. Эффективность и механизм огнетушащего действия новых заменителей хладонов / В.В. Агафонов [и др.] // Материалы X симпозиума по горению и взрыву: Горение. – Черногоровка: ИХФ РАН, 1992. – С. 117-119.

44. Бобрышева С. Н. Проблемы разработки современных эффективных огнетушащих средств универсального назначения / С. Н. Бобрышева, В. Б. Бондарук, М. В. Марченко // «Чрезвычайные ситуации предупреждение и ликвидация» : сб. тез. докл. IV Междунар. науч.-практ. конф. – Минск : НИИ пожар. безоп. чрезв. ситуаций, 2007. – С. 334-336.

45. Баратов А. Н. Огнетушащие порошковые составы / Баратов А.Н., Вогман Л.П. – М.: Стройиздат, 1982. – 72 с.

46. Вогман Л. П. Разработка новых эффективных порошковых составов и средств подачи / Вогман Л. П. // Пожарная наука и техника: сб. науч. тр. – М ВНИИПО, 1977. – С. 75-94.

47. Вплив неодночасності спрацьовувань модулів системи порошкового пожежогасіння на ефективність гасіння горючих рідини / В.О. Дунюшкін, С.Ю. Огурцов, А.В. Антонов, П.В. Пивовар // УкрНДІПБ: Наук. вісн. – К., 2011. – № 2 (24). – С. 185-191.

48. Дослідження з підвищення вогнегасної ефективності модулів порошкового пожежогасіння «Спрут» / В. О. Дунюшкін, С. Ю. Огурцов, А. В. Антонов, П. В. Пивовар, О. А. Семенцов // Наук. вісн. – К., 2011. – № 1 (23). – С. 30-37.

49. Баратов А. Н. Горение-Пожар-Взрыв-Безопасность / Баратов А.Н. – М., 2003. – 363 с.

50. Котов А. Г. Перспективы развития аэрозольного пожаротушения в Украине / А. Г. Котов, В. М. Жартовский // Проблемы пожарной безопасности. Под. ред. В.Г. Палюха. – Харьков: Мин. обр. Украины, МВД Украины, 1993. – С.57-59.

51. Радченко С. О. Розробка методів і пристроїв підвищення ефективності систем аерозольного гасіння пожеж : автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук : 05.26.02 / ХІПБ. - Харків, 1997. – С. 23-25.

52. Бондаренко С. М. Розробка генераторів вогнегасячого аерозолію із покращеними характеристиками : автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук. – Харків, 2004. – 20 с.

53. Баланюк В. М. Удосконалення аерозолевої вогнегасної речовини на основі солей калію та обґрунтування умов її застосування / Баланюк В.М. // дисертація к.т.н. : 21.06.02 – пожежна безпека. – Львів: Україна, 2007. – 187 с.

54. Тарадайко В. Особенности аэрозольного пожаротушения. Бюлетень пожежної безпеки. – № 1. – С. 24-30.

55. Тарахно Е.В. К вопросу о механизме огнетушащего действия АОС / Е.В. Тарахно, И.Б. Рябова, В.В. Тригуб // Проблемы пожарной безопасности. — 2001. – Вып. 8. – С. 199-201.

56. Влив газової фази на ефективність вогнегасних аерозолів / Баланюк В. М., Грималюк Б. Т., Кіт Ю. В., Левуш С. С. // Вісник НУ «Львівська політехніка». – 2004. – № 497. – С 11-12.

57. Баланюк В. М. Дослідження впливу інертних розріджувачів на ефективність вогнегасних аерозолів / Баланюк В. М., Грималюк Б. Т. // Пожежна безпека. – 2005. – № 5. – С. 113–116.

58. Деякі аспекти дослідження інгібувальної здатності аерозолію / Цапко Ю.В., Соколенко К.І., Ліхновський Р.В., Баланюк В.М. // Проблема зниження ризику виникнення надзвичайних ситуацій в Україні : матеріали



VIII всеукр. наук.-практ. конф. рятувальників. – Київ : УкрНДІПБ МНС України, 2006. – С. 274-276.

59. Перебіг окремих внутрішніх процесів у вогнегасних аерозолях під час гасіння дифузійного полум'я / Ю. О. Копистинський, В. М. Баланюк, О. І. Лавренюк, Д. А. Журбинський // Наук. вісн. УкрНДІПБ. – 2008. – № 1 (17). – С. 155-160.

60. Копистинський Ю. О. Особливості механізму гасіння дифузійного полум'я аерозолями на основі хлоридів та карбонатів калію / Ю.О. Копистинський, В. М. Баланюк, В. В. Кошеленко // Пожежна безпека – 2009 : зб. тез доп. ІХ Міжнар. наук.-практ. конф. – Л. : ЛДУ БЖД, 2009. – С. 95-96.

61. Копистинський Ю. О. Явища та процеси, що виникають під дією звукової хвилі в аерозолевій речовині / Ю.О. Копистинський, В.М. Баланюк, О.І. Лавренюк // Пожежна безпека: Зб. наук. праць. – 2011. – № 7. – С. 72-78.

62. Копистинський Ю. О. Підвищення ефективності гасіння аерозолевої речовиною на основі неорганічних солей калію ударною хвилею / Ю.О. Копистинський, В.М. Баланюк, О.І. Лавренюк // Техногенна безпека: Теорія, практика, інновації : зб. тез доп. ІІ Міжнар. наук.-практ. конф. – Л. : ЛДУ БЖД, 2011. – С. 49-50.

63. Баланюк В.М. Визначення ефективності гасіння вогнегасною аерозольною речовиною в умовах застосування газових ударних хвиль / Баланюк В.М., Копистинський Ю. О., Лавренюк О.І. // Пожежна безпека: зб. наук. праць. – Л. : ЛДУБЖД, 2012. – № 21. – С.23-28.

64. Копистинський Ю. О. Підвищення ефективності систем аерозольного пожежогасіння : автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук: 21.06.02 / ЛДУБЖД. – Львів, 2013. – С. 19.

65. Журбинський Д. А. До питання застосування аерозольних вогнегасних речовин як флегматизаторів газових горючих середовищ / Д. А. Журбинський // УкрНДІПБ: Наук. вісн. – К., 2007. – № 1 (15). – С. 141-142.

66. Журбинський Д. А. Вплив виду аерозольотворювальних сполук на основі солей калію та добавок інертних газів на флегматизувальну ефективність аерозолі / В. М. Баланюк, Д. А. Журбинський, А. С. Лин // Пожежна безпека: зб. наук. праць. – Л.: ДЛУБЖД, 2013. – № 22. – С. 7-11.

67. Журбинський Д. А. Флегматизувальна ефективність аерозолі на основі солей калію / Д. А. Журбинський, В. М. Баланюк // Пожежна безпека: теорія і практика : зб. наук. пр. – Черкаси: АПБ імені Героїв Чорнобиля, 2013. – № 13. – С. 32-38.

68. Механизм огнетушащего действия средств газозольного пожаротушения / Корольченко А.Я., Горшков В.И., Щебеко Ю.М., Шамонин В.Г. // Пожаровзрывобезопасность. – 1996. – Т.5. – С.57-61.

69. Агафонов В. В. О механизме огнетушащего действия АОС на основе кислотосодержащих солей калия / Агафонов В.В., Копилов Н.П. // Проблемы горения и тушения пожаров на рубеже веков : материалы XIV Всерос. науч. – практ. конф. – М.: ВНИИПО МВД РФ, 1997. – Ч.1. – С. 241-246.

70. Журбинський Д. А. Експериментальне визначення флегматизувальних та вогнегасних концентрацій деяких аерозольних вогнегасних речовин / Д. А. Журбинський // Наук. вісн. УкрНДІПБ. – 2008. – № 1 (17). – С. 160-163.

71. Журбинський Д. А. Вплив складу аерозольотворюючих систем на концентрацію дисперсної фази аерозолі / Д. А. Журбинський // Проблемы пожарной безопасности. – 2004. – Вып. 16. – С. 81-87.

72. Шкарабура М. Г. Залежність аерозольотворюючої і вогнегасної здатності аерозольотворюючих систем від їх компонентного складу / М. Г.

Шкарабура, Д. А. Журбинський, О. І. Дяченко // Проблемы пожарной безопасности. – 2003. – Вып. 14. – С. 224-229.

73. The influence of gas phases on the fire-extinguish aerosol effect / Balanjuk V.M., Grymanjuk G.T., Kyt J.V., Levus J.S. // 5<sup>th</sup> International Conference «Fireco 2003» Fire Protection. – Trencin, 2003. – P.10-12.

74. Особенности пожаротушения охлажденными аэрозолями АОС / И. В. Агафонов [и др.] // Снижение риска гибели людей при пожарах : тезисы докладов XXVIII науч.-практ. конф. – М. : ВНИИПО, 2003. – С. 104-108.

75. The Modification of the Characteristics of the Condensed Aerosols After Its Distribution Through the Pipelines / V. V. Agafonov, S.N. Kopylov, A. V. Sychev s. a. // 14-th International Conference: Halon Options Technical Working Conference. May 4 6, 2004, Albuquerque, New Mexico. 2004. - P. 51.

76. Агафонов В. В. Особенности совместного применения огнетушащих аэрозолей с газовыми составами / Агафонов В. В., Кольцов С. А., Копылов С.Н. // Пожарная безопасность многофункциональных зданий и сооружений : матер. XIX науч.-практ. конф. – М. : ВНИИПО, 2005. – С. 172-178.

77. The Mechanism of Fire Suppression by Condensed Aerosols / V.V. Agafonov, N.P. Kopylov, S.N. Kopylov e. a. // 15-th International Conference: Halon Options Technical Working Conference. May 24-26, 2005, Albuquerque, New Mexico. 2005. - P. 23.

78. Solid propellants sources of combustion inhibitors and mechanism of their effect on flames / V.V. Agafonov [at al.] // Proceeding of the Hussion Japanese Seminar held at Chcmogolovka, Moscow Region, 2-nd to 5-tli October, 1993 (The Russian Section of Combustion Institute). – P. 235-237.

79. Антонов А. В. Вогнегасна ефективність бінарних сумішей галону 2402 та хладону 3 Мтм «NOVEC» 1230 / А. В. Антонов // Науковий вісник УкрНДІПБ. – 2012, № 2 (26). – С. 198-203.

80. Balanyuk V. M. Phlegmatisation of flammable gas mixtures by aerosol sprays / V. M. Balanyuk, D. A. Zhurbinskiy // Phlegmatisation of flammable gas mixtures by aerosol sprays flegmatyzacja aerozolami mieszanin palnych. – ВіТР 2013. – Vol. 32, Issue 4. – P. 53-58.

81. Баратов А. Н. Применение ингибиторов для пожаротушения / Баратов А. Н. // Журнал ВХО им. Д.И. Менделеева. – 1985. – Т. 30. – №1. – С. 13-20.

82. Агафонов В. В. Получение твердофазных ингибиторов горения / В.В. Агафонов, В.Д. Русанов // Проблемы предотвращения и тушения пожаров на объектах народного хозяйства : матер. 11-й науч.-практ. конф. – М : ВНИИПО, 1992. – С. 68-70.

83. Агафонов В.В. Оценка огнетушащей эффективности твердообразных аэрозолей индивидуальных химических соединений щелочных металлов // Проблемы горения и тушения пожаров на рубеже веков : матер. XIV Всерос. науч. – практ. конференции. – М. : ВНИИПО МВД РФ, 1997. – Ч. 2. – С.300-302.

84. Откідач М.Я. Флегматизування газових горючих середовищ із застосуванням повітророздільних мембранних установок : автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук / Откідач М.Я. – Харків, 2001. – 20 с.

85. Деревинський Д. М. Пожежна небезпека об'єктів з наявністю газового горючого середовища та нагрітих технологічних поверхонь у замкнутому просторі / Деревинський Д. М. // Проблемы пожарной безопасности : сб. научн. трудов. – 2010. – Вып.27. – С. 59-65.

86. Газогенерирующие составы для гашения пламен в замкнутых объемах / Глазкова А. П., Казарова Ю.А., Савельев А.В. // Проблемы пожаро- и взрывозащиты технологического оборудования : матер. науч.-практ. конф. – М. : ВНИИПО, 1977. – С. 103-106.

87. Цапко Ю. В. Отримання газових сумішей продуктів піролізу органічних матеріалів та дослідження умов їх флегматизування газовими вогнегасними речовинами / Цапко Ю.В., Орел В.П., Антонов А.В. // Науковий вісник УкрНДІПБ : Наук. журнал. – К. : УкрНДІПБ МВС України, 2001. – № 4. – С. 59–65.

88. Антонов А. В. Флегматизування горючих середовищ інертними розріджувачами, інгібіторами та їх сумішами / Антонов А.В., Орел В.П., Цапко Ю.В. // Зб. наук. пр. Севастопольського ВМІ ім. П.С. Нахімова. – 2002. – Вип. 1. – С. 148–149.

89. Ксандуполо Г. И. Механизм ингибирования горения углеродно-воздушных смесей мелкодисперсными частицами / Г. И. Ксандуполо // Физика горения и взрыва. – 1971. – №1. – С. 92-99.

90. Изучение гетерогенной рекомбинации атомов водорода и кислорода методом ЭПР / В.В. Азатян [и др.] // Кинетика и катализ. – 1972. –Т 13. – Вып. 6. – С. 1389-1391.

91. Касьянов Н. А. Экспериментальное исследование пожаров в помещениях / Касьянов Н.А., Михайлов Д.В. // Вісник СНУ ім. В.Даля. Технічні науки. – 2004. – № 12. – С. 99-104.

92. Добриков В. В. Исследование разогрева твердой частицы во фронте пламени / Добриков В.В., Баратов А.Н. // Горение и проблемы тушения пожаров : матер. V Всесоюзн. научн. – практ. конф. – М. : ВНИИПО, 1997. – С. 23-26.

93. Агафонов В. В. Способы повышения безопасности эвакуации людей из помещений при применении в них огнетушащих аэрозолей АОС / Агафонов В.В., Копылов С.Н., Гришакина В.А. // Исторические и современные аспекты решения проблем горения, тушения и обеспечения безопасности людей при пожарах: материалы XX Междунар. науч.-практ. конф., посвященной 70-летию создания института. – М.: ВНИИПО, 2007. – С. 147-154.

94. Пат. 2050877 С1 Россия, МПК<sup>6</sup> А 62 D1/00. Аэрозолеобразующий состав для тушения пожаров / Щетинин В.Г. – Заявл. 02.07.1993, № 93034839/26; опубл. 27.12.1995. – 3 с.

95. Агафонов В. В. Влияние внешних факторов на эффективность и параметры аэрозольного пожаротушения / Агафонов В.В., Арбузов Н.Б., Костюхин А.К. // Пожарная безопасность история, состояние и перспективы: материалы XIV Всероссийской науч.-практ. конф. – Ч 2. – М.: ВНИИПО, 1997. – С. 280-284.

96. Агафонов В. В. Влияние температуры среды на огнетушащую способность АОС / Агафонов В. В., Амельчугов С. П., Копылов Н. П. // Пожарная безопасность многофункциональных и высотных зданий и сооружений : материалы 19 научн.-техн. конф. – Москва, 2005 – Ч.2. – С. 155-159.

97. Забрасываемые средства аэрозольного пожаротушения, изготавливаемые по двойной технологии / В.Н. Аликин [и др.] // Полимерные материалы : Вестник ПГТУ. – 1997. – № 3. – С. 108-111.

98. Агафонов В. В. О перспективе применения комбинированного пожаротушения с использованием аэрозолей АОС с водными, газовыми и порошковыми составами / Агафонов В.В., Копылов С.Н., Никонова Е.В. // Актуальные проблемы пожарной безопасности : материалы междунар. науч.-практ. конф. – М. : ВНИИПО, 2008. – Ч. 2. – С. 134-141.

99. Пат. 2107524 С1 Россия, МПК<sup>6</sup> А 62 D1/00, Аэрозольный беспламенный огнетушащий состав / Сергиенко А.Д., Стариков С.Н., Лавров В.С. – Заявл. 28.03.1996, №96103983/25; опубл. 27.03.1998. – 3 с.

100. Коростильов В.Г. Аэрозольгенерирующие пожаротушащие составы. Основные типы составов и оптимальные условия их применения / В.Г. Коростильов // Пожаровзрывобезопасность 1. – 2002. – №1. – С. 61-66.

101. Пат. 2121857 С1 Россия, МПК<sup>б</sup> А 62 D1/00, 1/02. Аэрозольный огнетушащий состав / Раев В.И. – Заявл. 28.10.1996, №96120967/25; опубл. 20.11.1998. – 5 с.

102. История создания ГИГов: Информация-новости // Горноспасатель [Электронный ресурс].  
<http://gvgss.org/index.phpnewsid=162>.

103. ДСТУ 4442:2005 «Пожежна техніка. Установки аерозольного пожежогасіння».

104. Агафонов В. В. Обоснование методики и установки для определения огнетушащей концентрации АОС / Агафонов В. В., Косяков В. А. // Проблемы предотвращения и тушения пожаров на объектах народного хозяйства: материалы 12-й науч.-практ. конф. – М. : ВНИИПО, 1993. – С. 173-174.

105. Агафонов В. В. Экспериментально-аналитическое исследование процесса подачи огнетушащего аэрозоля / Агафонов В. В., Дегтярев А. В. // Пожарная техника: Средства и способы пожаротушения : сб. науч. тр. – М. : ВНИИПО, 1995. – С. 82-90.

106. Агафонов В. В. Экспресс-методика оценки параметров установок аэрозольного пожаротушения / Агафонов В. В., Арбузов Н. Б., Дегтярев А. В. // Пожарная техника: средства и способы пожаротушения : сб. науч. тр. – М. : ВНИИПО, 1995. – С. 143-149.

107. Дунюшкін В. О. Дослідження параметрів горіння модельних вогнищ класу А / В.О. Дунюшкін, С.Ю. Огурцов, С.З. Цимбалістий // УкрНДІПБ: Наук. вісн. – К., 2011. – № 1 (23). – С. 37-47.

108. Методика оцінки ефективності газових вогнегасних речовин як флегматизаторів / Орел В.П., Антонов А.В., Откідач М.Я., Цапко Ю.В., Гудзь В.М., Кот А.П.// Пожежна безпека : наук. зб. - Черкаси: ЧПБ, 1999. – Ч. 1. –С.96-98.

109. ГОСТ 24026-80. Исследовательские испытания. Планирование эксперимента. Термины и определения.
110. Ахназарова С. Л. Оптимизация эксперимента в химии и химической технологии / Ахназарова С.Л., Кафаров В.В. – М. : Высш. школа, 1978. – 213с.
111. Адлер Ю. П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю. П. Адлер, Е. В. Маркова, Ю. В. Грановский. – М. : Наука, 1976. – 280 с.
112. Томашевський В. М. Моделювання систем. – К.: Видавнична група ВНУ, 2005. – 352 с.
113. Томашевский В. Н. Имитационное моделирование в среде GPSS / Томашевский В.Н., Жданова Е.Г. – М.: Бестселлер, 2003. – 416 с.
114. Аністратенко В. О. Математичне планування експерименту в АПК / Аністратенко В.О., Федоров В.Г. – К. : Вища школа, 1993. – 375 с.
115. Планирование эксперимента и применение вычислительной техники в процессе синтеза резин / под ред. В.Ф. Евстратова, Л.Г. Шварца. – М. : Химия, 1970. – 255 с.
116. Монтгомери Д. К. Планирование эксперимента и анализ данных / Монтгомери Д. К. – Л. : Судостроение, 1980. – 384 с.
117. Михайлов Ф.М. Основы химического огнетушения. – М. : Гос-Транстехнадзор, 1938. – 276 с.
118. Бахман Н. Н. Горение гетерогенных конденсированных систем / Бахман Н. Н., Беляев А. Ф. – М. : Наука, 1967. – 226 с.
119. Исследование механизма гасящего действия аэрозвесей солей / Азатян В. В., Баратов А. Н., Вогман Л. П. и др. // Химическая физика процессов горения и взрыва. Кинетика химических реакций. – Черногловка : ОИХФ АН СССР, 1977. – С. 110-113.



Додаток А

ЗАТВЕРДЖУЮ

ДИРЕКТОР ТзОВ «БАГР»

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2014 р.

**ПРИСТРІЙ ОДНОЧАСНОЇ КОМБІНОВАНОЇ ПОДАЧІ  
ВОГНЕГАСНОГО АЕРОЗОЛЮ ТА ДІОКСИДУ КАРБОНУ  
ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РЕГЛАМЕНТ ВИГОТОВЛЕННЯ (ПРОЕКТ)**

Дата надання чинності \_\_\_\_\_

Чинні без обмеження строку чинності \_\_\_\_\_

РОЗРОБЛЕНО

ЗАСТУПНИК ДИРЕКТОРА ТзОВ БАГР

\_\_\_\_\_ 2014 р.

Львів - 2014

Додаток Б

ЗАТВЕРДЖУЮ  
 ДИРЕКТОР ТзОВ «БАГР»  
 « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2014 р.

**ПРИСТРІЙ ОДНОЧАСНОЇ КОМБІНОВАНОЇ ПОДАЧІ  
 ВОГНЕГАСНОГО АЕРОЗОЛЮ ТА ДІОКСИДУ КАРБОНУ**

**ТЕХНІЧНІ УМОВИ (ПРОЕКТ)**  
 ТУ У 29.24-33562576 -001 :2014

**ПОГОДЖЕНО**

МОЗ України

Державна санітарно-епідеміологічна  
служба

Висновок №

**ПОГОДЖЕНО**Державна Служба України з  
надзвичайних ситуацій

Висновок №

(Уведено вперше) Дата надання  
чинності \_\_\_\_\_Чинні без обмеження строку  
чинності \_\_\_\_\_

РОЗРОБЛЕНО

ЗАСТУПНИК ДИРЕКТОРА ТзОВ  
БАГР

\_\_\_\_\_ 2014 р.

## Додаток В

Акт впровадження результатів дисертаційної роботи

Затверджую

Директор Державного підприємства

«Науково-дослідний інститут «Акорд»»

В.М. Онойко

АКТ

впровадження результатів дисертаційної роботи  
Журбинського Дмитра Анатолієвича

Комісія в складі: голови комісії – начальника науково-дослідної лабораторії поводження з небезпечними речовинами та метрології Академії пожежної безпеки ім. Героїв Чорнобиля підполковника служби цивільного захисту к.т.н. Биченко А.О. та членів комісії – провідного наукового співробітника відділу наукової роботи та міжнародного співробітництва Академії пожежної безпеки ім. Героїв Чорнобиля підполковника служби цивільного захисту к.т.н. Ковальова А.І., провідного наукового співробітника науково-дослідної лабораторії поводження з небезпечними речовинами та метрології Академії пожежної безпеки ім. Героїв Чорнобиля майора служби цивільного захисту Нуянзіна В.М., склали акт про те, що виготовлені за результатами дисертаційної роботи Журбинського Дмитра Анатолієвича – експериментальні зразки газоаерозольних модулів з 2-ма генераторами вогнегасного аерозолію – та масою аерозольутворювальної речовини 1 кг в кожному та газовим балоном з CO<sub>2</sub> ємністю 5л. встановлені в експериментальному газоаерозольному модулі пожежогасіння на дільниці електромеханічної обробки і електромеханічної зборки дослідних зразків науково-дослідного інституту «Акорд», м. Черкаси, вулиця Одеська, 8. Експериментальний газоаерозольний модуль ефективно флегматизує та гасить горюче гомогенне середовище за рахунок синергічної дії компонентів. Газоаерозольний модуль розроблений доцентом кафедри цивільного захисту та медицини катастроф підполковником служби цивільного захисту Журбинським Д.А. Модуль газоаерозольного пожежогасіння володіє високою флегматизуючою та вогнегасною ефективністю, відрізняється невисокою вартістю по відношенню до існуючих зразків. Експлуатація та зберігання експериментальних газоаерозольних модулів є нескладними.

Завдяки впровадженню результатів науково-дослідної роботи Журбинського Д.А. вдалося суттєво підвищити рівень захисту виробничої дільниці.

Голова комісії:



А.О. Биченко

Члени комісії:

А.І. Ковальов

В.М. Нуянзін

## Додаток Д.

Методика визначення мінімальної флегматизувальної концентрації  
газоаерозольної суміші

МІНІСТЕРСТВО НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ УКРАЇНИ  
АКАДЕМІЯ ПОЖЕЖНОЇ БЕЗПЕКИ ІМЕНІ ГЕРОЇВ ЧОРНОБИЛЯ

Затверджую

Начальник кафедри  
спеціальної хімії

к.х.н., доц.,

полковник с.ц.з.

 Кукусєва В.В.

«20» серпня 2009 р

МЕТОДИКА  
ВИЗНАЧЕННЯ МІНІМАЛЬНОЇ ФЛЕГМАТИЗУВАЛЬНОЇ КОНЦЕНТРАЦІЇ  
ГАЗОАЕРОЗОЛЬНОЇ СУМІШІ

Схвалено на засіданні кафедри  
спеціальної хімії

Протокол засідання кафедри

№ 1 від «20» серпня 2009 рок

Черкаси – 2009

## ПРИЗНАЧЕННЯ І ГАЛУЗЬ ЗАСТОСУВАННЯ

1.1 Методика створена з урахуванням вимог ГОСТ 4.106-83 і призначена для визначення в лабораторних умовах флегматизувальної ефективності газоаерозольної суміші.

1.2 Методика застосовується при проведенні випробувань аерозольних вогнегасних речовин на відповідність вимогам нормативної документації, документальним матеріалам постачальника, а також у наукових дослідженнях. Методика поширюється на випробування при проведенні лабораторних робіт в ЛДУБЖД.

## 2 УМОВИ ПРОВЕДЕННЯ ВИПРОБУВАНЬ

2.1 Випробування проводяться при атмосферному тиску від 84 до 106,7 кПа; відносній вологості повітря до 95%; температурі пального від 15 до 25°C.

## 3 ТЕХНІЧНІ ЗАСОБИ ПРОВЕДЕННЯ ВИПРОБУВАНЬ

3.1 Засоби вимірювання та їх характеристики наведені в таблиці 1.

Допускається використання інших засобів вимірювання з аналогічними метрологічними характеристиками.

3.2. Технічні пристрої.

Випробування проводять на установці (рис. Д 1)

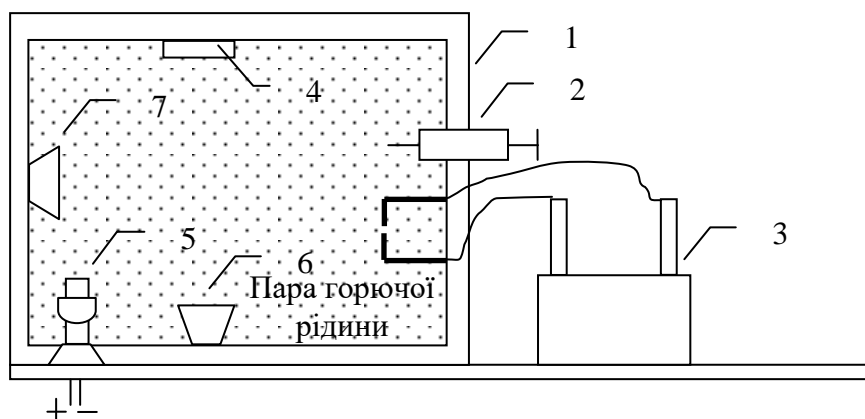


Рисунок Д.1 - Схемне зображення експериментальної установки з визначення ефективності флегматизування газових горючих середовищ вогнегасними аерозолями, газовими вогнегасними речовинами та їх сумішами (метод «камери»):

1 – випробувальна камера об'ємом 11,7 дм<sup>3</sup>; 2 – пристрій дозованого введення в камеру газової вогнегасної речовини; 3 – іскровий запалювач горючої суміші; 4 – вибухова мембрана; 5 – пристрій генерування вогнегасного аерозолю з АУС; 6 – випарник 1,9 мл гексану з поверхнею випаровування 7,06 см<sup>2</sup>; 7 – вентилятор-перемішувач газового середовища в камері

#### 4 МЕТОД ВИПРОБУВАНЬ

4.1 Даний метод ґрунтується на визначенні флегматизувальної ефективності газоаерозольної суміші.

#### 5 ПІДГОТОВКА І ПРОВЕДЕННЯ ВИПРОБУВАНЬ

5.1 Експериментальні дослідження виконували в такій послідовності:

- Поміщаємо початкову наважку АУС у пристрій генерування вогнегасного аерозолю випробувальної камери та генеруємо вогнегасний аерозоль в об'єм камери.

- У випарник з поверхнею випаровування 7,06 см<sup>2</sup> наливаємо 1,9 мл гексану, герметизуємо об'єм.



- Вмикаємо вентилятор та секундомір і фіксуємо відлік часу, протягом якого випаровується гексан та гомогенізується гексаноповітряне газове горюче середовище у випробувальній камері.

- На 60 с вмикаємо іскровий запальник та візуально визначаємо наявність або відсутність займання гексаноповітряного газового горючого середовища у випробувальній камері.

- У разі наявності загоряння гексаноповітряного газового горючого середовища збільшують наважку АУС на 0,1 г порівняно з початковою.

- У разі відсутності загоряння гексаноповітряного газового горючого середовища внаслідок спалювання наважки АУС проводять ще 4 паралельні дослідження з такою ж наважкою.

- У разі відсутності загоряння гексаноповітряного газового горючого середовища внаслідок спалювання початкової наважки АУС під час експерименту за пунктом 1 послідовно зменшують наважку на 0,1 г порівняно з початковою до настання займання.

- У разі наявності загоряння внаслідок застосування початкової наважки АУС під час експерименту за пунктом 1 послідовно збільшують наважку на 0,1 г порівняно з початковою до настання умов відсутності займання гексаноповітряного горючого середовища у випробувальній камері.

- Флегматизувальна концентрація обчислюється як відношення мінімальної наважки АУС, у разі генерування вогнегасного аерозолу з якої, відсутнє займання гексаноповітряного газового горючого середовища в об'ємі випробувальної камери експериментальної установки.

## 6 АЛГОРИТМ ОБРОБКИ ДАНИХ І ПРАВИЛА ПРИЙНЯТТЯ РІШЕННЯ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ

6.1 Визначено мінімальну флегматизувальну концентрацію аерозолу на основі неорганічних солей калію отриманого з експериментального

АУС «Багр-1» та промислового взірця АУС «АГС». Отримані результати мінімальної вогнегасної концентрації визначені методом «камери» показали, що висока флегматизувальна дія аерозолю отримана завдяки синергічній дії дрібнодисперсних інгібіторів та газових флегматизаторів з яких складеться газоаерозольна суміш. Мінімальна вогнегасна концентрація, визначена методом «камери» при гасінні дифузійного полум'я н-гептану для розробленого АУС «Багр-1» становить  $11,4 \text{ г/м}^3$  на відстані 0,4 м.

6.2 Експериментально визначено, що флегматизаційна концентрація аерозолю на основі неорганічних солей калію становить близько  $50 \text{ г/м}^3$ . Експериментально виявлено, що флегматизаційна ефективність аерозолю в нижній частині є дещо більшою, що пояснюється осадженням аерозолю та його концентрацією в нижній частині.

6.3 Експериментально підтверджено, що при збільшенні концентрації  $\text{CO}_2$  до 9% при концентрації аерозолю  $15 \text{ г/м}^3$  - суттєво підвищується флегматизаційна ефективність газоаерозольної суміші завдяки синергічній дії аерозольних інгібіторів та газових флегматизаторів. При збільшенні концентрації аерозолю до  $30 \text{ г/м}^3$  флегматизація настає при концентрації  $\text{CO}_2$  - 3%. Подальше збільшення концентрації аерозолю до  $40 \text{ г/м}^3$  призводить до флегматизації при концентрації  $\text{CO}_2$  в 2%.

## 7. ВИМОГИ БЕЗПЕКИ

7.1 Випробування можуть проводити особи, які вивчили цю методику і пройшли інструктаж з техніки безпеки на робочому місці.

7.2 Під час випробувань необхідно дотримуватись вимог безпеки при роботі з легкозаймистими речовинами та піротехнічними зарядами.

7.3 Роботи проводяться за наявності в приміщенні припливно-витяжної вентиляції.

7.4 Місце проведення випробувань повинне бути забезпечене засобами для надання першої медичної допомоги.

Розробник:

Ст. викладач кафедри М та ЦЗ  
Академії пожежної безпеки  
ім. Героїв Чорнобиля  
м-р с. ц. з.

Д.А. Журбинський

## Додаток Е.

Протокол № 0014 визначення показників флегматизувальної здатності при флегматизуванні пароповітряної суміші газозаерозолем



ЛЬВІВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
БЕЗПЕКИ ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ

НАУКОВО- ДОСЛІДНА ЛАБОРАТОРІЯ

Свідоцтво про атестацію № РЛ 1645/10 від 27 вересня 2010 р.  
Ліцензія ДДПБ МНС України серія АГ № 506341 від 11.02.2011 р.

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Начальник НДЛ  
ЛДУ БЖД

В.Л. Петровський

«20» грудня 2013 року

**ПРОТОКОЛ № 0014**  
**ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ФЛЕГМАТИЗУВАЛЬНОЇ ЗДАТНОСТІ**  
**ПРИ ФЛЕГМАТИЗУВАННІ ПАРОВОПІТРЯНОЇ СУМІШІ**  
**ГАЗОАЕРОЗОЛЕМ**

Львів-2013

## ПРОТОКОЛ 0014

### 1. ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ФЛЕГМАТИЗУВАЛЬНОЇ ЗДАТНОСТІ ПРИ ФЛЕГМАТИЗУВАННІ ГЕКСАНОПОВІТРЯНОЇ СУМІШІ ВОГНЕГАСНИМ АЕРОЗОЛЕМ

Дата проведення		Умови в приміщенні:	
випробування:	20.12.2013 р.	температура, °С	5
		атм.тиск, кПа	97,5
		відносна вологість, %	67

МІСЦЕ ПРОВЕДЕННЯ ВИПРОБУВАНЬ: Теплофізична лабораторія науково-дослідної лабораторії ЛДУ БЖД.

Адреса: м. Львів, вул. Клепарівська, 35.

ЗАМОВНИК ВИПРОБУВАНЬ:

ОБ'ЄКТ ВИПРОБУВАНЬ: Пристрій одночасної подачі вогнегасного аерозолю та газу .

Характеристика:

Об'єм балону з CO<sub>2</sub> -5л

Маса заряду АУС -1 кг

Склад заряду АУС Багр-1

Зразок наданий замовником 20.12.2013 р.

Засоби вимірювання:

Таблиця Е. 1

Назва і тип засобу вимірювання	Призначення	Діапазон вимірювання	Клас точності, ціна поділки	НД, яким встановлено вимоги
1	2	3	4	5

Продовження табл. Е. 1

1	2	3	4	5
Секундомір електронний цифровий СЕЦ 10000Щ	Вимірювання тривалості гасіння			
Вимірювач шуму і вібрації ВШВ – 003 – М2/М – 101	Вимірювання шуму і вібрації			
Психрометр МВ-4М	Вимірювання відносної вологості			
Барометр М67	Вимірювання атмосферного тиску			
Термометр ТЛ-6	Вимірювання температури			

#### МЕТОДИКА ВИПРОБУВАНЬ:

Визначення вогнегасної здатності в разі гасіння пожеж класу А

Суть методу

Метод ґрунтується на визначенні маси порошку, необхідного для гасіння із вогнегасника одиниці площі відкритої поверхні модельного осередку пожежі класу А

Апаратура

Для проведення випробувань застосовують:

— ваги з допустимою похибкою зважування 0,01 кг;

— секундомір з допустимою похибкою вимірювання 0,2 с;

— пристрій одночасної подачі вогнегасного аерозолю та газу.

— вологомір, який забезпечує вимірювання вологості деревини в діапазоні від 5 % до 20 %;

— модельний осередок горіння класу С у вигляді пальника Бунзена.

Технічні характеристики пристрою:

— місткість балону – 5л;

— маса АУС (Багр-1) 1 кг.

Визначення флегматизувальної здатності газоаерозолю для гексаноповітряної суміші

Суть методу:

Метод ґрунтується на визначенні ефекту займання – не займання при дії газоаерозольної суміші на гексаноповітряну суміш.

Апаратура

Для проведення випробувань застосовують:

— ваги з допустимою похибкою зважування 0,01 кг;

— секундомір з допустимою похибкою вимірювання 0,2 с;

— Пристрій одночасної подачі вогнегасного аерозолю та газу.

— гексан за ТУ 2637-033-44493179-99;

— модельний осередок горіння класу В, який являє пальник бунзена.

Проведення випробувань

Визначення флегматизаційної ефективності розроблених пристрою проводились в натурних умовах за методикою, наведеною нижче. При цьому бралось до уваги ДСТУ 4490:2005. Об'єм приміщення становив 65 м<sup>3</sup>. Результати випробувань наведено в актах випробувань та подано в додатках.



Випробування пристрою проходили так: об'єм приміщення для випробування –  $65 \text{ м}^3$ , негерметичність становила 0,5 %.

В якості горючого використовували гексан при стехіометричній концентрації. Гексан заливали на випарник з'єднаний з пальником бунзена. В якості запальника використовували іскровий розрядник прикріплений на зрізі пальника.

Газоаерозольну суміш подавали з пристрою відповідними кількостями аерозольутворювальної сполуки та  $\text{CO}_2$ . Пристрій одночасної подачі вогнегасного аерозолю та газу закріплювали на стінці реактора Випробування проводились для пристроїв з масою заряду 2 кг та об'ємом  $\text{CO}_2$  в 5 л.

В приміщення подавали газоаерозольну суміш до концентрації  $30 \text{ г/м}^3$  та  $\text{CO}_2$  до концентрації (4 %). Гексан заливали в випарник та давали час 180 с на випаровування. Суміш перемішували та пробували запалювати на пальнику. За позитивний результат приймали не займання після дії іскрового електричного запальника протягом 5 секунд.

Результати полігонних випробувань показали високу флегматизувальну ефективність суміші вогнегасного аерозолю та газу. Флегматизувальна концентрація газоаерозольної суміші становила від  $30 \text{ г/м}^3$  при 2 %  $\text{CO}_2$  (табл. Е. 2).

Таблиця Е.2

Результати полігонних випробувань пристрою одночасної подачі вогнегасного аерозолю та газу в приміщення об'ємом  $65 \text{ м}^3$

Усереднена тривалість подавання вогнегасних речовин, с	Результат гасіння	Концентрація поданого в об'єм $\text{CO}_2$ , % об.	Маса застосованої АУС БАГР, г	Наявність флегматизування горючого середовища протягом 15 хв	Усереднене значення флегматизаційної концентрації $\text{г/м}^3$
1	2	3	4	5	6

Продовження табл. Е. 2

1	2	3	4	5	6
58±2	Припинено горіння усіх вогнищ за проміжок часу менше 5 с	0,0	2000±0,3	Після примусового підпалу через 120 с після припинення подавання аерозолі відбулося займання гексану у металевих деках та пальника типу Бунзена	Флегматизування газового горючого середовища не забезпечено
58±2	Припинено горіння усіх вогнищ за проміжок часу менше 5 с	4,0 %	2000±0,3	Протягом 15 хв забезпечено флегматизування газового горючого середовища (не відбулося займання модельних та макетних вогнищ від джерела запалювання). Працездатність ноутбуку не порушено	30,0±0,3

## ВИСНОВОК :

1. За результатами випробувань пристроїв одночасної подачі вогнегасного газу та аерозолі забезпечено флегматизування гексаноповітряної суміші.

Провідний фахівець НДЛ

ЛДУБЖД

А.Т. Лозинський

Додаток Ж.

Акт виготовлення дослідної партії пристрою комбінованого подавання вогнегасного аерозолю та газової вогнегасної речовини – розріджувача.

Затверджую начальник ВПЛ  
ЛДУБЖД МНС України

Лозинський А.Т.

2012 р

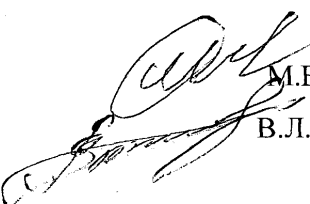


### АКТ

Виготовлення пристрою одночасної подачі вогнегасного аерозолю та газової вогнегасної речовини по результатам дисертаційної роботи  
Журбинського Дмитра Анатолійовича

Комісія в складі: голови комісії – начальника випробувальної лабораторії пожежної безпеки ЛДУ БЖД МНС України – п. Лозинського А.Т., та членів комісії – начальника сектору випробувань ДВЛ ГУ МНС у Львівській області Добровольського М.В., провідного наукового співробітника ЛДУ БЖД МНС України Петровського В.Л., склали акт про виготовлення за результатами дисертаційної роботи Журбинського Дмитра Анатолійовича експериментальних взірців пристрою одночасної подачі вогнегасного аерозолю та газової вогнегасної речовини і з масою аерозольотворювальної речовини 1 кг. Пристрої виготовлені на базі дослідно-випробувальної лабораторії пожежної безпеки у кількості 5 одиниць.

Члени комісії:

 М.В. Добровольський

 В.Л. Петровський