

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА УКРАЇНИ З НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ
ЛЬВІВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БЕЗПЕКИ ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ

На правах рукопису

ГАРАСИМ'ЮК ОЛЕКСАНДР ІВАНОВИЧ

УДК 614.844:614.845

**РОЗВИТОК НАУКОВИХ АСПЕКТІВ КОМБІНОВАНОГО
ЗАСТОСУВАННЯ ВОГНЕГАСНИХ АЕРОЗОЛІВ, ГАЗІВ ТА ПОРОШКІВ**

21.06.02 – пожежна безпека

Дисертація на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Науковий керівник:
кандидат технічних наук, доцент
Баланюк Володимир Мірчович

Львів-2016

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	4
ВСТУП	5
РОЗДІЛ 1 СУЧАСНИЙ СТАН ЗАСТОСУВАННЯ ВОГНЕГАСНИХ РЕЧОВИН.....	11
1.1 Аналіз статистики пожеж	11
1.2 Вогнегасні речовини та чинники впливу на процеси припинення горіння у разі їх застосування	14
1.3 Ідея роботи	37
1.4 Мета і задачі досліджень	41
РОЗДІЛ 2 ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ЗАСТОСУВАННЯ КОМБІНАЦІЙ АЕРОЗОЛЬНИХ, ГАЗОВИХ ТА ПОРОШКОВИХ ВОГНЕГАСНИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ ГАСІННЯ І ФЛЕГМАТИЗУВАННЯ ГОРЮЧИХ СЕРЕДОВИЩ, РОЗРОБЛЕННЯ МЕТОДИК ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	43
2.1 Вплив хімічного складу компонентів вогнегасних речовин на їх вогнегасну ефективність	43
2.2 Обґрунтування компонентного складу комбінованої тернарної вогнегасної суміші	52
2.3 Методики експериментального визначення вогнегасної та флегматизувальної ефективності сумішей вогнегасних речовин	59
2.3.1 Методика визначення вогнегасної та флегматизувальної ефективності суміші вогнегасних речовин «методом камери»	61
2.3.2 Визначення флегматизувальної ефективності тернарної суміші вогнегасних речовин «методом циліндра»	64
2.4 Висновки за розділом.....	66
РОЗДІЛ 3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ГАСІННЯ ТЕРНАРНИМИ ВОГНЕГАСНИМИ СУМІШАМИ ВОГНЕГАСНИХ АЕРОЗОЛІВ, ГАЗОВИХ ВОГНЕГАСНИХ РЕЧОВИН - РОЗРІДЖУВАЧІВ ТА ВОГНЕГАСНИХ ПОРОШКІВ	67

	3
3.1 Математичне планування експерименту.....	67
3.2 Вплив співвідношення вогнегасного аерозолю та газів - розріджувачів в сумішах на температуру дифузійного та кінетичного полум'я.....	78
3.3 Експериментальне визначення ефективності гасіння аерозольно-газо-порошковими сумішами різних складів.....	85
3.4 Флегматизувальна ефективність тернарних сумішей вогнегасного аерозолю, газових вогнегасних речовин – розріджувачів та вогнегасного порошку	96
3.5 Тривалість ефективної вогнегасно-флегматизувальної дії тернарних аерозольно-газо-порошкових сумішей.....	102
3.6 Висновки за розділом.....	103
РОЗДІЛ 4 ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ РОБОТИ.....	104
4.1 Розроблення складового елемента автоматичної системи комбінованого пожежогасіння з подаванням тернарної суміші вогнегасних речовин.....	104
4.2 Рекомендації з використання та особливості забезпечення умов вогнегасної ефективності тернарної суміші.	109
4.3 Розроблення технічної документації на автоматичну систему (пристрій) комбінованого пожежогасіння з подаванням тернарної суміші вогнегасних речовин.....	111
4.4 Техніко-економічна оцінка, впровадження результатів роботи	116
4.5 Висновки за розділом.....	117
ВИСНОВКИ.....	118
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	120
ДОДАТКИ	131
Додаток А Проект технічних умов «Автоматичні системи комбінованого пожежогасіння з подаванням тернарної суміші вогнегасних речовин»	132
Додаток Б Акти виготовлення та впровадження	149

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ

АГПС – аерозольно-газо-порошкова суміш;

АУС – аерозольутворювальний склад;

ВП – вогнегасний порошок;

ВР – вогнегасна речовина;

ГВА – генератор вогнегасного аерозолю;

ГВР – газова вогнегасна речовина;

ГВРР - газова вогнегасна речовина – розріджувач;

ДСНС – Державна служба України з надзвичайних ситуацій;

СГПС - стехіометрична гептано-повітряна суміш;

ТВС – тернарна вогнегасна суміш;

ХНО – хімічно небезпечний об'єкт.

ВСТУП

Ефективність боротьби з пожежами значною мірою залежить від ефективності вогнегасних речовин, найбільшого поширення з яких для об'ємного та локального об'ємного пожежогасіння набули як у світовій практиці, так і в Україні, газові, порошкові та аерозольні засоби пожежогасіння.

Значний обсяг теоретичних та експериментальних досліджень з розробки таких засобів та технологій їх застосування висвітлено в роботах Копилова М., Цариченка С., Меркулова В., Агафонова В., Вайсмана М., Горшкова В., Безродного І., Навроцького О., Пашковського П., Булгакова Ю., Костенка В., Ковалишина В., Антонова А., Жартовського В., Дунюшкіна В., Сізікова О., Цапка Ю., Тропінова О., Апановича В., Орла В., Білошицького М., Баланюка В., Копистинського Ю., Журбинського Д., та ін. Як відомо, одним із шляхів підвищення ефективності припинення горіння є комбіноване застосування різних за механізмами припинення горіння вогнегасних речовин. Як правило, це стосується їх бінарних сумішей. Незважаючи на наявну теоретичну базу і досягнуті практичні результати з цих питань, науковий інтерес і практичне значення мають процеси припинення горіння у разі комбінованого впливу тернарних сумішей вогнегасних речовин, зокрема вогнегасного аерозолі, газових вогнегасних речовин (розріджувачів) та вогнегасного порошку. Актуальною є задача розкриття особливостей взаємного впливу таких вогнегасних речовин на їх вогнегасну ефективність як теоретичне та практичне підґрунтя підвищення ефективності їх застосування в практиці пожежогасіння та протипожежного захисту замкнених та напівзамкнених об'ємів об'єктів різного призначення.

Зв'язок роботи з науковими темами. Робота виконувалась відповідно до: «Концепції Державної цільової соціальної програми забезпечення пожежної безпеки на 2011—2015 роки», затвердженої розпорядженням Кабінету Міністрів України від 29 грудня 2010 р. № 2348-р та «Державної цільової соціальної програми забезпечення пожежної безпеки на 2012-2015 роки»,

затвердженої постановою Кабінету Міністрів України від 01.06.2012 р. № 590, у рамках виконання науково-дослідної роботи «Провести дослідження з розкриття особливостей процесів припинення горіння горючих речовин під час застосування сучасних вогнегасних речовин та технологій їх подавання (№ держреєстрації ДР 0111U006565), в якій здобувач був виконавцем.

Ідея роботи полягає у підвищенні ефективності припинення горіння у замкнених та напівзамкнених технологічних об'ємах та приміщень шляхом одночасного подавання вогнегасного порошку, вогнегасного аерозолю та газової вогнегасної речовини – розріджувача з обґрунтованими співвідношеннями компонентів та параметрами їх подавання.

Метою роботи було розкриття особливостей впливу виду і співвідношення компонентів у тернарній системі «вогнегасний порошок–вогнегасний аерозоль–газова вогнегасна речовина-розріджувач» на ефективність припинення горіння в замкненому і напівзамкненому об'ємах як наукове підґрунтя розвитку наукових аспектів застосування комбінованого пожежогасіння.

Для досягнення зазначеної мети поставлено до вирішення такі задачі досліджень:

– провести аналіз сучасного стану розробки та застосування систем пожежогасіння комбінованим способом і виявити шляхи підвищення їх ефективності, а також флегматизування горючих середовищ в замкнених та напівзамкнених об'ємах;

– розробити методики проведення теоретичних та експериментальних досліджень з виявлення впливу співвідношень концентрацій вогнегасних аерозолів, вогнегасних порошків та газових вогнегасних речовин-розріджувачів на ефективність припинення горіння та флегматизування горючих середовищ;

– провести експериментальні дослідження з виявлення залежності флегматизувальної та вогнегасної ефективності від співвідношення концентрацій вогнегасних аерозолів, вогнегасних порошків та газових вогнегасних речовин-розріджувачів у їх тернарних сумішах;

– розробити технічні вимоги та технічні документи щодо схемного рішення автоматичної системи пожежогасіння з подаванням тернарної суміші вогнегасного аерозолю, вогнегасного порошку та газової вогнегасної речовини-розріджувача;

– провести експериментальні дослідження з визначення вогнегасної та флегматизувальної ефективності застосування розробленої автоматичної системи з подаванням тернарної суміші вогнегасного аерозолю, вогнегасного порошку та газової вогнегасної речовини-розріджувача;

– розробити проект рекомендацій щодо застосування розробленої автоматичної системи пожежогасіння для припинення горіння і флегматизування горючих середовищ в системах протипожежного захисту об'єктів.

Об'єктом дослідження були процеси припинення горіння в замкнених та напівзамкнених технологічних об'ємах та приміщеннях у разі одночасного подавання тернарної суміші вогнегасного порошку, вогнегасного аерозолю та газової вогнегасної речовини-розріджувача.

Предмет дослідження – вплив виду і співвідношення компонентів тернарної суміші вогнегасного порошку, вогнегасного аерозолю та газової вогнегасної речовини на ефективність процесу припинення горіння в замкнених та напівзамкнених об'ємах.

Методи дослідження. У роботі використано комплексний метод досліджень, що включав аналіз і узагальнення науково-технічних досягнень з питань розроблення і застосування газових, аерозольових та порошкових вогнегасних речовин. Вогнегасну ефективність сумішей вогнегасних речовин визначали за запропонованою у роботі методикою на атестованому обладнанні з використанням метрологічно повірених засобів вимірювання. Ефективність припинення горіння у разі застосування тернарних сумішей вогнегасних речовин перевіряли у полігонних умовах під час гасіння модельних вогнищ пожеж класів А та В за ДСТУ EN 2 (підкласу А1 та класу В за ГОСТ 27331). Результати досліджень обробляли методами обчислювальної математики.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у розкритті особливостей впливу виду і співвідношення компонентів у тернарній системі «вогнегасний порошок–вогнегасний аерозоль–газова вогнегасна речовина-розріджувач» на підвищення ефективності припинення горіння у замкнених та напівзамкнених об'ємах за умови одночасного її подавання з обґрунтованими параметрами. При цьому:

–вперше виявлено, що у разі одночасного комбінованого застосування тернарних сумішей вогнегасних аерозолів, вогнегасних порошків із вмістом неорганічних солей калію та газових вогнегасних речовин-розріджувачів (діоксид карбону або азот), відбувається зниження значень вогнегасної та флегматизувальної концентрації горючих середовищ у 2,2÷4,4 рази порівняно з їх вогнегасною концентрацією та більше ніж на порядок – порівняно з флегматизувальною концентрацією газової вогнегасної речовини-розріджувача; на відміну від бінарних газоаерозольних сумішей досягається припинення горіння рідких і твердих горючих речовин, а також газових горючих середовищ та забезпечується відсутність їх повторного займання.

–набуло подальшого розвитку уявлення щодо ефективності комбінованого застосування тернарних сумішей вогнегасних аерозолів, вогнегасних порошків-інгібіторів горіння і газових вогнегасних речовин-розріджувачів в системах протипожежного захисту об'єктів з наявністю горючих середовищ і можливістю виникнення пожеж класів А, В, С та електрообладнання;

–удосконалено автоматичну систему пожежогасіння, яка забезпечує ефект припинення горіння та флегматизування горючих середовищ в замкнених і напівзамкнених об'ємах з можливістю виникнення пожеж класів А, В, С та електрообладнання протягом щонайменше 15 хвилин шляхом генерування в захищуваний об'єм тернарної суміші вогнегасних аерозолів, вогнегасних порошків та газових вогнегасних речовин-розріджувачів.

Практичне значення одержаних результатів полягає у розробленні, виготовленні і апробуванні автоматичної системи пожежогасіння комбінованим способом з подаванням тернарної суміші вогнегасного порошку, вогнегасного

аерозолі, та газу-розріджувача для протипожежного захисту об'єктів з можливістю виникнення пожеж класів А, В, С та електрообладнання.

Розроблено відповідні технічні документи, виготовлено дослідно-промислові зразки автоматичних систем пожежогасіння тернарною сумішшю вогнегасного порошку, вогнегасного аерозолі та газової вогнегасної речовини-розріджувача.

Результати досліджень впроваджено шляхом застосування розробленої автоматичної системи комбінованого пожежогасіння для протипожежного захисту електрощитової нафтобази ТОВ «АС ІНВЕСТВЕНТ» м. Калинівка, а також впровадження дослідницьких методик у діяльність дослідно-випробувальної лабораторії та у навчальний процес Львівського державного університету безпеки життєдіяльності під час викладання дисциплін «Теорія горіння та вибуху», «Теоретичні основи пожежовибухонебезпечності», а також проведенні науково-дослідних робіт з визначення вогнегасної та флегматизувальної ефективності вогнегасних речовин.

Особистий внесок здобувача полягає у ґрунтовному, розширеному аналізі вітчизняних та закордонних літературних джерел, виконанні експериментальної частини та обробці даних експерименту, формулюванні основних висновків роботи, розробленні автоматичної системи пожежогасіння та перевірці її працездатності. У роботах, опублікованих за співавторства і наведених в авторефераті дисертації, особистий внесок такий:

[1] – визначено вогнегасну ефективність аерозольно-азотних сумішей; [2] – визначено, що суміш вогнегасного аерозолі, порошку та газів - розріджувачів забезпечує ефективний захист від запалювальних сумішей; [3] – визначено умови підвищення ефективності аерозольно-порошкового гасіння ; [4] – визначено вогнегасну ефективність деяких аерозольотворювальних сполук; [5] – описано особливості гасіння горючих речовин в різних агрегатних станах; [6] – розглянуто механізм дії деяких аерозольних флегматизаторів, визначено їх вогнегасну ефективність; [7] – визначення вогнегасної ефективності гасіння горючих речовин вогнегасним аерозолем на основі солей

калію; [8] – встановлено, що добавка CO_2 до аерозоллю неорганічних солей калію значно підвищує вогнегасну ефективність суміші.

Апробація результатів роботи. Основні результати досліджень було апробовано та схвалено на таких національних та міжнародних конференціях:

- Всеукраїнська конференція рятувальників, 23-24 вересня 2014 року, Київ;
- XXXXI Міжнародна науково-практична конференція «Актуальні проблеми у сфері науки», 30-31 травня 2016 року, Чернівці;
- Міжнародна науково-практична конференція «Актуальні наукові проблеми. розгляд, рішення, практика», 27–28 травня 2016 р., Одеса;
- Міжнародна науково-практична конференція «Актуальні проблеми моделювання ризиків і загроз виникнення надзвичайних ситуацій на об'єктах критичної інфраструктури», 26-28 травня 2016 року, Київ.

Публікації. Основні результати досліджень були опубліковано в 8 роботах, 3 з яких представлені у науково-метричних базах та закордонних виданнях, а саме 1 стаття в журналі, який цитується в науково-метричній базі Scopus, 1 стаття в журналі, який цитується в науково-метричних базах CrossRef, American Chemical Society, EBSCO, Index Copernicus, та одна стаття у фаховому іноземному виданні.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається з вступу, чотирьох розділів, висновків, переліку використаних літературних джерел і додатків. Матеріали дисертаційної роботи викладено на 130 сторінках друкованого тексту, що містить 20 рисунків, 20 таблиць, 2 додатки та 140 посилань на використану літературу. Повний текст дисертації викладено на 130 аркушах.

РОЗДІЛ 1

СУЧАСНИЙ СТАН ЗАСТОСУВАННЯ ВОГНЕГАСНИХ РЕЧОВИН

1.1 Аналіз статистики пожеж.

За даними ДСНС України щороку кількість пожеж в Україні збільшується і сягає вже понад 70 тис. пожеж, зокрема, за останні три роки збільшилась на 18 тис. пожеж: у 2013 році – 61114, у 2014 році – 68879, а у 2015 році – 79581, при цьому, кількість загиблих на пожежах становила 2494, 2246 та 1947 відповідно. Значна частка пожеж та загиблих припадає на промислові об'єкти зі зберіганням та обертанням горючих рідин та газів [1].

Що стосується надзвичайних ситуацій в Україні, пов'язаних із пожежами та вибухами, то у 2014 році зареєстровано 47 таких випадків, внаслідок яких загинуло 152 людини.

Тільки на об'єктах нафтогазового комплексу (підприємства НАК «Нафтогаз України») експлуатуються газокompресорні станції, газорозподільні станції, підземні сховища газу, магістральні нафтопроводи, до яких входять нафтоперекачувальні станції та резервуарні парки, а також об'єкти буріння, видобування та переробки вуглеводнів.

Протягом 2014 року на об'єктах ПАТ «Укртрансгаз» зареєстровано аварію, яка виникла в результаті стороннього втручання, що спричинило вибух з подальшим загорянням посівів пшениці та виток газу за межі охоронної зони магістрального газопроводу «Уренгой – Помари – Ужгород» та призвело до руйнування лінійної частини магістрального газопроводу. Обсяг витoku природного газу в навколишнє природне середовище склав приблизно 3 млн. м³.

13 травня 2015 року на газорозподільному пункті (ГРП) на вулиці Соборній міста Ірпінь Київської області стався вибух газу. Біля ГРП №5 після проведення ремонтних робіт лопнула газова засувка з послідуочим загорянням газу.

Також значна загроза виникнення пожеж та вибухів є на хімічно-небезпечних об'єктах (ХНО). В Україні функціонує 931 ХНО, на яких

зберігається або використовується у виробничій діяльності 308,07 тис. тон небезпечних хімічних речовин, у тому числі 4,08 тис. тон хлору, 202,66 тис. тон аміаку та 101,33 тис. тон інших небезпечних хімічних речовин.

Рівень безпеки більшості хімічних, нафтохімічних та нафтопереробних виробництв характеризується як моральним старінням застосовуваних технологій, так і ресурсним зношенням, моральним і фізичним старінням основних фондів. Значна кількість технологічного обладнання та транспортних засобів хімічного комплексу не відповідають вимогам безпеки, вичерпали встановлений ресурс експлуатації.

На підприємствах хімічного комплексу значна кількість будівель і споруд потребує капітального ремонту, не всі будівлі і споруди відповідають вимогам будівельних норм. На рівень забезпечення пожежної безпеки хімічних виробництв негативно впливає недосконалість нормативно-правової бази, яка не забезпечує в нових економічних умовах стимулювання заходів щодо зменшення ризику виникнення аварійних та надзвичайних ситуацій.

Головними причинами можливого виникнення надзвичайних ситуацій, пов'язаних із небезпечними хімічними речовинами та незадовільної екологічної ситуації в місцях розташування ХНО, є: високий рівень концентрації небезпечних хімічних речовин; високий рівень сировинно- і енергоємного виробництва; застарілі технології та низький рівень застосування прогресивних; ресурсозберігаючих та екологічно безпечних технологій; зношення основних фондів підприємств; низька ефективність очисних споруд; низький рівень культури виробництва та порушення проектних; технологічних режимів; фінансові труднощі тощо.

Одними із складних є пожежі на трансформаторних підстанціях через високу напругу і наявність трансформаторної оливи. Так 1 лютого 2015 року на території заводу ВАТ «Турбоатом» (м. Харків) сталося загоряння трансформаторної підстанції з послідуочим розповсюдженням вогню на покрівлю ливарного цеху площею 200 м². На місці пожежі було евакуйовано 111 людей. До гасіння пожежі залучалося 18 одиниць техніки та 90 чоловік особового складу ГТУ ДСНС України в Харківській області.

На Черкащині 11 жовтня 2015 року на трансформаторній підстанції виникла пожежа, без світла залишилися частина міста Сміла та кілька населених пунктів. Внаслідок загоряння на підстанції, яка знаходилася під високою напругою, із трансформатора витекло близько 100 літрів оливи, яка також загорілося на площі 100 м². Причиною виникнення пожежі стало коротке замикання у трансформаторі.

Аналіз пожеж на об'єктах суб'єктів господарювання, профілактику на яких здійснює державний нагляд у сфері пожежної та техногенної безпеки, свідчить про зменшення кількості пожеж на підприємствах, в організаціях, закладах упродовж 2015 року проти аналогічного періоду позаминулого року на 14,9 %, яка становить 2168. Унаслідок пожеж на підприємствах, в організаціях, закладах загинуло 28 людей (1,4 % від загальної кількості загиблих унаслідок пожеж).

Що стосується пожеж на підприємствах, організаціях та закладах загальнодержавної власності, то в Україні у 2014 році їх виникло 362, що становить 14,3% від їх загальної кількості; прямі збитки складають 29 млн. 840 тис. грн., 5,9% від суми прямих збитків на підприємствах, в організаціях, закладах; побічні збитки – 2 млрд. 938 млн. 839 тис. грн., 81,1% від суми побічних збитків на підприємствах, в організаціях, закладах. Унаслідок пожеж на об'єктах загальнодержавної власності загинуло 10 осіб (за 2013 рік – 5 осіб).

Аналіз причин виникнення пожеж у 2014 році на підприємствах, організаціях та закладах загальнодержавної власності свідчить, що найбільша їх кількість на зазначених об'єктах виникла від порушення правил улаштування та експлуатації електроустановок – 99 (27,3% від пожеж на об'єктах загальнодержавної власності), внаслідок підпалів – 84 (23,2%) та від необережного поводження з вогнем – 74 (20,4%).

У 2015 році на торговельно-складських спорудах кількість пожеж зменшилась на 16,2 % порівняно з 2014 роком. Загалом на цих об'єктах виникло 828 пожеж. Прямі збитки склали 137 млн 979 тис. грн (+16,3 %). Побічні збитки на цих спорудах склали 213 млн 644 тис. грн (+3,7 %).

Серед транспортних засобів найчастіше горіли легкові (3204 або 75,0% від пожеж на транспорті) та вантажні автомобілі (487 або 11,4%). Об'єктами пожеж також були 290 автобусів, 71 трактор, 62 причепа, 38 комбайнів іноземного та 20 комбайнів вітчизняного виробництва, 33 одиниці мототранспорту, 17 одиниць спеціальної техніки, 13 трамваїв, 5 тролейбусів тощо.

Статистика свідчить про динаміку зростання кількості пожеж на заправних станціях, компресорних, трансформаторних, резервуарах, вибухів як в результаті так і внаслідок пожежі. При цьому існує ще цілий ряд так званих складних пожеж, які характеризуються непридатним для дихання середовищем, несприятливим середовищем, при браку води, а також умовах особливої небезпеки для особового складу – (склади боєприпасів, газові компресорні станції, об'єкти нафтогазової промисловості та ін.).

1.2 Вогнегасні речовини та чинники впливу на процеси припинення горіння у разі за їх застосування

На сьогоднішній день найчастіше для гасіння твердих горючих матеріалів використовують воду. Це пов'язано з її доступністю, значною теплоємністю, високою теплою випаровування, не токсичністю. Аналіз науково-технічної та патентної літератури свідчить про те, що постійно ведуться дослідження, спрямовані на отримання альтернативних воді вогнегасних речовин, які б не поступалися в економічності, зручності у використанні і транспортуванні та були б екологічно прийнятними.

Найбільш широко застосовуються вогнегасні речовини, що охолоджують поверхню палаючих речовин і матеріалів, ізолюючи ці речовини і матеріали від зони горіння. І те і інше досягається методом подавання цих вогнегасних речовин на поверхню горючого. Найбільш простими за механізмом припинення горіння вважаються нейтральні розріджувачі, застосовувані переважно для гасіння плавного горіння газів і парів горючих рідин. А найбільш

однозначними за механізмом припинення горіння вважаються хімічно активні інгібітори.

Хладони вперше набули широкого використання як газові вогнегасні речовини у 60-х роках минулого століття завдяки їх виключній вогнегасній здатності і відповідним фізичним властивостям. Подальшим вивченням цих речовин було встановлено їх причетність до руйнування стратосферного озону - після вивільнення деякі хладони вступають в реакції каталітичного руйнування озону, при цьому самі не витрачаються. Пошук ефективної альтернативи екологічно небезпечним хладонам, привів до створення принципово нового засобу – генератору вогнегасного аерозолю [3]. Основною перевагою цього засобу є висока ефективність при гасінні пожеж класу В і підкласу А2 за ГОСТ 27331 в обмежених обсягах. Одержують газо-аерозольну суміш шляхом запалювання спеціально підібраної композиції безпосередньо в момент гасіння пожежі.

Враховуючи аналіз деяких методів об'ємного пожежогасіння, необхідно відмітити, що до цих пір не розроблені загальноприйняті принципи і кількісні закономірності, що дозволяють заздалегідь розраховувати умови пожежогасіння. Це пов'язано з надзвичайним різноманіттям факторів, які визначають розвиток і придушення пожежі. Тому для підбору вогнегасних речовин і визначення норм їх подавання користуються зазвичай експериментальними даними з обчисленням конкретних умов передбачуваної пожежі. При цьому і у відносинах експериментальних методів вибору і оцінки ефективності вогнегасних засобів однаковість відсутня. Перш за все потрібно відмітити, що існують лабораторні і полігонні методи випробування вогнегасних речовин. Необхідність перевірки результатів лабораторних дослідів полігонними випробуваннями обумовлена складністю моделювання процесу пожежогасіння в обмеженому об'ємі і в частковості екстраполяції результатів дослідів на реальні масштаби.

Очевидним є взаємозв'язок між необхідною для гасіння пожежі кількістю вогнегасної речовини та її ефективністю - чим менше необхідна вогнегасна концентрація (питома витрата) ВР, тим більше її ефективність. Чим менша

вогнегасна ефективність засобу, тим більша тривалість гасіння пожежі і більше загальна витрата ВР. Витрата вогнегасної речовини залежить від інтенсивності її подавання і тривалості гасіння. За недосягнення нормативної інтенсивності подавання вогнегасної речовини тривалість гасіння збільшується, при зростанні інтенсивності подавання - зменшується. Відповідно вогнегасна ефективність і інтенсивність подавання є основними параметрами вогнегасних засобів. У випадку застосування засобів гасіння об'ємним способом (газових ВР) під вогнегасною ефективністю розуміють концентрацію ВР в об'ємних процентах або в грамах (кілограмах) на одиницю захищуваного об'єму, яка забезпечує припинення горіння.

У загальному випадку, за інтенсивність подавання вогнегасних речовин приймають їх масову витрату під час гасіння на одиницю захищеної площини або об'єму [4]. Інтенсивність подавання вогнегасних речовин виражають в $\text{кг}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{с}^{-1}$, або в $\text{л}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{с}^{-1}$, а при об'ємному пожежогасінні - $\text{л}\cdot\text{м}^{-3}\cdot\text{с}^{-1}$. Питома витрата вогнегасних речовин визначається перемноженням значень інтенсивності їх подавання та тривалості гасіння.

При проектуванні систем пожежогасіння після вибору вогнегасної речовини найбільш важливо визначити оптимальну інтенсивність її подавання. Вирішення цього завдання пов'язано з необхідністю дотримання двох умов: питома витрата повинна бути мінімальна, а тривалість гасіння не повинна перевищувати нормативного значення. Кожен процес гасіння має свої особливості теплового режиму. Згідно існуючих уявлень про граничні умови горіння нижче температурної межі, за якої може розповсюджуватися полум'я, що самопідтримується, для звичайних вуглеводних горючих матеріалів, має значення приблизно $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$. При зниженні температури горіння нижче цієї межі відбувається затухання полум'я. Між тим для початку горіння достатньо нагріти горюче середовище до температури її самозаймання. Інколи вважають, що гасіння полум'я можливо досягти лише при зниженні температури в зоні реакції нижче температури самозаймання.

Із викладених свідчень про горіння випливає, що гасіння гетерогенного горіння може бути забезпечено охолодженням зони реакції або поверхні

горючого матеріалу. В останньому випадку придушення горіння досягається тоді, коли відвід тепла від палаючої речовини відбувається з більшою швидкістю, ніж поглинання тепла, що передається від полум'я. У той же час розрахунки показують, що припинення горіння охолодженням зони реакції до граничного значення (близько 1000 ° С) вимагає відібрання такої кількості тепла із зони горіння, яке відповідає 45% теплоти згорання горючої суміші стехіометричного складу.

Таким чином, для припинення горіння охолодженням зони реакції потрібно відвести в два рази більше тепла, ніж при охолодженні поверхні палаючої речовини.

У випадку горіння твердих горючих матеріалів джерелами запалювання може бути як дифузійне полум'я, так і осередки гетерогенного горіння на поверхні горючої речовини. Тому подеколи припинити полум'яне горіння твердих горючих матеріалів, навіть на досить тривалий час, – ще не означає загасити пожежу цілком. Існує велика ймовірність, що вона продовжуватиметься за механізмом гетерогенного горіння - тління [5], яке може бути досить інтенсивним та призвести до повторного виникнення полум'яного горіння. Як відомо [6, 7], до тління схильні тверді речовини і матеріали, які не плавляться в процесі горіння. Такий вид горіння характерний для термореактивних полімерів, речовин рослинного походження, зокрема деревини, при горінні та піролізі яких утворюється твердий вуглецевий шар. Найчастіше спостерігається процес тління вуглецевого залишку на завершальній фазі вигорання деревини. В цьому випадку після займання температура верхнього шару деревини підвищується до 290-300°C завдяки теплу, яке випромінює полум'я, в результаті чого відбувається інтенсивний вихід продуктів згорання і встановлюється найвищий розмір факела полум'я. Внаслідок розкладу верхній шар деревини перетворюється в деревне вугілля, яке в даних умовах горіти не може, оскільки кисень, який підходить з повітря, весь вступає в реакцію в зоні горіння полум'я.

Особливості закономірностей інгібування горіння полягають перш за все в тому, що інгібувати можна тільки ті процеси горіння, які пов'язані з

ланцюговим розгалуженим характером окислення такими властивостями володіють горючі системи, в яких в якості окисника бере участь кисень (повітря).

В цей же час процеси горіння органічних матеріалів в інших окисниках, в галогенах, оксидах азоту, протікаючи переважно по тепловому механізму, як відомо, не інгібують наприклад вогнегасні порошки.

Невдалими до цього часу залишаються також спроби знайти інгібітори для придушення горіння в повітрі металів і ряд металовмісних речовин (гідридів легких металів, деяких елементоорганічних з'єднань).

Горіння органічних матеріалів протікає через стадію окислення водню. В роботах [8, 9] показано, що горіння водню при атмосферному тиску (в області третьої межі) на початковій стадії протікають ізотермічно. Це вказує на виключно ланцюговий характер початку горіння і, отже, на принципову можливість інгібувати горіння водню в цих умовах. Показана також важлива роль в окисненні і інгібування окислення водню реакціями з участю HO_2 і H_2O_2

Гальмівна дія горіння пов'язана з розпадом тієї частини активних центрів, яка відповідає термодинаміці їх утримання. При зниженні концентрації активних центрів протікання реакції стає утрудненим, оскільки частина активних центрів компенсується вступом нових активних центрів в результаті термічного впливу. Тому остаточне припинення горіння, як правило, досягається при одночасному гальмуванні реакції і охолодженні наприклад, при розбавленні зони реакції надлишком реагуючої горючої суміші.

Оцінка ефективності вогнегасних речовин пов'язана з необхідністю моделювання процесів гасіння. Хоча, як відзначалось, достатньо точне моделювання цих процесів вельми проблематичне, цілком очевидно, що не можна орієнтуватися тільки на лабораторні випробування.

Як бачимо з проведеного аналізу існуючі вогнегасні засоби мають високу вогнегасну ефективність в певних умовах, але для ефективного гасіння пожеж класів А вони не придатні, через неможливість ефективно подавляти гетерогенне горіння – власне горіння карбону з температурою горіння в районі 600-700 °С.

В той же час можливо передбачити, що ефективне гасіння такого роду пожеж може бути реалізоване в разі комбінованого застосування вогнегасних порошків та аерозолів, до характерних сумісних властивостей яких відносяться:

- висока вогнегасна здатність, відтак відносно малі значення мінімальної вогнегасної концентрації;

- можливість створювати та тримати вогнегасну концентрацію в захищуваному приміщенні достатньо тривалий час – близько 20-30 хвилин;

- здатність подавляти поверхневе гетерогенне горіння – тління, тобто забезпечувати в достатній мірі ізолювальну та охолоджувальну дію;

- швидкодія;

- низька вартість протипожежного захисту об'єктів;

- екологічна безпечність (відсутність токсичних компонентів, озоноруйнівних речовин, низька корозійна активність, хімічна інертність);

- суттєво менша (в порівнянні з засобами водяного і пінного гасіння) негативна дія та відповідно непрямі збитки від пожежі в результаті пошкоджень, заподіяних приміщенню і майну, що знаходиться в ньому,

- вогнегасна речовина (порошок чи осівший аерозоль) легко видаляється механічним способом;

- можливість застосування в умовах низьких температур, коли використання води, піни, діоксиду карбону і інших засобів неефективно, економічно не вигідно або недопустимо;

- в порівнянні з системами газового та лише аерозольного гасіння, низька вимогливість до герметичності приміщень;

- різноманітність способів використання (стаціонарні системи, вогнегасники, автомобілі).

З метою об'єднання в одне ціле властивостей вогнегасних порошків та аерозолів, необхідно розглянути більш детально властивості вогнегасних порошків та вогнегасних аерозолів щодо їх дії на пожежі в обмеженому об'ємі.

Як відомо[10], існує чотири способи припинення горіння: охолодження зони горіння або самих речовин, які горять; ізолювання реагуючих речовин від

зони реакції; розбавлення реагуючих речовин в зоні реакції негорючими речовинами; хімічне гальмування реакції горіння.

Першим способом припинити горіння можливо дією на поверхню матеріалів, які горять, вогнегасними речовинами, а також охолодженням таких матеріалів методом їхнього змішування. Другий спосіб полягає у створенні ізолювального шару між зоною горіння і матеріалами, що горять, або в прорізах приміщень, де виникла пожежа. Для розбавлення повітря в нього вводяться негорюча пара і газ (третій спосіб). Із цією метою використовується вуглекислий газ, водяна пара, азот та інші компоненти.

Четвертий спосіб реалізується подачею інгібіторів (речовин, які сповільнюють проходження хімічних реакцій або припиняють їх) на поверхню матеріалів, які горять, або введенням їх у газове середовище, яке надходить у зону реакції.

На практиці, проте, часто для гасіння пожеж використовуються одночасно декілька способів. Наприклад, вода охолоджує предмети, які горять, а пара, що виникає, знижує відсотковий вміст кисню в зоні горіння. Відомий варіант комбінованого порошково-газового пожежогасіння, який реалізується, зокрема, модулями пожежогасіння ViZone [11], полягає в тому, що струмінь, що складається з суміші тонкодисперсного порошку на основі фосфату амонію і діоксиду карбону, з високою швидкістю подається в об'єм, що захищається, рівномірно його заповнює і створює в ньому вогнегасне газо-порошкове середовище. Це середовище діє на зону газофазного полум'я, здійснює його гасіння за рахунок розбавлення окислювача газом і поглинання активних центрів полум'я частинками порошку. Постійно з'являється інформація щодо дослідження та впровадження у практику таких комбінацій, які в процесі взаємодії здатні нівелювати певні недоліки кожного з компонентів.

Отже ефективними для гасіння пожежі можуть бути різні вогнегасні суміші і речовини. Вони можуть бути рідкими, твердими, газоподібними і мають відповідати основним вимогам: мати велику ефективність гасіння — при порівняно невеликій витраті швидко припиняти горіння; не чинити шкідливої дії на організм людини під час використання, транспортування, зберігання; не

псувати речей і речовин, які зазнають їхньої дії; бути дешевими, доступними; не вимагати особливих умов зберігання і виготовлення. У зв'язку з тим, що з недавнього часу проявляється тенденція дослідження комбінованого гасіння – основою даної роботи стало вивчення можливості удосконалити типовий вогнегасний модуль аерозольного пожежогасіння, що складається з корпусу та аерозольутворювального заряду, застосувавши в ньому крім цього заряду вогнегасний порошок та газову вогнегасну речовину - розріджувач (CO_2 або N_2).

Внески різних факторів у гасіння неоднакові. Хімічне інгібування (сповільнення) горіння супроводжується неповним згорянням частини горючої речовини і, як наслідок призводить до зменшення потужності тепловиділення з вогнища. Екранування зменшує потік променистої енергії від факела полум'я до горючої речовини.

Зменшення потужності вогнища та екранування можуть призвести до охолодження поверхні горючої (легкозаймистої) рідини і, як наслідок, до зниження швидкості її випаровування.

Дія вогнегасних порошоків на полум'я визначається рядом фізичних і хімічних факторів. Хімічні, у свою чергу, залежно від хімічного складу порошку і виду полум'я, обумовлюють гасіння, як гомогенним, так і гетерогенним інгібуванням (гальмуванням) реакцій горіння.

Гомогенне інгібування здійснюється шляхом втягування активних радикалів в іон-молекулярні комплекси з іонами, молекулами, атомами солей, рекомбінації активних радикалів її впливом цих частинок, а також зміни теплових ефектів ряду хімічних реакцій у полі впливу іонів [12].

У разі гетерогенного інгібування частинки порошку діють як "пастки" активних центрів процесів, що відбуваються у полум'ї. При цьому може відбуватись адсорбція радикалів з наступною рекомбінацією в молекули, або адсорбція чи абсорбція атомів радикалів з утворенням на поверхні частинок порошку більш або менш стійких проміжних сполук адсорбційного типу.

Значно більший внесок у гасіння вносить вогнеперешкоджальний ефект, який приводить до ускладнення поширення полум'я крізь вузькі канали, що

утворюються об'ємною сіткою порошку. Дисперсність активної основи і добавок є однією з найважливіших фізико-хімічних характеристик компонентів вогнегасних порошоків. Зі збільшенням дисперсності активної основи підвищується вогнегасна ефективність порошку. Змінюючи дисперсність порошку, можна керувати внеском гомогенного фактору у процес інгібування в разі гасіння полум'я [13]. Наявність при цьому хорошого ендотермічного ефекту також сприяє охолодженню поверхні. В результаті зіткнення атомів і радикалів, які відповідають за розвиток ланцюгових процесів горіння, з твердою поверхнею частинок відводиться найбільш цінний для хімічних реакцій вид енергії — хімічна енергія вільних атомів, радикалів і збуджених частинок, які забезпечують високу реакційну здатність [14].

Виходячи з цього, можна зробити висновок, що для гасіння пожеж класу В доцільно використовувати високодисперсні вогнегасні порошки, виготовлені з матеріалу, що здатний випаровуватися або розкладатися в полум'ї з виділенням газоподібних продуктів, які мають високу інгібувальну здатність.

Крім того, дрібнодисперсний порошок на фосфорно-амонійній основі при високій температурі розплавляється і спікається, утворюючи тверде склоподібне покриття типу плівки, що перешкоджає проникненню кисню до осередку горіння. Як встановлено [15], частки порошку, перебуваючи в потоці повітря в зваженому аерозольному стані, утворюють хмару з вмістом порошку $70-150 \text{ г/м}^3$, при якому неможливо горіння полум'я. Порошкові засоби пожежогасіння універсальні по своєму активному впливу на різні матеріали: легкозаймисті та горючі рідини, пластики, дерево, вугілля, електрообладнання, що знаходиться під напругою і т.п. Як показує аналіз складу вогнегасного порошку, він складається в основному з трьох фракцій: великої (100 – 200 мкм до 15 – 20%), середньої (10 – 50 мкм основна маса – 60 % і більше) і дрібної фракції (10 мкм і менше до 15 – 20%).

Монреальська конвенція і ряд інших міжнародних угод стали суттєвою перешкодою перед вогнегасними речовинами, що руйнують озоновий прошарок атмосфери Землі. Україна не залишилася осторонь від цього процесу, про що свідчить ратифікація міжнародних угод. Протоколом рекомендовано

якнайшвидше виводити з використання та утилізувати ці речовини, не допускаючи значної емісії в атмосферу. У зв'язку з цим постала проблема розроблення альтернативних газових вогнегасних речовин, які б мали близький до нуля озоноруйнівний потенціал, не чинили шкідливого впливу на людину та довкілля, мали близькі до традиційних хладонів фізико-хімічні властивості, що забезпечило б мінімальні витрати на переобладнання існуючих систем пожежогасіння.

Пошук ефективної альтернативи екологічно небезпечним хладонам, привів до створення принципово нового засобу — вогнегасного аерозолю. Основною перевагою цього засобу є висока ефективність при гасінні пожеж класу В і підкласу А2 в обмежених обсягах. Одержують газо-аерозольну суміш шляхом запалювання спеціально підібраної композиції безпосередньо в момент гасіння пожежі. Процес одержання аерозолю протікає в камері згорання генератора вогнегасного аерозолю (ГВА).

Використання ГВА як виконавчого елемента системи автоматичного пожежогасіння дозволяє позбутися від ряду недоліків, властивих системам об'ємного пожежогасіння:

- наявність балонів або посудин під тиском для збереження речовини;
- наявність магістральних і розподільних мереж трубопроводів для доставки вогнегасної речовини;
- значна металоємність систем пожежогасіння.

Дослідження рецептур сучасних зарядів АУС і властивостей одержуваних із них вогнегасних аерозолей, показало, що сучасні аерозолеутворюючі сполуки мають високі експлуатаційні характеристики, наприклад, вогнегасна концентрація у 3-5 разів нижче від концентрації хладону 13В1, а коефіцієнт озоноруйнної дії аерозолю при вогнегасних концентраціях дорівнює нулю. Також продукти згорання АУС безпечні для людей, не руйнують обладнання, що захищається.

Проте час, необхідний для створення вогнегасної концентрації в приміщенні, що захищається, в системах аерозольного гасіння, перевищує

значення аналогічного показника інших систем об'ємного гасіння. Основну частину його складає час роботи ГВА.

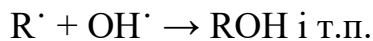
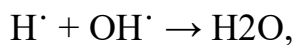
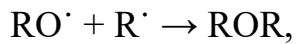
Достатньо ефективними при гасінні пожеж, пов'язаних з горінням твердих горючих матеріалів, є порошкові вогнегасні засоби. Дія вогнегасних порошоків на полум'я визначається рядом фізичних та хімічних факторів, зокрема розбавленням горючого середовища газоподібними продуктами розкладу порошку чи безпосередньо порошкової хмари; охолодженням зони горіння в результаті затрат тепла на нагрівання частинок порошку, їх часткове випаровування і розклад в полум'ї; ефектом вогнеперешкодження, який досягається при проходженні порошку через вузькі канали; інгібуванням хімічних реакцій.

На сьогоднішній день ще не сформовано єдиної думки щодо механізму вогнегасної дії порошоків. Автори роботи [16] при дослідженні великої групи солей у вигляді порошку встановили, що одні порошки слабо впливають на швидкість горіння, а інші навіть при незначній концентрації різко знижують швидкість поширення полум'я. Порошки першої групи, так звані термічні порошки, а саме силіцій, алюміній, купрум оксиди, алюміній сульфат, магній карбонат та ін., діють тільки як холодна стінка, знижуючи кінетичну енергію активних частинок. Інша група порошоків (сульфати, галогеніди лужних металів та ін.) діє значно ефективніше завдяки значній інгібувальній здатності.

В роботі [17] при визначенні ефективності пригнічення полум'я порошками солей лужних металів виявлено, що дія порошоків проявляється в охолодженні палаючих газів за рахунок відведення тепла. Але цієї кількості тепла недостатньо для того, щоб повністю припинилося горіння. Тому було висловлено припущення, що гальмування реакції горіння відбувається в результаті взаємодії іонів з проміжними продуктами реакції. Цей висновок підтверджують досліді [18], в результаті яких встановлено, що при дії NaHCO_3 температура полум'я знижується максимум на 75 К. Про тепловий механізм дії порошоків йде мова в роботах [19, 20]. В цих роботах гасіння дифузійного полум'я різними солями пояснюється теплопоглинанням на нагрівання, випаровування чи розклад вогнегасного агента.

Вогнегасний ефект порошків на основі бікарбонатів лужних металів значно перевищує ефект охолодження чи розбавлення карбон діоксидом, який виділяється при розкладі цих порошків, про що свідчать результати роботи [21]. Це вказує на здатність порошків гальмувати хімічні реакції горіння за рахунок інгібувальної дії.

Ряд дослідників вважають, що гасіння полум'я за допомогою порошків зумовлене гомогенним інгібуванням, яке здійснюється завдяки взаємодії активних радикалів з газоподібними продуктами розкладу або випаровування порошків [22, 23]. Інша група спеціалістів пов'язує гасіння полум'я з селективною адсорбцією активних частинок горіння на поверхні порошку з подальшою їх гетерогенною рекомбінацією:



Гетерогенний механізм інгібування підтверджується встановленою лінійною залежністю між квадратом швидкості поширення полум'я і сумарною площею поверхні частинок порошку [24]. Цей висновок узгоджується з експериментальними даними [25, 26.], що вказує на важливу роль гетерогенного механізму. Про поверхневий характер інгібування свідчить проведений маспектрометричний аналіз складу газового середовища у фронті полум'я, в результаті якого не було виявлено продуктів взаємодії гідроксильних радикалів з інгібітором [27].

Симбатність між коефіцієнтами рекомбінації атомів кисню на різних солях і вогнегасною здатністю цих солей, вираженою оберненою величиною добутку концентрації порошку і питомої площі поверхні, є не лише додатковим доказом правильності гетерогенного механізму, а й сприяла виявленню перспективних солей [21, 28]. За зменшенням вогнегасної ефективності досліджувані солі розташовуються в наступному порядку: $K_2C_2O_4 \cdot H_2O > \underline{NaCl} > K_2Cr_2O_7 > \underline{KCl} > \underline{K_2CO_3} > \underline{Na_2CO_3} > \underline{Na_2SO_4} > \underline{NaF} > \underline{NaHCO_3}$. Як видно із запропонованого ряду найефективнішим є оксалат калію, що пов'язано, на думку дослідників, зі здатністю його розтріскуватися і значно збільшувати сумарну площу поверхні в

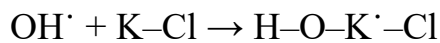
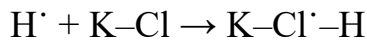
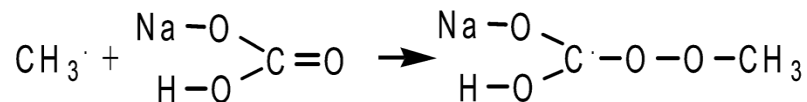
одиниці об'єму. Дрібні частинки нагріваються і частково випаровуються, в результаті чого поряд з гетерогенним ефектом проявляється гомогенний вплив цієї солі на полум'я.

Інгібування за гомогенним механізмом відбувається за умови перебування інгібітора в газовому стані. Тому виникає питання про здатність твердих частинок порошку переходити в газову фазу. В роботі [29] було показано, що дійсно порошки з розміром частинок 6-8 мкм можуть випаровуватись при проходженні через фронт полум'я, що говорить про суттєву роль гомогенного механізму. Можливість утворення газоподібних продуктів випаровування чи розкладу порошків підтверджене в роботі [30], однак цей ефект проявляється лише при розмірі частинок меншому за 10 мкм. Прогрівання частинок порошку більших розмірів недостатнє для їх випаровування, інгібувальна дія реалізується за гетерогенним механізмом. Як підсумок висловлюється думка про можливість дії порошків за комбінованою схемою гетерогенного-гомогенного механізму [30,31].

Більш переконливо на користь гомогенного механізму гасіння полум'я дрібнодисперсними порошками (розмір частинок менший за 5 мкм) висловлюються автори роботи [32]. Запропоновано два можливі механізми гальмування процесу горіння. Перший з них характерний для солей, які не розкладаються в полум'ї (наприклад, NaCl), і реалізується в результаті реакції $H + NaCl \rightarrow Na + HCl$ з подальшою взаємодією атомів Na з активними центрами. Другий механізм характерний для солей, які розкладаються у фронті горіння (наприклад, Na_2CO_3). Він полягає в нагріванні і випаровуванні частинок порошку, розкладі частинок солей, які випарувалися, до атомів металу та інгібуванні процесу горіння атомами металу. Однак інші дослідники [33] встановили, введення в горючу систему парів калію не призводить до суттєвого гальмування горіння. Передбачено, що інгібування полум'я солями лужних металів полягає в утворенні гідропероксиду металу і видаленні з його допомогою атомарного водню і гідроксильних радикалів: $MeOH + H \cdot \rightarrow H_2O + Me$, $MeOH + OH \cdot \rightarrow H_2O + MeO$. Гідроксиди металів можуть утворюватися в результаті потрійних зіткнень

$\text{Me} + \text{OH} \cdot + \text{П} \rightarrow \text{MeOH} + \text{П}$, але ймовірність протікання такої реакції при атмосферному тиску невелика. Тому вважають, що кисневмісні солі, розкладаючись з утворенням оксиду металу, ініціюють реакцію: $\text{Me}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{MeOH}$.

Разом з тим автори роботи [34,35] піддають сумніву можливість дії вогнегасних порошоків на полум'я як за гомогенним, так і за гетерогенним механізмом, висловлюючи припущення, що причиною припинення горіння є взаємодія між активними частинками горіння з цілими молекулами інгібітора:



Утворені вільні радикали менш активні і вступають в реакцію з молекулами горючої речовини і окисника з меншою швидкістю, аніж активні частинки які утворилися безпосередньо з молекул горючої речовини.

З приводу складності виявлення домінуючої ролі того чи іншого механізму, доречно згадати авторів[34,36], які стверджують, що кожен із механізмів - гетерогенне інгібування, охолодження зони реакції завдяки нагріванню і розкладу (випаровуванню) твердих частинок чи гомогенне інгібування, є складним сумарним процесом ряду більш елементарних стадій, які не просто доповнюють одна одну, а знаходяться в складному взаємозв'язку. Зокрема гетерогенне інгібування є сукупністю таких процесів як охолодження реакційної зони, емісія частинок порошку в зону горіння та дезактивація активних частинок полум'я, яка в свою чергу складається з декількох стадій: адсорбції, рекомбінації, десорбції. Так званий "ефект вогнеперешкодження" є нічим іншим як гетерогенним інгібуванням, в якому мідна сітка чи хмаринка пилу відіграють роль третьої частинки необхідної для реакції рекомбінації типу $\text{H} + \text{H} \rightarrow \text{H}_2$, а охолодження відбувається не в результаті збільшення тепловідведення, а в результаті різкого зменшення теплонадходження внаслідок миттєвої гетерогенної "загибелі" великої кількості активних частинок

одночасно в усьому об'ємі полум'я і, як наслідок, переривання ланцюгових реакцій горіння [37]. Автори іншої роботи [38,39] переконують, що згідно з теорією меж поширення полум'я, “ефект вогнеперешкодження” при гасінні полум'я у вузьких каналах реалізується за рахунок тепловтрат з зони реакції до стінок каналу. І нарешті, ефект гомогенного інгібування зумовлений надходженням в газову фазу молекул частинок порошку, що відбувається внаслідок термічного випаровування чи розкладу, емісії поверхневих атомів, руйнування поверхні при дії атомарного водню.

Отже, основним, але не єдиним механізмом дії вогнегасних порошоків є механізм інгібування. Покриваючи шаром поверхню горіння, порошки забезпечують ізолюючий ефект. Маючи велику теплоємність і теплоту плавлення, випаровування і розкладу, солі металів охолоджують зону горіння. Нарешті, велика кількість дрібнодисперсного порошку, введена миттєво, розводить і флегматизує горючу суміш. Враховуючи наявність синергізму вогнегасної спільної дії порошоків на основі бікарбонату натрію і хлориду калію та вогнегасної основи аерозольних сполук, пропонується для пожежогасіння в середовищах із концентрацією кисню від 30% (об.) до 60% (об.) використовувати комбіноване пожежогасіння за рахунок максимально досяжної флегматизації середовища аерозольними сполуками з одночасним інгібуванням процесу горіння вищевказаними порошками.

Однак часто недостатнє ознайомлення з основними факторами дії порошоків на вогнища пожеж різних класів часто призводить до неправильного застосування тих чи інших марок порошоків в умовах реальних пожеж [40]. Зокрема низька охолоджуюча здатність більшості порошоків є одним із основних недоліків, що унеможлиблює їх використання для успішного гасіння пожеж класу А 1. Реальний охолоджуючий ефект порошку складає не більше 10-20% від загальної кількості тепла, що виділяється при горінні [35]. При порошковому пожежогасінні порошок подається, як правило, протягом 5-30 секунд, гасіння пожежі відбувається вже через 2-8 секунд після подачі вогнегасного порошку. Надалі відбувається самостійне охолодження конструкцій. Вогнегасна концентрація порошку утримується не більше

5 секунд, а потім знижується і за наявності конструкцій, які мають температуру вищу за температуру займання горючих матеріалів або прихованих осередків тління можливе повторне займання [41]. В умовах розвинутої пожежі на ділянках, які були загашені порошками, вже через 20-30 секунд може виникнути повторне горіння і пожежа буде розвиватися з попередньою інтенсивністю [42].

Проведений аналіз літературних джерел свідчить про те, що більшість розробок в області порошкового пожежогасіння полягає не в створенні нових, а в удосконаленні уже добре відомих і апробованих рецептур шляхом додавання до неорганічної основи добавок різного роду. Іншим шляхом підвищення вогнегасної здатності порошків є створення вогнегасних композицій (сумішей), в склад яких входять дві різні активні складові (створення двокомпонентних складів (заміна основного компонентна іншим із посиленням їх спільної дії – синергізму) – створення бінарних сумішей).

Найчастіше як основу вогнегасних порошків використовують такі неорганічні солі як карбонати, бікарбонати, фосфати, сульфати, хлориди, похідні алофанової кислоти, сечовину та її сполуки, а також їх суміші, рідше – борати, тартрати, оксалати, цитрати та ін. солі. Для підвищення текучості вогнегасних порошків в основному вводять речовини із класу силікатів, зокрема тальк, каолін, крейду, гіпс, слюду, вермикуліт, перліт, цеоліт та ін. Широко застосовуються суміші різних речовин в невеликих кількостях, які забезпечують гідрофобність і антизлежуваність вогнегасних порошків поряд з текучістю. З цією метою в міжнародній практиці використовують кремній діоксид і його модифікації, органічні сполуки – стеарати, алюмінієві похідні, кремнійорганічні сполуки і ПАР, а також їх суміші. Загалом в патентних матеріалах заявлені найрізноманітніші добавки: графіт, кальцій фосфат, сполуки бору, кобальт сульфід, барій сульфат, магній чи кальцій карбонат, каніфоль, полівінілхлорид, полівініліденхлорид та багато інших.

Всі описані дослідження зводяться до пошуку найбільш оптимального складу порошків, який би забезпечував максимальну вогнегасну ефективність та універсальність застосування.

Іншим напрямком досліджень є розробка комбінованих засобів пожежогасіння, тобто застосування вогнегасних порошків в поєднанні з іншими вогнегасними засобами. Так, в роботах [43, 44] описано вплив добавок CO_2 на вогнегасну ефективність бінарних аерозольно-газових сумішей та зазначено, що вони значно підвищують вогнегасну ефективність гасіння за рахунок зменшення вогнегасної концентрації речовин у рази. Вогнегасна газопорошкова суміш, яка містить діоксид карбону та вогнегасний порошок у співвідношенні 600:1 є ефективною при гасінні, як об'ємному, так і по площі, пожеж, обумовлених горінням горючих та легкозаймистих рідин. Ще одним прикладом комбінованого способу гасіння є одночасне використання вогнегасних порошків і азоту [44, 45]. Таке поєднання призводить до зменшення витрати вогнегасних порошків і підвищення їх ефективності при гасінні горіння пропан-бутанової суміші. На особливу увагу заслуговують комбіновані порошки типу СИ на основі силікагелю, насиченого хладоном 114В2, однак їх використовують в основному для гасіння органічних рідин, в тому числі пірофорних, гідридів металів, деяких кремнійорганічних сполук. Підвищена вогнегасна ефективність цих порошків зумовлена поєднанням ефекту часткового ізолювання рідини від повітря і гальмуванням реакції полум'я одним із сильних інгібіторів – дибромтетрафторетаном [21, 46].

Досвід експлуатації та випробувань показує, що одним із суттєвих недоліків конструкції порошкових вогнегасників є неповнота виходу вогнегасного порошку (ВП), що офіційно закріплено нормативним документом на рівні не більше 15% [47]. Є підтверджені факти, коли залишок ВП в корпусі вогнегасника досягав у середньому близько 30% [48]. На жаль, це не поодинокі випадки, тому вони заслуговують самостійного вивчення, оскільки підривають довіру споживача до первинних засобів пожежогасіння, покликаним захищати людину і його майно на початковому етапі загоряння.

Аналіз розвитку конструкції порошкових вогнегасників показав, що тривалий час вона залишається незмінною. Основний недолік полягає у недосконалості способу витіснення ВП, що використовує сифонну трубку, при

якому деяка частина газу-витискувача з корпусу вогнегасника проривається крізь товщу ВП і йде в атмосферу, не здійснюючи корисної роботи.

Ще одним завданням в процесі використання вогнегасних порошків є подолання їх злежування разом з тим не знижуючи вогнегасну ефективність через додавання спеціальних добавок. Результати експериментів наведені в роботі [49] вчених над створенням нового порошкового вогнегасного засобу підтверджують можливість вирішення питання шляхом просочення достатньо грубих (1-5 мм) частинок високопористого мінерального носія (наприклад, спучених перліту або вермікуліту) розчинами вогнегасних солей.

Важливо згадати також гідрофобізацію основних компонентів вогнегасного порошку, яка дозволяє поліпшити гідрофобні властивості гігроскопічних неорганічних солей. Операція гідрофобізації необхідна для отримання ВП з високою вогнегасною здатністю і тривалим терміном зберігання. В даний час, незважаючи на наявність літератури [50-55], присвяченій питанню гідрофобізації, механізм процесу утворення гідрофобного шару на поверхні гідрофільної речовини, оброблюваної в різних типах млинів, вивчений не до кінця. В даний час, в якості інертної добавки до вогнегасних порошків широко застосовується аморфний діоксид кремнію (біла сажа марки БС-120, аеросил та ін.) [56, 57]. Вибір добавки у виробництві ВП визначається її вартістю, властивостями (розмір часток, питома поверхня) і очікуваними характеристиками готового продукту (вогнегасного порошку).

Вогнегасні аерозолі отримують здебільшого шляхом розкладу твердопаливних аерозольгенерувальних матеріалів аерозольних вогнегасних речовин. Ці речовини являють собою спеціальні структурні композиції, основою яких є гетерогенні конденсовані суміші горючих (базових) компонентів та окисників з добавками (або без них) цільових і технологічних компонентів. За нормальних умов твердопаливні композиції характеризуються високою хімічною стабільністю, але під час нагрівання (від електричної спіралі, піропатрона, вогнища пожежі) здатні інтенсивно реагувати (згоряти) і забезпечувати бажаний ефект утворення вогнегасних аерозолів з прийнятними для практики пожежогасіння властивостями.

Горіння твердопаливних композицій є окисно-відновним процесом. Як окисники використовують солі неорганічних кислот, оксиди металів, а також кисень повітря (або їх комбінації), а відновниками є горючі неорганічні та, здебільшого, органічні речовини. В результаті горіння аерозольових вогнегасних речовин за рахунок органогенних елементів горючих речовин і кисню мінерального окисника утворюються газоподібні продукти, а за рахунок залишку мінерального окисника – тверді дрібнодисперсні солі і оксиди металів. Сполуки металів, що утворюються в результаті газофазних хімічних реакцій і перебувають у полум'ї в газоподібному стані, потрапляючи в холодне навколишнє середовище, охолоджуються і перенасичують газовий простір. Відбувається їх конденсація з утворенням у потоці газу твердих частинок мікронних і субмікронних розмірів, – аерозолі. Тому більшість дослідників вважають, що механізм вогнегасної дії аерозолів аналогічний до дії вогнегасних порошків, а зростання вогнегасної ефективності аерозолів пов'язують насамперед з більшою дисперсністю утворених частинок. Так, при гетерогенному інгібуванні цей ефект реалізується завдяки більшій питомій поверхні частинок та утворенні частинок зі “свіжою поверхнею”, а при гомогенному інгібуванні – полегшенням прогрівання і газифікації твердих частинок в полум'ї.

Ефективність дії вогнегасного аерозолі залежить насамперед від складу твердопаливних композицій, а також умов їх згорання. При виборі окисника враховують в першу чергу здатність його підтримувати горіння за рахунок кисню, який вивільняється при термічному розкладі цього окисника. Окрім того окисники, які використовуються в АВР, мають бути мінімально гігроскопічними і токсичними, стійкими при температурах 50-70°C і до дії води, а їх розклад не повинен супроводжуватися вибухом. Найчастіше як окисники застосовують калій нітрат чи калій перхлорат або їх суміші, тому відомі аерозольутворювальні вогнегасні засоби відрізняються в основному типом горючої речовини та співвідношенням її і окисника, вмістом добавок різного призначення.

Вибір горючих компонентів повинен проводитись з врахуванням можливості легкого окислення їх киснем повітря чи окисника, здатності виділяти при згорянні достатню кількість газів. Горючою основою АВР здебільшого є такі органічні синтетичні речовини як фенолформальдегідна смола (ідітол), епоксидіанові та поліефірні смоли, синтетичні каучуки та нітроцелюлоза з різноманітними пластифікаторами. Окрім згаданих характеристик перелічені речовини володіють одночасно властивостями притаманними як горючій речовині, так і зв'язному-цементатору, що забезпечує високу міцність вогнегасних зарядів [58].

Найпоширенішими на сьогоднішній день є нестехіометричні аерозольотворювальні композиції, тобто з надлишком горючого. Повнота згорання таких складів можлива лише за участі кисню повітря. На повітрі вони горять з факелом полум'я, в якому виділяється значна частина тепла. Такий факел може мати високу температуру навіть на достатньо великій віддалі від поверхні горіння, оскільки залучене повітря не є ефективним охолоджувачем. З метою зменшення температури таких факелів запропоновано використовувати спеціальні охолоджувачі, що призводить до зростання ваги усієї конструкції генератора і його габаритів. Окрім того, як показує практика, при цьому спостерігається зниження вогнегасної ефективності аерозолі.

Основною перевагою твердопаливних складів є висока ефективність гасіння полум'я. Це пов'язано, насамперед, зі збільшенням ступеню розбавлення зони горіння інертними газами, зокрема N_2 з повітря, яке використовується в факелі [59]. В роботі [60] зазначено, що використання таких складів для гасіння пожеж з питомою витратою $50-100 \text{ г/м}^3$ і більше призводить до зниження вмісту кисню в об'ємі, що захищається, в середньому на 1-4%. Окрім того відбувається розбавлення горючої суміші негорючими газами (CO_2 , N_2 , пари H_2O), які утворюються при згорянні твердопаливної композиції, що викликає деяке зниження швидкості окислення в полуменевій зоні і, як наслідок, зниження швидкості і температури горіння. Однак автор роботи [61] висловлює думку, що впливом розбавлення зони горіння варто знехтувати, оскільки фактична концентрація інертних газів при гасінні АВР приблизно

дорівнює $0,025\text{кг/м}^3$, що в 16 разів менше, ніж потрібно для гасіння методом розбавлення горючого середовища.

Не зважаючи на суттєві переваги таких складів при гасінні пожеж об'ємним способом, вони неефективні при гасінні тління.

Згорання нестехіометричних складів, яке відбувається без доступу повітря, супроводжується виділенням метану, вуглекислого газу, вуглеводнів та надлишкового власного кисню. Перевагою таких складів, як зазначено в роботі [62], є їх здатність придушувати тління. Проте для повного окислення продуктів згорання таких складів власного кисню недостатньо. Велика кількість горючих газів в продуктах згорання є легшими за повітря, що очевидно призводить до поступового зменшення їх концентрації внизу приміщення. Спливаючи вгору, вони захоплюють з собою найтонший аерозоль, що зменшує ефективність пожежогасіння в нижній частині приміщення.

Стехіометричні склади здатні горіти безполуменево або з невеликим факелом. Але на практиці такі склади застосовуються не часто в зв'язку з невисокою ефективністю, в тому числі при гасінні тління, високою температурою горіння.

Змінюючи співвідношення цільових добавок, а зокрема, каталізатора, інгібітора та охолоджуючого агента, можна також регулювати процес термічного розкладу аерозолеутворювальних засобів від полуменевого горіння до переведення його в безполуменеву газифікацію.

Умови практичного застосування аерозолевих вогнегасних засобів висувають суперечливі вимоги до параметрів аерозолеутворення: вогнегасна ефективність і швидкість аерозолеутворення повинні бути досить високими, а температура вогнегасного аерозолю – низькою. Та, як правило, саме високотемпературний аерозоль найбільш дрібнодисперсний і характеризується більш високою вогнегасною ефективністю і швидкістю аерозолеутворення. Безполуменевий низькотемпературний аерозоль має дещо меншу вогнегасну ефективність і більш низьку швидкість аерозолеутворення. Однак кожен з варіантів має свої переваги, які реалізуються на практиці. У роботі [3]

узагальнено внески чинників впливу на процеси припинення горіння у разі застосування вогнегасних речовин, які наведено на рисунку 1.1.

Стосовно ефективності застосування вогнегасних порошків, вогнегасних аерозолів та газових вогнегасних речовин – розріджувачів у разі пожежогасіння об'ємним способом, тобто створенням вогнегасної концентрації речовини у будь-якій частині об'єму приміщення будівлі або технологічного об'єму, що захищається, слід зазначити, що кожному окремому виду вогнегасних речовин притаманні як свої переваги, так і свої недоліки.

Для вогнегасних порошків на фосфорно-амонійній основі перевагами є здатність припинювати горіння твердих тліючих речовин і матеріалів, так і горючих рідких та газових середовищ, а недоліком – короткий термін існування в об'ємі вогнегасної концентрації внаслідок осідання вогнегасного порошку під дією гравітації. Газові вогнегасні речовини – розріджувачі по-перше, потребують наявності балонів високого тиску для їх зберігання, по-друге, не ефективні у разі припинення горіння схильних до тління твердих горючих речовин і матеріалів, а також у разі наявності критичного значення негерметичності захищуваного об'єму.

До переваг генераторів вогнегасних аерозолів слід віднести їх економічність, здатність протягом тривалого проміжку часу (до 30 хвилин) підтримувати в об'ємі вогнегасну та флегматизувальну концентрації, але, як і газові вогнегасні речовини, вони не ефективні у разі припинення горіння твердих горючих речовин та матеріалів, схильних до тління. Крім того, ефективність дії вогнегасних аерозолів суттєво залежить від ступеню герметичності захищуваного об'єму.

Вид вогнегасних речовин	Чинники впливу на процеси припинення горіння					
	охолодження	інгібування	розбавлення	ізолювання	флегматизування	класи пожеж
Твердофазові (вогнегасні порошки)						
ABC	1	4	1	3	1	A,B,C (E,F)
BC	1	4	1	0	1	B,C (E,F)
ABCD	1	3	0	3	0	A,B,C,D (E)
D	1	1-2	0	1-2	0	D
ЦП (цільового призначення)	1-2	1-3	0-2	0-3	0-1	ЦП
Рідиннофазові неводні	1-2	4	2	0	2	B,C (E)
Вода	2	0	1	0	0	A
Рідиннофазові водні (вода+ПАР)	3	0	1	0	0	A,B,C (E,F)
Рідиннофазові водопінні	1	0-1	0-1	3-4	0-1	B,A
Рідиннофазові водоемульсійні	2	0-2	0-2	0	0-2	B,C
Рідиннофазові гелеутворювальні	3	0	0	2	0	A
Рідиннофазові комбіновані	2-3	1-4	1-4	1-4	1-4	A,B,C
Перегріта вода	2	0	2	0	2	A,B,C
Газофазові розріджувачі	1	0	4	0	4	B,C (E, F)
Газофазові інгібітори горіння	1	4	2	0	4	B,C (E, F)
Вогнегасні аерозолі (тверда та газова фази)	1	4	2	0	4	B,C (E, F)

Рис. 1.1 Внески чинників впливу на процеси припинення горіння у разі застосування вогнегасних речовин [3]

Позначення впливу: «0» - практично відсутній; «1» - незначний; «2» - помірний; «3» - значний; «4» - домінуючий

1.3 Ідея роботи

Результати аналізу особливостей побудови та функціонування сучасних систем об'ємного пожежогасіння свідчать, що одним із ефективних є автоматичні системи аерозольного пожежогасіння, основним елементом яких є генератор вогнегасного аерозолю.

Виявлені переваги систем пожежогасіння з використанням ГВА порівняно з традиційними, а саме: відсутність посудин під тиском для зберігання вогнегасної речовини та мережі трубопроводів для її доставки, як наслідок цього – низька металомісткість системи, простота технічного обслуговування та тривалий строк експлуатації системи.

Питання створення й удосконалювання систем аерозольного гасіння висвітлено у роботах А.М. Баратова, В.В. Агафонова [63, 64], М.П. Копилова, В.М. Алікіна [65, 66], Бондаренка С.Н, [67, 68]. В їх роботах основна увага приділяється вирішенню наступних проблем: зниження пожежної небезпеки процесу отримання вогнегасної речовини, вибору оптимальних схем розміщення ГВА для забезпечення рівномірного розподілу аерозолю в приміщенні, що захищається. Питанням удосконалення характеристик ГВА, таких як тривалість роботи, швидкодія, інтенсивність аерозолеутворення, практично не приділяється уваги. Відсутність математичних моделей, які пов'язують характеристики ГВА з параметрами заряду АУС, не дозволяє створювати нові модифікації ГВА з бажаними характеристиками. Тому задача з обґрунтування можливості створення генераторів вогнегасного аерозолю з покращеними характеристиками, а також розробка рекомендацій з їх проектування, є актуальною.

Провідна роль у розробці і виробництві як аерозолеутворювальних сполук (АУС), так і генераторів вогнегасного аерозолю, належить російським підприємствам. Зокрема, АТ "Граніт–Саламандра" (м. Москва), НВО ім. С.М. Кірова (м. Перм), Науково-дослідний інститут прикладної хімії (м. Сергієв Посад), Федеральний центр подвійних технологій "Союз" (м. Дзержинський, Московська область), Іноваційно-впроваджувальний центр

"Техномаш" (м. Перм), фірма "Эпотос+" (м. Москва), ТОВ "Озон–Пермь" (м. Перм), Спеціальне конструкторське технологічне бюро "Технолог" (м. Санкт-Петербург).

В Україні над створенням систем аерозольного пожежогасіння працюють СП "Паралакс", ТОВ "Крайз" (м. Полтава), АЦЗУ МНС України (м. Харків), ТОВ "Проектний інститут "Електропром".

До розробки засобів аерозольного гасіння виявляють інтерес і закордонні фірми. Фірмою Kidde Walter (США) виконано цикл експериментальних досліджень з гасіння пожеж в двигунах та багажних відсіках літаків за допомогою аерозольних сполук. Фірма Dinamit Nobel (Німеччина) сумісно з Люберецьким НВО "Союз" (Росія) налагодила випуск аерозольних генераторів для європейського споживача. Фірмою Kidde Deugra (Німеччина) сумісно з фірмою "Інтертехнолог" (Росія) створено рецептури аерозолеутворювальних сполук (АУС), які не утворюють токсичних продуктів та мають невелику температуру горіння. Ще одна іноземна розробка – порошковий аерозоль А (SFE) являє собою новий тип хімічної вогнегасної речовини, що складається з надзвичайно малих твердих частинок ($<1\mu$), що створюються в хімічній реакції окислювання і випускаються у вигляді аерозолу. Цей високоефективний аерозоль містить до 40% твердих частинок і 60% газоподібних молекул, має характеристики потоку газу, більш легкі ніж повітря, є стійким і зваженим у повітрі протягом тривалого періоду часу. Через високе об'ємне розширення і малий розміром частинок аерозолу SFE досягає і перевершує приблизно в 3 рази пожежогасіння галоном (на ваговому співвідношенні). Установка не потребує балонів під тиском, не має труб і сопел, не потрібні окремі будівлі для зберігання.[69]

Засоби порошкового пожежогасіння за кордоном вже до середини 60-х років досягли певного рівня розвитку. У провідних країнах застосовувалися порошкові вогнегасники, стаціонарні установки і автомобілі. Найбільш повно гамма цих виробів представлялася західнонімецькими фірмами «Тоталь», «Мінімакс» і французької «Біро». Основними передумовами широкого їх використання були універсальність застосування (для гасіння пожеж майже

всіх класів), висока вогнегасна здатність, значний температурний межа використання від мінус 60 до плюс 50° С і відносно невисока вартість.

Вітчизняна промисловість до цього часу вже має багатий досвід розроблення та застосування систем пожежогасіння з використанням різних вогнегасних речовин, в тому числі і вогнегасних порошків. Серійне виробництво вогнегасних порошків в Україні здійснюють ТОВ «Науково-виробнича фірма «ФАКТОР», ТОВ «ПРО-МІКС», ТОВ «Технопарк-Пожтехніка». Модулі порошкового пожежогасіння із зарядом ВП від 1 до 15 кг випускає ТОВ «Науково-виробнича фірма «ФАКТОР», із зарядом ВП 15 кг та 90 кг – Науково-виробнича фірма «БРАНД-МАЙСТЕР ПЛЮС».

Для збільшення вогнегасної здатності ВП розроблені комбіновані склади [70, 71], що включають два основних компоненти: фосфат амонію і хлорид амонію, при цьому мається на увазі наявність синергетичного посилення вогнегасної здатності суміші. Відомий винахід [72] де основою для вогнегасного порошку служать хлорид калію і діаммонійфосфат. При цьому вдається отримати ВП, призначений для гасіння всіх класів пожеж А, В, С, D, Е. Також у патенті [73] пропонується удосконалення технології приготування ВП в порівнянні з існуючою Пірант-А [74]. Зокрема, виключається стадія розчинення вихідної сировини за рахунок застосування помольно-вакуумної установки.

В даний час в розроблених вогнегасних порошках фосфат амонію може використовуватися як єдиний основний компонент [75-81], так і в суміші з іншим основним компонентом - сульфатом амонію [82-85]. Співвідношення фосфат амонію: сульфат амонію варіюється залежно від призначення та умов застосування порошку. Вогнегасні АВС-порошки CENTRIMAX і ISOCOMP (Англія) виробляються з вмістом моноаммоній фосфата від 20 до 90 мас.%, решта - сульфат амонію[86]. В Росії кількість введеного сульфату амонію варіюється від 10 до 50 мас.%. [87]

В процесі розвитку технологій у різних країнах були створені різноманітні конструкції систем порошкового пожежогасіння. В останні роки в Україні найбільше поширення отримали системи порошкового пожежогасіння

на основі модулів із зарядом ВП до 15 кг, що пояснюється їх порівняно невисокою вартістю, зручністю монтування, можливістю створення систем для захисту об'єктів з різноманітними об'ємно-планувальними характеристиками. Історично склалось, що в Україні випускаються модулі порошкового пожежогасіння (МПП) «закачного типу» (НВФ «ФАКТОР», НВФ «БРАНД-МАЙСТЕР ПЛЮС»), а у Російській Федерації, продукція якої представлена на ринку України, – модулі із джерелом газу-витискувача у вигляді газогенерувального елемента (МПП «Буран», «Тунгус», «Гарант»). У Російській Федерації також випускаються модулі порошкового пожежогасіння “ViZone”, які по суті є модулями комбінованого (порошково-газового) пожежогасіння. Для витіснення вогнегасного порошку в них застосовується діоксид карбону, який зберігається в окремому балоні у зрідженому стані. При цьому його кількість суттєво (в 10-15 разів) перевищує значення, необхідне для витіснення заряду ВП [88], за рахунок чого підвищується вогнегасна ефективність цих модулів.

В результаті багаторічних досліджень, проведених як в Україні, так і за кордоном, розроблено широку номенклатуру вогнегасних речовин та технічних засобів пожежогасіння, які застосовуються для гасіння пожеж різних об'єктів та горючих речовин і матеріалів; також висвітлено основні механізми припинення горіння (охолодження, інгібування, ізолювання, розбавлення) та особливості їх реалізації різними вогнегасними речовинами під час пожежогасіння. В Україні наявні дослідницькі можливості та виробничі потужності з розроблення та виготовлення вогнегасних речовин та технічних засобів порошкового, аерозольного та газового пожежогасіння, а також і реалізації комбінованого способу пожежогасіння.

Проведений аналіз сучасного стану застосування вогнегасних речовин в системах протипожежного захисту різних об'єктів дозволив сформулювати **ідею роботи**, яка полягає у підвищенні ефективності припинення горіння у замкнених та напівзамкнених технологічних об'ємах та приміщень шляхом одночасного подавання вогнегасного порошку, вогнегасного аерозолю та

газової вогнегасної речовини – розріджувача з обґрунтованими співвідношеннями компонентів та параметрами їх подавання.

1.4 Мета і задачі досліджень

Задля реалізації висунутої ідеї визначено мету і поставлено до розглядання наукову задачу розкриття особливостей впливу виду і співвідношення компонентів у тернарній системі «вогнегасний аерозоль–газова вогнегасна речовина-розріджувач–вогнегасний порошок» на ефективність припинення горіння в замкненому і напівзамкненому об'ємах як наукове підґрунтя розвитку наукових аспектів застосування комбінованого пожежогасіння.

Для досягнення зазначеної мети поставлено до вирішення такі задачі досліджень:

- провести аналіз сучасного стану розробки та застосування систем пожежогасіння комбінованим способом і виявити шляхи підвищення їх ефективності, а також флегматизування горючих середовищ в замкнених та напівзамкнених об'ємах;

- розробити методики проведення теоретичних та експериментальних досліджень з виявлення впливу співвідношень концентрацій вогнегасних аерозолів, вогнегасних порошоків та газових вогнегасних речовин-розріджувачів на ефективність припинення горіння та флегматизування горючих середовищ;

- провести експериментальні дослідження з виявлення залежності флегматизувальної та вогнегасної ефективності від співвідношення концентрацій вогнегасних аерозолів, вогнегасних порошоків та газових вогнегасних речовин-розріджувачів у їх тернарних сумішах;

- розробити технічні вимоги та технічні документи щодо схемного рішення автоматичної системи пожежогасіння з подаванням тернарної суміші вогнегасного аерозолю, вогнегасного порошоків та газової вогнегасної речовини-розріджувача;

- провести експериментальні дослідження з визначення вогнегасної та флегматизувальної ефективності застосування розробленої автоматичної

системи з подаванням тернарної суміші вогнегасного аерозолю, вогнегасного порошку та газової вогнегасної речовини-розріджувача;

– розробити проект рекомендацій щодо застосування розробленої автоматичної системи пожежогасіння для припинення горіння і флегматизування горючих середовищ в системах протипожежного захисту об'єктів.

РОЗДІЛ 2

ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ЗАСТОСУВАННЯ КОМБІНАЦІЙ АЕРОЗОЛЬНИХ, ГАЗОВИХ ТА ПОРОШКОВИХ ВОГНЕГАСНИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ ГАСІННЯ І ФЛЕГМАТИЗУВАННЯ ГОРЮЧИХ СЕРЕДОВИЩ, РОЗРОБЛЕННЯ МЕТОДИК ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Вплив хімічного складу компонентів вогнегасних речовин на їх вогнегасну ефективність

Систематичних експериментальних досліджень по гасінню різних класів пожеж з використанням комбінованого (одночасного) подавання вогнегасних речовин недостатньо. Є тільки розрізнені публікації щодо таких досліджень, які проведені без належної методологічної основи, на різнотипних установках пожежогасіння, без апробації в полігонних умовах. У цих роботах відсутній важливий аспект досліджень - знаходження оптимального режиму і послідовності подачі вогнегасних складів у вогнище пожежі [89]. Треба зазначити, що на даний час створено досить велику кількість альтернативних хладонам засобів гасіння [90, 91]. Однак, більшість з них все ж не дають можливості говорити про абсолютну простоту експлуатації, дешевизну, а головне екологічну прийнятність. Азот, як вогнегасний агент володіє «цінними» характеристиками – хімічно нейтральний до більшості речовин, недорогий, не дефіцитний, молярна густина – 28.01 г/моль, що дає змогу рівномірно заповнювати об'єм, при цьому вогнегасна концентрація N_2 для н-гептану (C_7H_{16}) становить 33 %, [92], для етанолу (C_2H_5OH) 36,8%, гексану (C_6H_{14}) -30,6%. Мінімальна розрахункова флегматизувальна концентрація N_2 становить 43,9 %, що є вищою за значення мінімальної флегматизації для хладонів в 3-4 рази. Розбавлення суміші «природний газ + повітря» на 10 % азотом знижує вогнегасну концентрацію хладону в 2 рази, а при розбавленні на 20 % вогнегасна концентрація хладону становить всього 0,5–0,6 % [93]. Подібний ефект спостерігається і при використанні CO_2 [94] де автори пояснюють це тим, що із зменшенням концентрації кисню в повітрі, різко збільшується ефективність дії інгібіторів, і в результаті флегматизувальна

концентрація CO_2 зменшується до 8 % при концентрації аерозолу в 15 г/м^3 . Отже, механізм об'ємного гасіння аерозолем з добавкою газів доречно розглядати за принципом комбінованої дії вогнегасних засобів, які поєднують в собі ефекти охолодження та інгібування, що приводить до значного кінцевого вогнегасного ефекту. Розглядаючи окремо характеристики газів-розчинників можна стверджувати, що як азот, так і CO_2 , забезпечує ефективне розбавлення горючого середовища, що призводить до гасіння та флегматизування.

Азот, як вогнегасний компонент, досліджено багатьма дослідниками зокрема авторами роботи [95]. Вони перевірили ефективність придушення вогню газоподібним азотом за допомогою різних повномасштабних вогневих випробувань. Об'єм випробувальної камери становив 102 м^3 . Випробування проводилися за концентрації азоту $C_{\text{гас}} = 33,6 \text{ об. \%}$ та мінімальної концентрації кисню 13,9 %. У жодному з 10 тестів не відбулося повторного загоряння зразка. Тести проводили на зразках–представниках кожного з класів пожеж.

Слід зазначити, що у випадку подавання інертного розріджувача у замкнене герметичне приміщення, повітряне середовище може залишатися придатним для дихання і збереження життя людей аж до гасіння пожежі. Забезпечити життєбезпечну концентрацію кисню може застосування комбінованих аерозольно–газових систем, сумісна вогнегасна концентрація газу та аерозолу в яких має бути на порядок меншою за необхідну індивідуальну вогнегасну. Існують і суміші газів, які розробники представляють, як екологічно чисті, але автори [5] вказують, що суміш газів, яка містить 52 % азоту, 40 % аргону і 8 % діоксиду карбону, не залишає хімічних похідних, не токсична в будь-яких концентраціях. Вказана суміш при введенні в об'єм гасить полум'я шляхом зменшення концентрації кисню нижче рівня, який не підтримує горіння (12,5%), і це при одночасному збільшенні вмісту CO_2 до 4 %. Відповідно таке газове середовище є небезпечними для життєдіяльності людини, хоча і є відносно екологічно чистими. Як видно, зазначені концентрації газу, є досить високими та спричиняють флегматизування завдяки теплофізичним характеристикам, та розбавленню горючого середовища. Підвищити ефективність флегматизування газового

горючого середовища можна шляхом добавляння до інертного газу вогнегасного аерозолю, беручи до уваги результати досліджень сумішей дисперсних інгібіторів та газів.

За кордоном в аерозольних системах для пожежогасіння на теперішній час вже існує прототип генератора з поєднанням властивостей аерозолю і вогнегасного порошку. В ньому використовується тонкодисперсний порошок - аерозоль, найбільш ефективний під час гасіння пожеж різних класів. Аерозольні системи гасіння пожежі використовують принцип формування аерозолю шляхом спалювання твердих хімічних складів, в результаті чого утворюється гарячий струмінь суміші газів і мікрочастинок – інгібіторів горіння, що сприяє ефективному гасінню полум'я. При подаванні аерозолю в об'єм він змішується з продуктами термічного розкладу порошоків (CO_2 , N_2 , H_2O , та ін.). Відомо [96], що суміш інертних газів та вогнегасних аерозолів має підвищену вогнегасну та флегматизувальну ефективність. Так, при додаванні до вогнегасного аерозолю газів-флегматизаторів, авторами [97] 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 проявився 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 газових вогнегасних речовин. При гасінні аерозольно-порошковою сумішшю постає питання сумісності елементів вогнегасного порошку та аерозолю, які утворюють суміш. Як вказано раніше, в результаті згоряння АУС утворюється суміш карбонатно-хлоридних солей калію, кальцію чи натрію. Суть підвищення ефективності припинення горіння зводиться при цьому до пошуку солей, які б проявляли синергетичний ефект стосовно згаданих солей. В Україні широко використовуються вогнегасні порошки на основі фосфатів амонію марок (П-2АПМ, ФАКТОР АВС-40, ПРО-МІКС АВС-50, ПРО-МІКС АВС-40). Раніше Були розроблені рецептури ВП на основі хлоридів металів (ПХ, ПХК, ПГС) і на бікарбонатній основі (ПСБ-3, ПСБ-3М) [35]. Автор праці [98] вказує, що

фосфати є антагоністами з хлоридами та карбонатами, тому їх сумісна дія на полум'я буде можливо малоефективною. Антагонізм підтверджений для порошків, що представляють суміші амоній гідрофосфат, та K_2SO_4 або $K_2C_2O_4$. Експериментальні визначення ефективності гасіння полум'я бінарними сумішами солей з однаковими катіонами, а саме хлорид та бромід калію, хлорид та оксалат калію, хлорид та фторид натрію, показали їх адитивну вогнегасну дію. Результати досліджень [21] сумішей $NaHCO_3$ і $KHCO_3$, Na_2HPO_4 і K_2HPO_4 , $(NH_4)_2HPO_4$ і K_2HPO_4 вказали на синергізм в усіх випадках. Зрозуміло, що вогнегасна ефективність залежить від дисперсності порошку, виду та співвідношення компонентів. Автори [99] показали, що суміш солей - натрій бікарбонату та калій хлориду за співвідношення 1:1 мають значно вищу вогнегасну ефективність в середовищах з надлишковою концентрацією кисню, ніж при застосуванні їх окремо. Порошкам, які містять у своєму складі хлориди, сульфати, фториди або оксалати притаманно адитивна вогнегасна ефективність. Багатокомпонентні суміші, у які входять KCl і $NaHCO_3$, натрій форміат, натрій ацетат, натрій фторид, натрій сульфат, є неадитивними щодо вогнегасної ефективності, відповідно вони є синергетиками. При їх порівняно високій теплопоглинальній здатності їх можна використати як компоненти аерозольно-порошкових вогнегасних речовин.

Щодо підвищення ефективності гасіння гетерогенного горіння в аерозольно-порошкових композиціях, то доцільно збільшити вміст добавок сполук фосфатів, а саме Na_2HPO_4 і K_2HPO_4 , $(NH_4)_2HPO_4$ і K_2HPO_4 , які проявляють синергічний ефект. При цьому деякі автори вважають, що дані компоненти є антагоністами [14]. Але, якщо порівняти час осідання порошку з часом осідання аерозолю, то він є значно меншим. Після осідання основної маси вогнегасного порошку в об'ємі він буде придушувати гетерогенне горіння, а в повітрі в цей час залишиться аерозоль, який гаситиме дифузійне полум'я горіння.

Таким чином поєднання порошкових та аерозольних речовин з метою гасіння горіння як дифузійного так і гетерогенного є перспективним, а співвідношення аерозольно – порошкових сумішей необхідно досліджувати з

метою виявлення найбільш вогнегасно-ефективних співвідношень та факторів взаємного впливу, які будуть їх обумовлювати.

Беручи до уваги особливості механізму придушення горіння вогнегасними порошками та умови застосування аерозольних вогнегасних засобів різного складу, пошук рецептури аерозоле-порошкового вогнегасного засобу необхідно проводити з врахуванням фізико-хімічних характеристик компонентів та факторів, які впливають на їх вогнегасну ефективність.

Відомо [96, 97], що суміш газів та аерозолів має підвищену вогнегасну ефективність. Так, при додаванні до вогнегасного аерозолу газів флегматизаторів мінімальна вогнегасна концентрація зменшується приблизно на 40%. Таким чином над поверхнею вогнегасного порошку утворюватиметься газовий прошарок з підвищеною концентрацією вогнегасних речовин, що буде сприяти активному та ефективному гасінню дифузійного горіння та флегматизувати горюче середовище.

Ефективність застосування вогнегасних порошків зумовлена здатністю їх до вогнеперешкодження та екранування, здатністю газифікуватися за температури горіння і тим самим спричинювати розведення та охолодження, здатність плавитися за температури, яка відповідає початку піролітичного розкладу твердої горючої речовини, і утворювати на його поверхні ізолюючу плівку, стійку при високих температурах, здатністю інгібувати реакції полум'яного горіння.

Оскільки більшість дослідників передбачають, що основним фактором, який визначає високу вогнегасну здатність порошків, є саме хімічне інгібування реакцій горіння [101], то при виборі порошку, як одного з компонентів аерозоле-порошкового вогнегасного засобу, в першу чергу враховуватимемо особливості його дії на процеси, які відбуваються в полум'ї. Як зазначають автори робіт [5,82], з широкого спектру хімічних речовин, які застосовують для гасіння пожеж, таку властивість мають неорганічні та деякі органічні солі лужних металів, а саме галогеніди, сульфати, фосфати, роданіди, хромати, карбонати, оксалати, форміати, ацетати, тартрати, алофанати та ін. Інгібувальна ефективність досліджених в роботі [103] солей знижується в наступному

порядку: $\text{LiF} > \text{LiCl} > \text{NaF} > \text{KF} > \text{NaCl} > \text{KJ} > \text{NaJ} > \text{NaBr} > \text{KCl} > \text{K}_2\text{CO}_3 > \text{Na}_2\text{CO}_3 > \text{NaSO}_4 > \text{Al}_2\text{O}_3 > \text{CaCO}_3$.

Оскільки, як зазначено вище, однією з необхідних умов припинення гетерогенного безполуменового горіння твердих горючих матеріалів є ізолювання та охолодження їх поверхні, то при виборі порошку необхідно врахувати також його здатність поглинати тепло під час нагрівання та фазових фізико-хімічних перетворень. За твердженням авторів [104] найкращими показниками в даному відношенні характеризуються фосфати та форміат амонію. Результати проведених розрахунків показали, що охолоджуюча дія порошків визначається в основному теплою, яка поглинається при ендотермічному розкладі компонентів вогнегасних порошків. Вклад теплоємності невеликий і становить всього 11,6-18,1%.

Отже, для забезпечення високого рівня теплопоглинання необхідно використовувати речовини, які мають не лише високу теплоємність, а й схильні в інтервалі температур 26-600°C до фізико-хімічних перетворень зі значними ендотермічними ефектами. Та, оскільки теплоємність твердих речовин невисока (наприклад, у порівнянні з водою) і температурний інтервал обмежений (умови нагрівання твердих речовин в полум'ї), першу умову виконати складно. Тому для забезпечення високого рівня теплопоглинання необхідно вибирати речовини, які легко розкладаються, фізико-хімічні перетворення яких протікають з великими ендотермічними ефектами. В таблиці 2.1 представлені результати розрахунків теплопоглинальної здатності цих речовин в діапазоні температур 25-600°C [104].

Таблиця 2.1. Теплопоглинання вогнегасних порошків при 25-600°C [104].

Вогнегасний порошок	Теплопоглинання в результаті фізико-хімічних перетворень, кДж/кг	Сумарне теплопоглинання при нагріванні до 600°C, кДж/кг	Вклад в теплопоглинання за рахунок теплоємності, %
ПСБ-3	750	890*	15,0
П-1А	1420	1620	12,6
Пирант-А	1450	1770	18,1
ПФ	1500	1700	11,6

* нагрівання до 230°

В роботі [96] результати досліджень показали, що вогнегасна ефективність аерозолів не залежить від порядку введення інертних газів, а залежить тільки від їх концентрації, і навіть незначна кількість введеного інертного газу в об'єм твердофазового аерозолу суттєво знижує вогнегасну концентрацію останнього.

На користь комбінованого характеру гасіння, як приклад, можна також привести дані роботи [105] про те, що наявність інертних газових розріджувачів значно підвищує ефективність аерозолу. В роботі [106] обґрунтовано доцільність поєднання газифікуючих компонентів, порошків та аерозольотворювальних речовин в єдиному корпусі для спільної подачі, що зможе вирішити проблему швидкого, ефективного і недорогого гасіння гомогенного та гетерогенного горіння в замкнутих просторах, а також забезпечити відповідну тривалість дії вогнегасної концентрації в закритому об'ємі. Дослідження сучасних рецептур зарядів АОС і властивостей одержуваних з них вогнегасних аерозолів, а також хімічних властивостей вогнегасних порошків показало, що поєднавши ці компоненти, можна досягти за рахунок гармонізації переваг двох засобів пожежогасіння, взаємної компенсації недоліків і синергізму при пожежогасінні. Це пов'язується з результатами роботи [96] в якій автори показали ще один досить вагомий ефект від додаткового використання інертних розріджувачів сумісно з аерозолем, а саме – наявність CO_2 чи N_2 збільшує оптичну проникність аерозолу, тобто збільшується видимість. Особливо це відчутно при концентраціях CO_2 чи N_2 від 2 % і більше. З практичної точки зору це має важливе значення. При вирішенні питання, який інертний газ краще використовувати, стає очевидним те, що азот, в силу його малої токсичності, має безумовну перевагу над CO_2 , хоча його допоміжна дія дещо нижча від CO_2 . Якщо ж стоїть питання про гасіння в безлюдних об'ємах, то, без сумніву, застосування CO_2 має переваги перед N_2 .

Таким чином, не враховуючи концентрацію твердої фази, добавка до неї таких газів, як CO_2 , N_2 чи H_2O повинна підвищити теплопоглинальну здатність суміші аерозолу та газів флегматизаторів. Що підтверджено в роботі [107] в

якій вказано, що сам аерозоль проявляє підвищену вогнегасну дію при концентраціях вищих за 50 г/м^3 , а при концентрації аерозолу близько $80\text{--}100 \text{ г/м}^3$ призводить до зменшення температури від 2100 К до $1700\text{--}1400 \text{ К}$ при дії самих аерозолів так із добавкою газів, причому добавка CO_2 призводила до більшого зменшення температури. Автори роботи [108] теж підтвердили значне підвищення вогнегасної ефективності бінарної суміші інгібіторів горіння та газів флегматизаторів, завдяки теплофізичним якостям газів – флегматизаторів.

Питання пошуку нових вогнегасних речовин та синергізму між хімічними та фізичними вогнегасними агентами також вивчалось авторами [109], які шукали нову екологічно чисту вогнегасну речовину в якій хотіли зберегти всі «корисні властивості» Галона –1301, але цей пошук не був успішним, так як отриманий вогнегасний агент 1–бром–3,3,3–трифторпропан не відповідав заявленим вимогам – мав низьку вогнегасну концентрацію, низьку температуру кипіння, високу вартість, і т.п. Лише його суміш з азотом володіла високою вогнегасною ефективністю за рахунок згідно результатів досліджень авторів синергізму між 1–бром–3,3,3–трифторпропаном та азотом. З метою отримання «екологічно» чистих вогнегасних агентів дослідники пропонують використовувати зріджений азот [110], який як вони вказують може використовуватись для гасіння будівель та пожеж в резервуарах. Але виникає питання до технологічного втілення такого способу гасіння, який звичайно буде більш вартісним за звичайне зберігання стисненого азоту в балонах. Щодо вогнегасної ефективності азоту то його необхідно використовувати як газ що знижує концентрацію кисню, при чому подавати його можна різними способами, але загалом необхідно щоб газ потрапляв в зону горіння. Так автори [111] проводили дослідження ефективності гасіння мильними бульбашками – капсулами які на їхню думку призведуть до зменшення витрат газу на гасіння. Таким чином як видно з проведеного аналізу дослідники працюють над завданням зменшення вогнегасної концентрації газу який подається на гасіння, причому задіюють різні способи та прийоми які мають свої відповідні зазначені вище недоліки.

Переходячи до сумісного застосування аерозолю та газів розріджувачів необхідно розглянути теплотехнічні характеристики аерозолю. Так в роботі [112] порівнювали одержані розрахункові значення теплоємності АУС з теплоємностями газів–флегматизаторів CO_2 і N_2 при температурі полум'я в 1400°C , які становлять відповідно $Q=3241 \text{ кДж/м}^3$ та $Q=2012,5 \text{ кДж/м}^3$. З результатів роботи видно, що теплоємність аерозолю значно перевищує теплоємність цих газів і особливо у випадках утворення K_2CO_3 чи $\text{K}_2\text{CO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Так, наприклад, для зарядів із надлишком пального, що відповідає стехіометричному коефіцієнту при пальному $n=1,5$ теплоємність 1 м^3 аерозолю з АУС на основі ідітолу, лактози, вуглецю (при умові утворення K_2CO_3) є в декілька раз більшою від теплоємності $1 \text{ м}^3 \text{ CO}_2, \text{ N}_2$ (таблиця 2.2) [111].

Таблиця 2.2 Відношення величини теплоємності аерозолю до інертних газів [111]

АУС		Ідітол – 20 % KNO_3 – 80 %	Лактоза – 28 % KNO_3 – 72 %	Вуглець – 20 % KNO_3 – 80 %
Інертний газ	CO_2	<2,85	<2,11	<3,42
	N_2	<4,59	<3,40	<5,51

Як видно з даних таблиці 2.2, розрахункова теплопоглинальна здатність аерозолю є як мінімум в 2,11 рази вищою за теплопоглинальну здатність CO_2 , та в 3 рази – за теплоємність азоту, що збігається з результатами авторів [107] які, вказують на високу теплопоглинальну здатність аерозолів при високих концентраціях.

Отримані характеристики аерозолів створюють передумови для їх використання в системах пожежогасіння за рахунок підсилення їх вогнегасних якостей при добавлянні газових теплових флегматизаторів – зокрема CO_2 та азоту.

Аналізуючи дані роботи щодо визначення параметрів комбінованого подавання вогнегасних речовин [113], можна зробити висновок про те, що, принаймні, у досліджуваному діапазоні інтенсивностей подачі всі досліджені бінарні комбінації з порошком мають підвищену вогнегасну ефективність.

2.2 Обґрунтування компонентного складу комбінованої тернарної вогнегасної суміші

Вогнегасні порошки призначені для гасіння твердих, рідких та газоподібних горючих речовин та електроустановок, які знаходяться під напругою. До складу сумішей, що подаються з вогнегасників та систем (модулів) порошкового пожежогасіння, разом з вогнегасними порошками, компонентами яких можуть бути сода, силікагель, сульфати і фосфати амонію, стеаринові солі кальцію, магнію і т.ін., входить стиснений газ-витискувач (повітря, азот або діоксид карбону).

До важливих характеристик вогнегасних порошоків, завдяки яким значно підвищується ефективність їх застосування і забезпечується гарантоване гасіння пожеж, разом зі здатністю до вогнеперешкодження та екранування, яка характерна для більшості порошоків із негорючих матеріалів, належать: здатність газифікуватися за температури горіння і тим самим спричинювати розведення та охолодження; здатність інгібувати реакції полуменевого горіння; здатність плавитись за температури термодеструкції твердого матеріалу і утворювати на його поверхні стійку за високих температур ізолювальну плівку. Вогнегасна концентрація порошку на основі карбонатів та бікарбонатів лежить в межах 50-100 г/м³, причому частинки вищеназваних солей при нагріванні можуть забезпечувати додатковий вихід CO₂ та H₂O, які флегматизують зону горіння. На основі результатів вивчення взаємодії вогнегасних порошоків з полум'ям можна сформулювати загальний принцип методології розроблення рецептур, який полягає в комплексному урахуванні хімічної та фізичної природи компонентів, їх фізико-хімічних характеристик, впливу як компонентів, так і продуктів їхнього розкладу на показники, які обумовлюють ефективність порошку в разі гасіння пожеж різних речовин і матеріалів.

Урахування хімічної природи компонента означає знання особливостей його дії на процеси, які відбуваються в полум'ї, а саме здатність інгібувати ланцюгові реакції горіння [100] при гасінні речовин в різних агрегатних станах. З чисельних класів хімічних речовин таку здатність мають неорганічні й деякі

органічні солі лужних металів (галогеніди, сульфати, фосфати, роданіди, хромати, карбонати, оксалати, форміати, ацетати, тартрати, аллофанати та ін.). Інгібувальна здатність солей, у залежності від виду горючої речовини і температури полум'я, може змінюватись [102].

Серед фізичних властивостей компонентів враховується їх здатність утворювати розплавлену плівку за температури піролізу твердих горючих речовин, а також здатність до теплопоглинання під час фазових фізико-хімічних перетворень. З цього погляду найкращими показниками характеризуються фосфати і форміат амонію [21].

При застосуванні аерозольно-порошкового пожежогасіння виникає питання сумісності компонентів вогнегасного порошку та аерозолу, які одночасно перебуватимуть у повітрі.

Відомо, [63, 25], що АУС складаються з окисника – як правило KNO_3 , KClO_4 , KClO_3 , горючого пластифікатора – ідітолу, епоксидно-діанової смоли, лактози та інш, а також газифікуючих добавок – диціандіаміду, $\text{C}_{13}\text{H}_{12}\text{O}_2$ дифеніламідру $(\text{C}_6\text{H}_5)_2\text{NH}$, та інш. При горінні АУС, в атмосферу викидаються ультрадисперсні неорганічні солі калію - $\text{K}_2\text{CO}_3 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$, KOH , KHCO_3 , та інш., а також в невеликій кількості – CO_2 , и N_2 та інші гази. Утворений аерозоль може бути стійким в повітрі та забезпечує вогнегасну концентрацію 40 -50 г/м³ близько 20 хвилин [63]. Але враховуючи розміри частинок аерозолу, які становлять в середньому близько 5 мкм, вогнегасна ефективність аерозолів відповідно на декілька порядків вища за вогнегасну концентрацію порошків [107], в той же час перебуваючи на межі безпечних концентрацій для людини. В роботах багатьох авторів висвітлюється залежність вогнегасної ефективності від розміру частинок вогнегасної речовини. Так в роботі [105] показано, що із зменшенням розміру частинок від 100 до 20 мкм вогнегасна ефективність гасіння дисперсними частинками солей KCl , NaCl , K_2CO_3 , KHCO_3 та інш., різко зростає, як допускають автори завдяки теплопоглинанню та випаровуванню частинок в полум'ї. В роботі [98] також показано, що вогнегасна ефективність всіх вогнегасних порошків збільшується із зростанням ступеня дисперсності, тобто чим дрібніші частинки, тим швидше і більше вони будуть прогріватись та

відбирати тепло від зони хімічної реакції за одиницю часу і тим швидше буде охолоджуватись полум'я. Проте розбавлення зони горіння і відвід тепла частинками порошку є недостатнім для того, щоб повністю припинити горіння. Так, в роботі [102] було показано, що вогнегасний ефект порошоків, завдяки інгібуванню, на основі солей лужних металів значно перевищує ефект охолодження, або розбавлення, тобто аерозольні частинки здатні ефективно гальмувати хімічні реакції горіння, діючи як інгібітори.

При одночасному перебуванні в захищеному об'ємі вогнегасного порошку та аерозолю перш за все відбуватиметься седиментація порошку завдяки великим розмірам його частинок 20-60 мкм порівняно з розмірами частинок аерозолю – 1-10 мкм. Осілий порошок утворює шар, який перешкоджатиме виходу летких компонентів в зону горіння та проникненню повітря до поверхні горючої речовини. В результаті затрат тепла на нагрівання частинок порошку відбуватиметься охолодження зони горіння. Крім цього, при контакті порошку з нагрітою поверхнею відбуватиметься його термічний розклад, в результаті чого додатково будуть утворюватися газоподібні продукти піролізу, які розбавлятимуть горюче середовище.

Перебуваючи над поверхнею осілого порошку аерозоль буде змішуватися з продуктами розкладу порошку (CO_2 , N_2 , H_2O , та ін.). Таким чином над поверхнею вогнегасного порошку утворюватиметься газовий прошарок з підвищеною концентрацією вогнегасних речовин, що буде сприяти активному та ефективному гасінню дифузійного горіння та додатково флегматизувати горюче середовище.

Автори робіт [16, 29] показали, що існує пряма залежність між розмірами частинок та вогнегасною ефективністю дисперсної вогнегасної речовини яка проявляється завдяки можливому випаровуванню цих частинок в полум'я, які потім діють за схемою гетерогенного-гомогенного механізму. Підтверджують це автори [17], які виявили, що дисперсні солі KHCO_3 та NaHCO_3 із зменшенням розмірів частинок з 63 мкм до 38 мкм при гасінні пропаноповітряного бунзенівського факела збільшують свою ефективність, що відображається зменшенням вогнегасної концентрації з 100 г/м^3 до 30 г/м^3 .

Відомо, що аерозольутворювальні сполуки при згоранні утворюють аерозоль з розмірами частинок 1-5 мкм із співвідношенням до 80% [107]. Так, наприклад, аерозольутворююча суміш СТК-5-1, яка складається з ідітолу ($C_{13}H_{12}O_2$), нітрату калію (KNO_3) та технічних добавок, при горінні виділяє $K_2CO_3 \cdot 2H_2O$, KOH , KNO_2 , CO_2 , N_2 , з розподілом розмірів частинок $D < 2\mu m$ (42%) $D = 2-5\mu m$ (38%) $D > 5\mu m$ (20%) [107]. При цьому в продуктах горіння 1 г АУС різного складу, які залежать від виду горючого пластифікатора і окисників та їх співвідношення, може знаходитись в середньому 0,5 л газових компонентів (CO_2 , H_2O , N_2), причому продукти неповного згорання (N_xO_y , CO) до уваги не брали, виходячи з умови, що їх вміст є незначний. Приблизні співвідношення газових компонентів аерозолу, який утворюється в результаті згорання 1 г АУС на основі лактози та ідітолу, показані в таблиці 2.3 [94].

Таблиця 2.3 Характеристики рецептур АУС на основі органічних палив

Співвідношення компонентів АУС, % мас				Продукти згорання			
				Питомий об'єм газової фази згенерованої з АУС, л/г			
Пальне		KNO_3	$KClO_4$	CO_2	H_2O	N_2	загальний
Ідітол	17	83	-	0,2522	0,1164	0,0916	0,47
Лактоза	32	68	-	0,2354	0,2354	0,075	0,55
Ідітол	15	69	16	0,2118	0,0977	0,0767	0,39
Лактоза	27,6	60	12,4	0,2063	0,2063	0,0666	0,48

При додаванні азоту до зазначеного аерозолу вогнегасна ефективність отриманої аерозольно азотної суміші (БААС) повинна збільшитись. Отримання такого ефекту підтверджують автори [95,111,113], які вказують на синергізм фізичних та хімічних компонентів суміші та в результаті зниження вогнегасної концентрації фізичного компоненту при добавлянні лише 1,52 % хімічного інгібітора. Значне збільшення вогнепригнічувальної ефективності при комплексному застосуванні дисперсних вогнегасних засобів та газів підтверджують і інші автори робіт. Аналіз загальних закономірностей процесів інгібування показує, що підвищити ефективність інгібувальних засобів можна, знизивши вміст окислювача в горючій суміші. Знизити концентрацію

окислювача достатньо не у всьому приміщенні, а тільки в зоні дії інгібувальних речовин, тобто в зоні горіння. Таким чином, робить висновок автор [108], негорючі газоподібні компоненти, додатково розбавляють горючу систему, знижують концентрацію кисню в і тим самим різко підвищують ефективність вогнегасної дії інгібітора. Так, наприклад, розбавлення суміші «природний газ + повітря» на 10% азотом знижує вогнегасну концентрацію хладону в 2 рази, а при розбавленні на 20% - вогнегасна концентрація хладону становить всього 0,5-0,6 %. Подібний ефект спостерігається і при використанні CO_2 . З роботи [94] відомо, що додавання невеликої кількості CO_2 до аерозолу, утвореного з АУС на основі лактози, значно підвищує флегматизувальну ефективність утвореної газоаерозольної суміші, яка добре флегматизує гексано-повітряну суміш при співвідношенні аерозолу - 15 г/м^3 та 9% CO_2 . Це добре пов'язується з результатами роботи [59 – 61], де CO_2 дає нижчі вогнегасні концентрації ніж азот та аргон. Причому деякі автори на основі розрахунків температури полум'я вказали, що інертні гази ведуть до зниження температури полум'я, а інгібуючий ефект на полум'я був посилений завдяки зменшенню температури полум'я, що привело до синергічного підвищення ефективності пожежогасіння сумішшю хладону-1301 та CO_2 .

Отже, принцип об'ємного гасіння аерозолем з добавкою газів флегматизаторів доречно розглядати за принципом комбінованої дії вогнегасних засобів, які забезпечують ефекти охолодження, інгібіювання та розбавлення, що приводить до значного кінцевого вогнегасного ефекту.

Виходячи з аналізу досліджень вогнегасних ефектів від добавок газів флегматизаторів до вогнегасних речовин можна стверджувати, що незначна добавка азоту до аерозольного інгібітора приведе до суттєвого зростання вогнегасної ефективності газоаерозольної суміші завдяки синергізму між аерозолем та азотом.

За результатами проведеного аналізу факторів впливу на процес припинення горіння та забезпечення флегматизації пожежонебезпечного середовища при застосуванні різних вогнегасних речовин визначено доцільним

дослідити ефективність тернарних сумішей, які складаються з таких компонентів:

- тверда фаза вогнегасного аерозолі (суміш неорганічних солей калію - K_2O , $K_2CO_3 \cdot 2H_2O$, $KHCO_3$, KOH , KCl , KNO_2);
- вогнегасний порошок на основі фосфатів амонію;
- гази - розріджувачі - N_2 та/або CO_2 .

Компоненти суміші передбачається подавати у захищену зону одночасно, чим досягається зазначений комбінований вогнегасний та флегматизувальний вплив на горюче середовище. Комбінований вплив чинників на процеси припинення горіння у замкненому (напівзамкненому) об'ємі з можливістю виникнення пожеж класів А, В, С, F, Е під час гасіння тернарною сумішшю вогнегасних речовин об'ємним способом представлено на рисунку 2.1.

Враховуючи проведений огляд, з особливостей взаємного впливу компонентів газо-аерозольно-порошкових сумішей на ефективність флегматизування горючих вуглеводневих середовищ, в замкнутих та напівзамкнених об'ємах можна стверджувати про значну актуальність використання зазначених сумішей. Визначення ефективності та особливостей флегматизування газо-аерозольно-порошковою сумішшю є підґрунтям для створення вогнегасних та флегматизувальних систем на їх основі, для протипожежного захисту об'єктів різного призначення, на яких можливе виникнення пожеж класів А, В, С і Е, а також утворення пожежонебезпечного середовища.

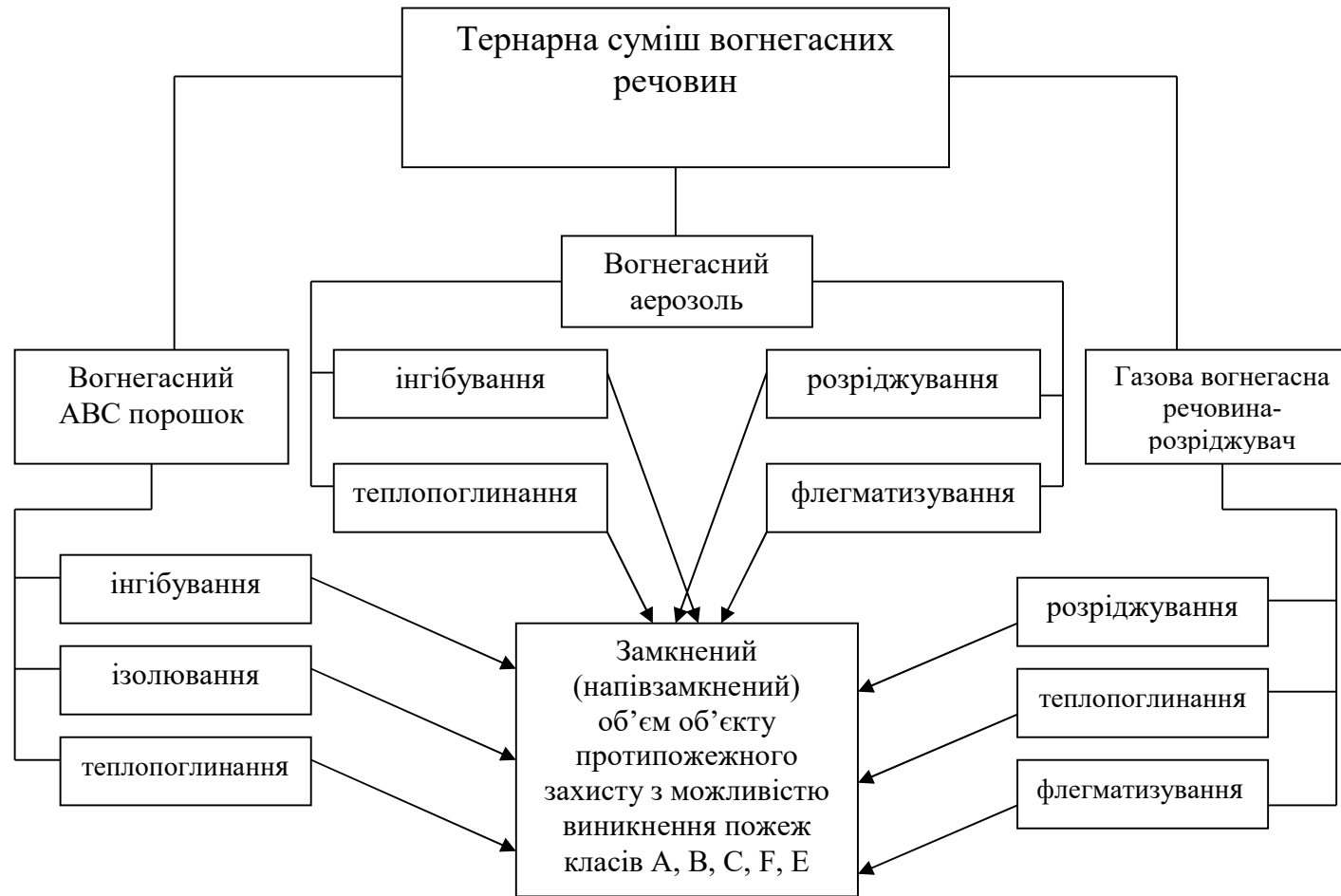


Рис. 2.1 Комбінований вплив чинників на процеси припинення горіння у замкненому (напівзамкненому) об'ємі з можливістю виникнення пожеж класів А, В, С, F та Е під час гасіння тернарною сумішшю вогнегасних речовин об'ємним способом

2.3 Методики експериментального визначення вогнегасної та флегматизувальної ефективності сумішей вогнегасних речовин

Беручи до уваги, що вогнегасний аерозоль утворюється при згорянні АУС, в багатьох методиках передбачено його спалювання в камерах або циліндрах. Автор [119] пропонує спалювати наважки АУС в циліндрі висотою 30 мм та діаметром 40 мм з металевою сіткою для гасіння форсу полум'я. Запропонована металева сітка буде діяти як охолоджуюча насадок, а як відомо [120], це знижуватиме вогнегасну ефективність аерозолу через недопал вихідних компонентів, що приведе до отримання занижених результатів вогнегасної концентрації аерозолу. Крім того, доцільно вносити джерело вогню в камеру, а не запалювати його всередині при наявному там аерозолі, так, щоб зберегти реальну хронологію виникнення пожежі і часу гасіння.

Як стало зрозуміло з аналізу літературних джерел, - чітко і послідовно прописаних методик для визначення мінімальної вогнегасної концентрації вогнегасного аерозолу на даний час немає, за винятком тих, що призначені для визначення МВК порошкових та газових засобів пожежогасіння, механізм гасіння яких відмінний від механізму гасіння аерозолями. Для визначення вогнегасної концентрації суміші вогнегасного аерозолу, вогнегасного порошку, та газу - розчинника за основу можна взяти модернізовану методику визначення МВК «методом камери» [121], запропонованою автором [122].

Оскільки аерозолеві засоби пожежогасіння є сумішами дрібнодисперсних твердих частинок солей калію та газів (CO_2 , N_2 , H_2O), то методики для визначення МВК газових засобів пожежогасіння, на нашу думку, після певного пристосування можуть бути використані для визначення МВК аерозолу. Детальний аналіз існуючих методик показав, що деякі їх положення не підходять для визначення МВК аерозолу, наприклад, подача вогнегасного засобу здійснюється через пальник разом з горючою сумішшю, що, згідно з положеннями про вогнегасну дію аерозолу, є не зовсім коректним для нашого випадку, оскільки реально при гасінні пожежі аерозоль знаходиться в

захищуваному об'ємі та контактує по всій поверхні з полум'ям. Деякі автори вказують на те, що аерозоль одночасно діє за декількома напрямками [63, 123,124].

Такі умови реалізуються лише при контакті аерозолю з факелом полум'я, чого неможливо досягнути, використовуючи вищезазначену методику. Інша методика, яку використовували автори [63], передбачає контакт вогнегасного аерозолю з полум'ям, але не відображає реальних умов гасіння пожежі аерозолем. Згідно з цією методикою, після згорання АУС в камері вмикається вентилятор та переміщує аерозоль до рівномірного його розподілу та охолодження. Використання такої методики приведе до отримання некоректних результатів часу гасіння через те, що такий процес відсутній в реальних умовах на пожежі. Крім того в процесі перемішування можлива коагуляція частинок аерозолю, а з теорії порошкового гасіння відомо [21], що чим менше розмір порошкових частинок, тим вище їх вогнегасна здатність, відповідно збільшення розміру частинок буде зменшувати його вогнегасну ефективність. Слід також відмітити, що об'єм камери є великим (170 л) і відповідно експериментальні наважки АУС повинні бути достатньо великими, що вимагає більших матеріальних витрат на проведення експериментів.

Для визначення норм подавання вогнегасних порошоків використовують розроблені ВНДПО методичні вказівки для визначення вогнегасної ефективності та параметрів подачі порошкових складів на гасіння пожеж [125], за якою визначається витрата порошку на гасіння та показник ефективності порошку. Також існують інші методики [126], які спрямовані на підвищення точності вимірювань вогнегасних концентрацій порошкових складів. Проведений аналіз показав, що очевидно є необхідність розроблення методики, яка забезпечує урахування особливостей подавання та гасіння, притаманних кожному з компонентів тернарної суміші.

2.3.1 Методика визначення вогнегасної та флегматизувальної ефективності суміші вогнегасних речовин «методом камери»

Для пошуку ефективної рецептури аерозольно-газо-порошкової суміші (АГПС) необхідно було виконати експериментальні дослідження газо-аерозольної та аерозольно-порошкової комбінації з різними співвідношеннями в аерозольній фазі - аерозолі з розмірами частинок 20 мкм та порошком з розмірами частинок 100 мкм, і з різними за хімічною природою горючими речовинами, дослідити залежність ефективності аерозолі від співвідношення аерозоль : інертний газ та аерозоль : порошок. Ця ж методика дасть можливість об'єднати всі три компоненти в єдиній вогнегасній речовині та отримати достовірні дані щодо їх взаємодії.

Для визначення вогнегасної ефективності та особливостей гасіння тернарною сумішшю використали такі матеріали та пристрої:

- аерозольотворювальна суміш, яку готують до відповідної ваги заряду;
- хімічно чисті CO_2 та N_2 ;
- в деяких випадках для визначення особливостей гасіння проводили відеофіксацію фотокамерою Nikon 1J4, з можливістю зйомки 3-секундних відеороликів з частотою кадрів від 60 до 1200 за 1 секунду при роздільній здатності 416x144P [127]. За допомогою цієї камери при розкадровці відеороликів визначали частоту пульсації полум'я.
- вимірювання температури в процесі випробувань проводили за допомогою хромель-алюмелевої термопари з товщиною провідника 0,3 мм та аналого-цифрового регулятора-перетворювача РТ-0102;
- оцифровані результати вимірювань оброблялись за допомогою програми РП-8 (розробник ПАТ НВО «Львівтермоприлад») у ОС Windows.

На рисунку 2.2 наведена схема експериментальної установки для визначення вогнегасної ефективності сумішей вогнегасних речовин.

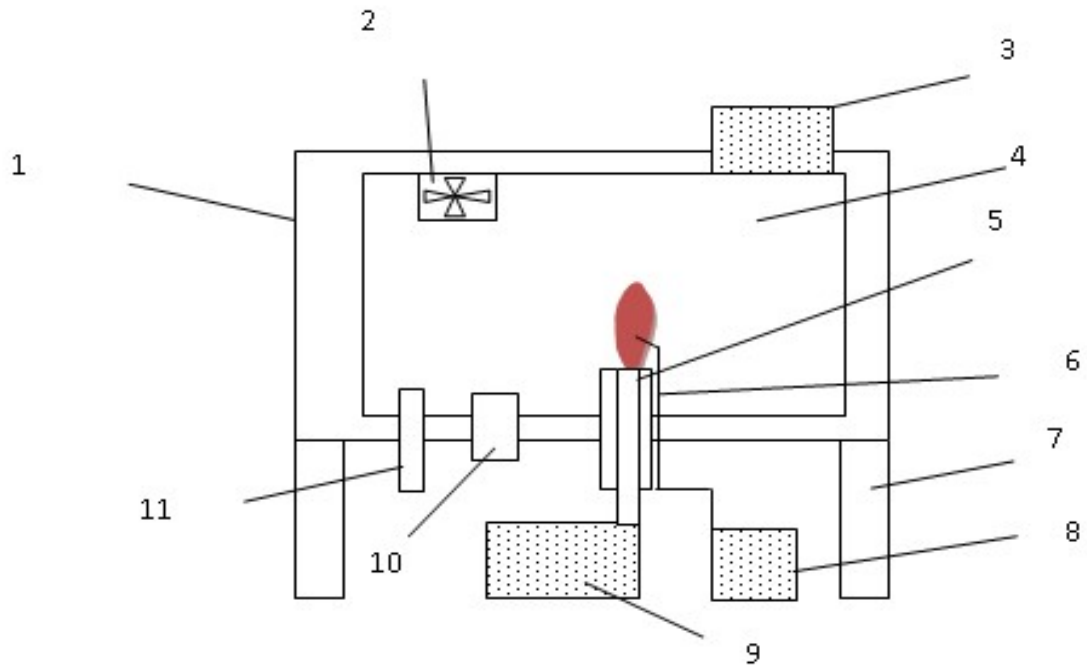


Рис. 2.2 Експериментальна установка для визначення вогнегасної ефективності сумішей вогнегасних речовин: 1 – корпус камери; 2 – вентилятор; 3 – отвір для продувки камери; 4 – оглядове вікно; 5 – гептановий пальник; 6 – термопара хромель–алюмелева; 7 – стійки; 8 – регулятор–перетворювач РТ-0102; 9 – підігріваний резервуар з гептаном; 10 – джерело запалювання АУС; 11 – труба подавання газової вогнегасної речовини - розріджувача

Визначення ефективності гасіння проводять таким чином. В камері спалюють задану наважку АУС, додають відповідну кількість газової вогнегасної речовини - розріджувача, перемішують суміш і через отвір вводять гептановий пальник та реєструють результат: «гасіння», «не гасіння», «відрив полум'я». Флегматизувальну ефективність вогнегасної суміші визначають за допомогою тигля з н-гептаном з прикріпленою термопарою, сигнал від якої передається на регулятор–перетворювач РТ-0102 (рис. 2.2), а з нього до програми РП—8, за допомогою якої отримують цифрове значення інтенсивності зниження температури. Як зазначалося вище, описана нами методика придатна для експериментального дослідження взаємодії одночасно трьох компонентів вогнегасної суміші. Детальніше методику та послідовність виконання такого експерименту описано в статті [138].

Для визначення ефективності гасіння та флегматизування тернарною сумішшю аерозолю, газів-флегматизаторів та вогнегасного порошку було застосовано експериментальну установку на основі металевої камери об'ємом 175 л з термостійким оглядовим склом та термостійкою металевою основою, схему якої наведено на рисунку 2.3.

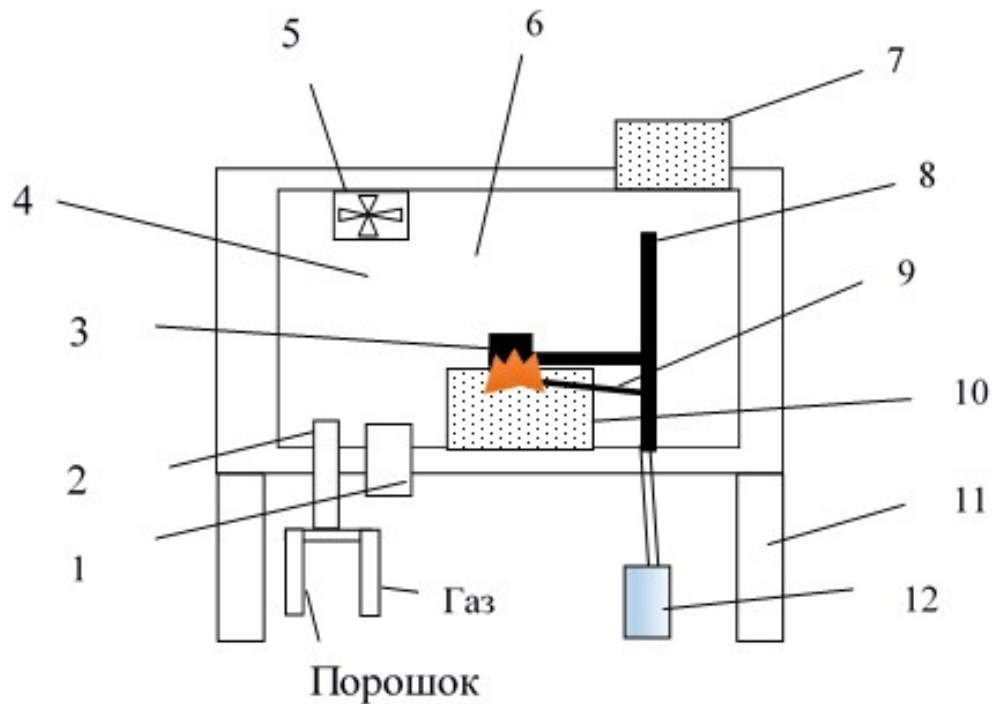


Рис. 2.3 Експериментальна установка для визначення вогнегасної та флегматизувальної ефективності АГПС: 1 – джерело запалювання АУС; 2 – патрубок для подачі вогнегасного порошку та газу; 3 – запальвальна суміш з електрозапальником; 4 – корпус камери; 5 – вентилятор; 6 – оглядове скло; 7 – витяжний отвір; 8 – штатив для кріплення запальвальної суміші та термопари; 9 – термопара хромель-алюмелева; 10 – місце розташування горючого; 11 – стійки; 12 – регулятор вимірювач

Всередині камери розташовано тигель з н-гептаном діаметром 5 см та модельне вогнище класу А з деревини розмірами: висотою 100 мм, шириною 100 мм та довжиною 100 мм. Над модельними вогнищами розташовано термопару для фіксування ознак тління та горіння. Запальвальна суміш, в кількості 10 г, що складалась з суміші пудри алюмінію з нітратом калію загущеної ідіолом, в якій розташовувався елетрозапальник, розташовувалась в

алюмінієвій фользі на штативі на кріпленні безпосередньо над дзеркалом горючої рідини та на поверхні модельного вогнища класу А. Повний час горіння запалювальної суміші становив 35–39 секунд.

Температура горіння запалювальної суміші становила біля 2000 °С. Здатність гасіння тернарною АГПС визначають таким чином. Запалювальну суміш запалюють на поверхні деревини, або над поверхнею н-гептану. Через 10 с горіння, камеру заповнюють аерозолем, який отримують підпалюючи АУС. Одночасно в камеру подають суміш газу з порошком. Після заповнення сумішшю протягом 40 хвилин (для деревини) фіксували ознаки горіння.

Флегматизувальну здатність тернарної суміші визначають таким чином. Камеру заповнюють аерозольно-порошковою сумішшю та подають газ, створюючи тернарну суміш. Через 10 секунд запалюють електрозапальником запалювальну суміш на поверхні деревини, або над поверхнею н-гептану. Після заповнення сумішшю фіксують ознаки горіння за зменшенням або зростанням температури.

2.3.2 Визначення флегматизувальної ефективності тернарної суміші вогнегасних речовин «методом циліндра»

Для визначення впливу добавки азоту до вогнегасного аерозолу отриманого з АУС наведеної рецептури, на флегматизувальну ефективність газоаерозольної суміші, було використано експериментальну установку, схема якої наведена на рисунку 2.4. Основою установки є товстостінна скляна циліндрична посудина об'ємом 0,5л з потужним електричним джерелом запалювання розташованим всередині циліндру. Верхня й нижня частини циліндру накриті кришками. На нижній кришці розташовано джерело запалювання 2, у верхній кришці є отвір, закритий гумовою пробкою 4 в та спіральний запальник АУС 5. Скляний корпус циліндра 1 закріплено на станині на двох вертикальних стійках 6. Кріплення скляного циліндру дає можливість обертати його у вертикальній площині. В гумовому корку міститься газова труби по якій подають газ.

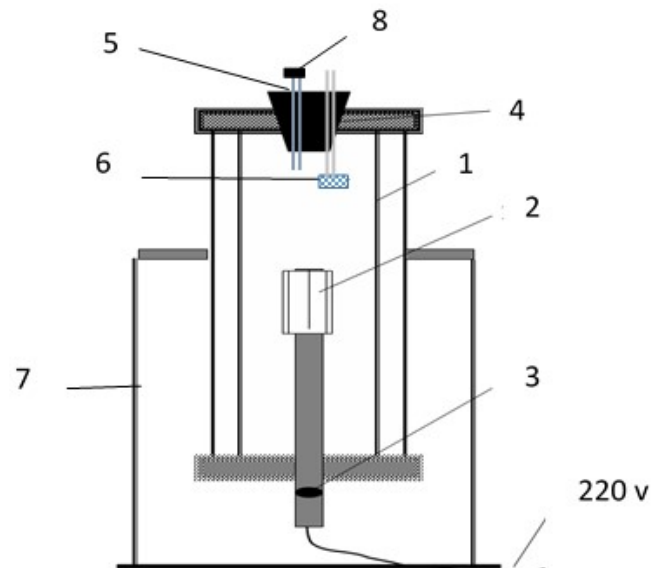


Рис.2.4 Експериментальна установка для визначення флегматизувальної концентрації газоаерозольної суміші: 1 - скляний корпус циліндра; 2 – електрозапальник; 3 - кнопка електрозапальника; 4 - гумовий корок; 5 - газова труба; 6 - спіральний запальник АУС; 7 - вертикальні стійки, 8- корок для газової трубки.

Дослідження проводили за такою методикою. Запалювання наважки АУС проводили спіральним електричним запальником, дозування газу проводили за допомогою поршневого мірника об'ємом 100 мл. Експеримент проводили таким чином: Циліндр підігрівали до 50 °С, капали відповідну кількість н-гептану для отримання концентрації близької до стехіометричної, після чого в об'ємі циліндра спалювали наважку АУС та вносили відповідну додаткову кількість азоту N_2 , перемішували отриману суміш та підпалювали натисканням кнопки електрозапальника 3. Результат випробування реєстрували за такими станами: «вибух» «відмова» «сповільнене згорання». При цьому показники таких станів – сповільнене вибухове згорання, вибух гептаноповітряної суміші при стехіометричній концентрації, при оптимальних співвідношеннях аерозолу та азоту фіксували камерою Nikon1 J4. В процесі виконання досліду визначали концентрацію газів в циліндрі за допомогою газоаналізатора Protégé, призначений для одночасного виявлення і контролю концентрації горючих газів і парів (Ех) (O_2 , CO тощо.)

2.4 Висновки за розділом

Наведені у розділі результати досліджень дали підставу зробити такі висновки:

- за результатами проведених аналітичних досліджень обґрунтовано, що вогнегасна та флегматизувальна ефективність сумішей вогнегасного аерозолю, вогнегасного порошку та газової вогнегасної речовини-розріджувача може бути вищою ніж вогнегасна та флегматизувальна здатність окремих компонентів суміші;
- поєднання цих компонентів у складі тернарної суміші, забезпечує одночасний прояв декількох чинників припинення горіння (охолодження, розрідження, інгібування), при цьому можливе отримання ефекту синергізму;
- розроблено лабораторну методику з визначення вогнегасної та флегматизувальної здатності комбінованих тернарних систем для горючих середовищ «методом камери», суть якої полягає у виявленні концентрації суміші досліджуваних вогнегасних речовин, за якої не відбувається вибуху або займання повітряно-гексанового газового горючого середовища або деревини у випробувальній камері об'ємом 175 літрів при дії на горюче середовище джерела запалювання;
- розроблено лабораторну методику з визначення флегматизувальної здатності газових горючих середовищ тернарною сумішшю вогнегасного порошку, вогнегасного аерозолю, та газових вогнегасних речовин-розріджувачів «методом циліндра», суть якої полягає у відеофіксуванні та розкадруванні надшвидкісної зйомки камерою Nikon 1 J4 вибухового горіння при додаванні вогнегасних речовин в газове горюче середовище в циліндрі об'ємом 0,5 л;
- результати досліджень, наведених у розділі, опубліковано у [36, 43, 44].

РОЗДІЛ 3

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ГАСІННЯ ТЕРНАРНИМИ ВОГНЕГАСНИМИ СУМІШАМИ ВОГНЕГАСНИХ АЕРОЗОЛІВ, ГАЗОВИХ ВОГНЕГАСНИХ РЕЧОВИН – РОЗРІДЖУВАЧІВ ТА ВОГНЕГАСНИХ ПОРОШКІВ

3.1 Математичне планування експерименту

Для перевірки досягнення ефекту підвищення вогнегасної ефективності від поєднання кількох компонентів у вогнегасній суміші було застосовано методи планування експериментів [114, 115]. З метою визначення взаємовпливу компонентів АГПС в процесі гасіння дифузійного полум'я н-гептану проведено математичне планування повного факторного експерименту.

1. Визначення факторів та інтервалів їх варіювання

Для початку необхідно провести кодування факторів для перекладу натуральних факторів в безрозмірні величини, щоб мати можливість побудувати розширену ортогональну план-матрицю експерименту.

Фактори:

- 1) X1 – концентрація АУС $C_{\text{аус}}$, г/м³;
- 2) X2 – концентрація вуглекислого газу, %об.
- 3) X3 – концентрація азоту, %об.
- 4) X4 – концентрація порошку, %об.

Критерій (Y): температура полум'я н-гептану при гасінні досліджуваною вогнегасною речовиною.

Область визначення факторів встановлюється згідно з загальновідомими межами вогнегасних концентрацій речовин, що розглядаємо в даному експерименті. Схема повнофакторного експерименту передбачає одночасне варіювання всіх досліджуваних факторів на двох рівнях: верхньому (Max), що має максимальне значення розглянутого фактора і нижньому (Min), відповідному мінімальному значенню фактора. Інтервали зміни факторів в експерименті представлені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 Інтервали варіювання факторів в експерименті

Рівень факторів		C _{АУС} , г/м ³		C _{CO₂} , %об		C _{N₂} , %об		C _{пор} , г/м ³	
Назва	Кодоване значення	X ₁	lnX ₁	X ₂	lnX ₂	X ₃	lnX ₂	X ₄	lnX ₄
Верхній	+1	40	3,69	25	3,21	33	3,5	100	4,6
Нульовий	0	25	-	18	-	25,5	-	75	
Нижній	-1	10	2,3	11	2,4	18	2,9	50	3,9

Однак, зважаючи на те, що лабораторні значення можуть значно відрізнятися від даних, отриманих в практичних умовах, доцільно переглянути вказані в таблиці межі концентрацій компонентів. Очікуємо, що за результатами експерименту отримаємо значення концентрацій в таких межах (таблиця 3.2):

Таблиця 3.2 Розширені інтервали варіювання факторів

Рівень факторів	САУС, г/м ³	ССО ₂ , %об	СN ₂ , %об	Спор, г/м ³
Верхній	40	25	33	100
Нижній	5	2,5	4	15

В процесі виконання математичного планування послуговуємося теоретично обґрунтованими даними (таблиця 3.1), позаяк підтвердження висунутої гіпотези про розширення меж концентрацій складників суміші отримаємо по завершенні серії дослідів.

Зрозуміло, що такі зміни пов'язані на самперед з відмінностями умов проходження процесу взаємодії досліджуваних речовин в лабораторних та полігонних середовищах.

Перетворимо незалежні змінні \tilde{x}_i в безрозмірні змінні за залежністю

$$x_i = \frac{2(\ln \tilde{x}_i - \ln \tilde{x}_{i\max})}{\ln \tilde{x}_{i\max} - \ln \tilde{x}_{i\min}} + 1 \quad (3.2)$$

$$x_1 = \frac{2(\ln \tilde{x}_1 - 3,69)}{3,69 - 2,3} + 1 = 1,44 \ln \tilde{x}_1 - 4,31$$

$$x_2 = \frac{2(\ln \tilde{x}_2 - 3,21)}{3,21 - 2,4} + 1 = 2,5 \ln \tilde{x}_2 - 7$$

$$x_3 = \frac{2(\ln \tilde{x}_3 - 3,5)}{3,5 - 2,9} + 1 = 3,3 \ln \tilde{x}_3 - 10,7$$

$$x_4 = \frac{2(\ln \tilde{x}_4 - 4,6)}{4,6 - 3,9} + 1 = 2,86 \ln \tilde{x}_4 - 12,1$$

2. Побудова плану проведення повного факторного експерименту

При відомому значенні числа факторів, можна знайти число дослідів, необхідних для реалізації всіх можливих поєднань рівнів факторів. В зв'язку з тим, що впливаючих факторів розглядаємо чотири, - використовуємо метод повнофакторного експерименту типу 2^4 .

$$N=2^n, \quad (3.3),$$

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

Для числа факторів $n=4$, кількість експериментів за формулою 3.3 становить:

$$N=2^4=16$$

План експерименту зручно задавати таблицею, званою матрицею планування експерименту[116-118], 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 3.3. У таблиці надалі застосовуємо скорочене позначення рівнів факторів: замість +1 і -1 позначаємо + і -.

Таблиця 3.3 Повний факторний експеримент для чотирьох факторів з фіктивною змінною

Номер дослідів	Фактори в натуральному масштабі				Фактори в безрозмірній системі координат					Вихідний параметр
	Z1	Z2	Z3	Z4	X0	X1	X2	X3	X4	
1	10	11	10	50	+	-	-	-	-	1100
2	45	11	10	50	+	+	-	-	-	980
3	10	25	10	50	+	-	+	-	-	1000
4	45	25	10	50	+	+	+	-	-	850
5	10	11	33	50	+	-	-	+	-	980
6	45	11	33	50	+	+	-	+	-	945
7	10	25	33	50	+	-	+	+	-	900
8	45	25	33	50	+	+	+	+	-	710
9	10	11	10	100	+	-	-	-	+	600
10	45	11	10	100	+	+	-	-	+	540
11	10	25	10	100	+	-	+	-	+	700
12	45	25	10	100	+	+	+	-	+	570
13	10	11	33	100	+	-	-	+	+	400
14	45	11	33	100	+	+	-	+	+	565
15	10	25	33	100	+	-	+	+	+	360
16	45	25	33	100	+	+	+	+	+	150

$$\begin{aligned}
 Z_1^0 &= 10 + 45/2 = 25,5 & \Delta Z_1^0 &= 45 - 10/2 = 17,5 \\
 Z_2^0 &= 11 + 25/2 = 18 & \Delta Z_2^0 &= 25 - 11/2 = 7 \\
 Z_3^0 &= 10 + 33/2 = 21,5 & \Delta Z_3^0 &= 33 - 10/2 = 11,5 \\
 Z_4^0 &= 50 + 100/2 = 75 & \Delta Z_4^0 &= 100 - 50/2 = 25
 \end{aligned}$$

Перевірка показала, що експериментальні дані є нормально розподіленими і однорідними.

3. Визначення коефіцієнтів рівняння регресії

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

$$Y = b_0 + \sum_{i=1}^n b_i x_i + \sum_{\substack{j,i=1 \\ j < i}}^n b_{ji} x_j x_i \quad (3.4)$$

або

$$Y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + b_{12} x_1 x_2 + b_{13} x_1 x_3 + b_{23} x_2 x_3, \quad (3.5)$$

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.

Розрахуємо лінійні коефіцієнти регресії за формулами:

$$b_0 = \frac{1}{n} \sum_{u=1}^n y_u, \quad b_i = \frac{1}{n} \sum_{u=1}^n x_{iu} \cdot y_u, \quad (3.6)$$

де n – число дослідів; y_n – середнє арифметичне значення вихідного параметра в n -му досліді; x_{iu} – значення i -го кодового фактора в рядку матриці в u -му досліді.

Вільний член (b_0) характеризує результат проведеного експерименту в центрі плану.

$$b_0 = 1/16 \sum y_i = 1/16 (1100 + 980 + 1000 + 850 + 980 + 945 + 900 + 710 + 600 + 540 + 700 + 570 + 400 + 565 + 560 + 550) = 746,8$$

Коефіцієнти розрахуємо за формулою:

$$b_{ij} = \frac{1}{n} \sum_{u=1}^n x_{iu} \cdot x_{ju} \cdot y_u, \quad (3.7)$$

$$b_{12} = 1/16 \sum x_1 x_2 y_i = 1/16 (+1100 - 980 - 1000 + 850 + 980 - 945 - 900 + 710 + 600 - 540 - 700 + 570 + 400 - 565 - 560 + 550) = -26,9$$

$$b_{13} = 1/16 \sum x_1 x_3 y_i = 1/16 (+1100 - 980 + 1000 - 850 - 980 + 945 - 900 + 710 + 600 - 540 + 700 - 570 - 400 + 565 - 560 + 550) = 24,4$$

$$b_{14} = 1/16 \sum x_1 x_4 y_i = 1/16 (+1100 - 980 + 1000 - 850 + 980 - 945 + 900 - 710 - 600 + 540 - 700 + 570 - 400 + 565 - 560 + 550) = 28,8$$

$$b_{23} = 1/16 \sum x_2 x_3 y_i = 1/16 (+1100 + 980 - 1000 - 850 - 980 - 945 + 900 + 710 + 600 + 540 - 700 - 570 - 400 - 565 + 560 + 550) = -4,4$$

$$b_{24} = 1/16 \sum x_2 x_4 y_i = 1/16 (+1100 + 980 - 1000 - 850 + 980 + 945 - 900 - 710 - 600 - 540 + 700 + 570 - 400 - 565 + 560 + 550) = 51,25$$

$$b_{34} = 1/16 \sum x_3 x_4 y_i = 1/16 (+1100 + 980 + 1000 + 850 - 980 - 945 - 900 - 710 - 600 - 540 - 700 - 570 + 400 + 565 + 560 + 550) = 3,75$$

$$b_{123} = 1/16 \sum x_1 x_2 x_3 y_i = 1/16 (-1100 + 980 + 1000 - 850 + 980 - 945 - 900 + 710 - 600 + 540 + 700 - 570 + 400 - 565 - 560 + 550) = -14,4$$

$$b_{234} = 1/16 \sum x_2 x_3 x_4 y_i = 1/16 (-1100 - 980 + 1000 + 850 + 980 + 945 - 900 - 710 + 600 + 540 - 700 - 570 - 400 - 565 + 560 + 550) = 6,25$$

$$b_{134} = 1/16 \sum x_1 x_3 x_4 y_i = 1/16 (-1100 + 980 - 1000 + 850 + 980 - 945 + 900 - 710 + 600 - 540 + 700 - 570 - 400 + 565 - 560 + 550) = 18,75$$

$$b_{1234} = 1/16 \sum x_1 x_2 x_3 x_4 y_i = 1/16 (+1100 - 980 - 1000 + 850 - 980 + 945 + 900 - 710 - 600 + 540 + 700 - 570 + 400 - 565 - 560 + 550) = 1,25$$

З урахуванням усіх знайдених коефіцієнтів основне рівняння регресії згідно виразу (3.4) для повного факторного експерименту буде виглядати наступним чином:

$$y = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + b_3 \cdot x_3 + b_4 \cdot x_4 + b_{12} \cdot x_1 \cdot x_2 + b_{13} \cdot x_1 \cdot x_3 + b_{14} \cdot x_1 \cdot x_4 + b_{23} \cdot x_2 \cdot x_3 + b_{24} \cdot x_2 \cdot x_4 + b_{34} \cdot x_3 \cdot x_4 + b_{123} \cdot x_1 x_2 x_3 + b_{234} \cdot x_2 x_3 x_4 + b_{134} \cdot x_1 x_3 x_4 + b_{1234} \cdot x_1 x_2 x_3 x_4 =$$

$$746,8 - 33,1 \cdot x_1 - 16,9 \cdot x_2 - 45,6 \cdot x_3 - 186,3 \cdot x_4 - 26,9 \cdot x_1 \cdot x_2 + 24,4 \cdot x_1 \cdot x_3 + 28,8 \cdot x_1 \cdot x_4 - 4,4 \cdot x_2 \cdot x_3 + 51,25 \cdot x_2 \cdot x_4 + 3,75 \cdot x_3 \cdot x_4 - 14,4 x_1 x_2 x_3 + 6,25 x_2 x_3 x_4 + 18,75 x_1 x_3 x_4 + 1,25 x_1 x_2 x_3 x_4$$

4. Перевірка значущості коефіцієнтів регресії

4.1 Визначення розкиду в точці

Проводимо кілька паралельних дослідів в одній точці плану для того, щоб визначити розкид значень в даній точці. Паралельні експерименти проводимо для точки 8:

$$Y_{81} = 710 ; Y_{81} = 690 ; Y_{81} = 740 .$$

Далі знайдемо їх середнє значення:

$$\bar{Y}_2 = \frac{710 + 690 + 740}{3} = \frac{2140}{3} = 713$$

4.2 Визначення дисперсії експерименту

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

$$S_y^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\bar{Y}_i - Y_i)^2}{m-1}, \quad (3.8)$$

де m – число повторних дослідів

Для точки 8 отримаємо:

$$S_y^2 = \frac{\sum_{i=1}^3 (\bar{Y}_8 - Y_{8i})^2}{3-1} = \frac{(710-710)^2 + (710-690)^2 + (710-740)^2}{2} = \frac{1300}{2} = 650$$

4.3 Середнє квадратичне відхилення

Далі візьмемо квадратний корінь і отримаємо середнє квадратичне відхилення:

$$S_y = \sqrt{S_y^2} = \sqrt{650} = 25,5$$

Дисперсія коефіцієнтів рівняння регресії визначається за наступною формулою:

$$S_{bi} = \frac{S_y}{\sqrt{N}}, \quad (3.9)$$

Згідно з формулою 6 середньоквадратичне відхилення склало:

$$S_{bi} = \frac{25,5}{\sqrt{16}} = 6,375$$

4.4 Визначення значимості коефіцієнтів рівняння регресії

Розрахункове значення критерію Стюдента визначається за формулою:

$$t_j = \frac{|b_j|}{s_{b_j}} \quad (3.10)$$

отримане значення критерію Стюдента порівнюється з табличним значенням для відповідного рівня значущості. Якщо розрахункове значення довірчого інтервалу менше табличного, то дані коефіцієнти при роботі з моделлю виключаються з рівняння регресії.

Табличне значення критерію Стюдента при 5%-му рівні значущості і при кількості ступенів свободи $f = N(n - 1) = 16(2 - 1) = 16$ рівне 2,1199.

З рівняння регресії є очевидним, що незначущими в ньому будуть $t_{13}=1,86$, $t_{134}=0,98$ і $t_{1234}=1,76$.

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

$$y = 746,8 - 33,1 \cdot x_1 - 16,9 \cdot x_2 - 45,6 \cdot x_3 - 186,3 \cdot x_4 - 26,9 \cdot x_1 \cdot x_2 + 24,4 \cdot x_1 \cdot x_3 + 28,8 \cdot x_1 \cdot x_4 + 51,25 \cdot x_2 \cdot x_4 - 14,4 x_1 x_2 x_3 + 18,75 x_1 x_3 x_4 \quad (3.11)$$

5. Обчислення розрахункових значень параметрів оптимізації.

Визначимо розрахункові значення параметрів оптимізації шляхом підстановки відповідних знаків (+ чи -) у вираз 3.11. Тоді отримаємо наступні розрахункові значення (таблиця 3.5):

Таблиця 3.5 Розрахункові дані

№ досліду	$Y_{розрах}$	ΔY	$(\Delta Y)^2$	№ досліду	$Y_{розрах}$	ΔY	$(\Delta Y)^2$
1	1101,9	-1,9	3,61	9	606,7	-6,7	44,89
2	991,8	-11,8	139,24	10	536,8	3,2	10,24
3	990,6	9,4	88,36	11	700,4	-0,4	0,16
4	830,5	19,5	380,25	12	580,5	-10,5	110,25
5	970,6	9,4	88,36	13	-299,6	699,6	489440,2
6	940,7	4,3	18,49	14	560,7	4,3	18,49
7	916,9	-16,9	285,61	15	551,7	8,3	68,89
8	721,8	-11,8	139,24	16	546,8	3,2	10,24

6 Визначення критерію Фішера і перевірка моделі на адекватність

6.1 Обчислення критерію Фішера

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

$$F_{\text{розрах}} = \frac{S_{ad}^2}{S_y^2}, \quad (3.12)$$

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

Обчислимо дисперсію адекватності за формулою:

$$S_{ad}^2 = \frac{\sum_{i=1}^N \Delta Y^2}{f} = \frac{\sum_{i=1}^N (Y_{i \text{ розрах}} - Y_{i \text{ експ}})^2}{N - m}, \quad (3.13)$$

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:

$$\Delta Y = Y_{\text{розрах}} - Y_{\text{експ}} \quad (3.14)$$

Також знайдемо $(\Delta Y)^2$ і зведемо проміжну таблицю 3.4.

Підставляючи відомі значення у вираз 3.13, обчислимо дисперсію адекватності моделі:

$$S_{ad}^2 = \frac{1406,48}{16 - 10} = 234,4$$

Експериментальне значення F-критерію (критерію Фішера) обчислимо за формулою 3.12.

$$F_{\text{розрах}} = \frac{234,4}{650} = 0,36$$

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).

$$F_{\text{табл}} = 2,85 \quad (f_1 = 16 - 10 = 6, \quad f_2 = 16(2 - 1) = 16).$$

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 дисперсій адекватності та параметра оптимізації S_Y^2 .

Порівняємо розрахункові та табличні значення критеріїв Фішера і сформулюємо висновок про адекватність моделі. згідно з умовою $F_{\text{розрах}} \geq F_{\text{табл}}$ – модель неадекватна і відповідно при $F_{\text{розрах}} \leq F_{\text{табл}}$ – адекватна.

Таким чином, у нашому випадку:

$F_{\text{розрах}} = 0,36; F_{\text{табл}} = 2,7, F_{\text{розрах}} < F_{\text{табл}}$, що говорить про адекватність моделі.

7 Представлення рівняння з кодovими факторами у вигляді рівняння з натуральними змінними:

$$x_1 = 1,44 \ln \tilde{x}_1 - 4,31$$

$$x_2 = 2,5 \ln \tilde{x}_2 - 7$$

$$x_3 = 3,3 \ln \tilde{x}_3 - 10,7$$

$$x_4 = 2,86 \ln \tilde{x}_4 - 12,1$$

Підставивши їх у (3.11) і спростивши вираз, отримуємо кінцеву модель визначення впливу незалежних чинників на числове значення температури полум'я гептанового пальника T , як кінцевого показника вогнегасної ефективності, що в свою чергу пояснює вплив спільної дії всіх об'єднаних компонентів вогнегасної речовини на температуру полум'я під час гасіння реального вогнища в реальних умовах захищуваних об'єктів.

Рівняння регресії для даного повного факторного експерименту виглядає наступним чином:

$$\begin{aligned} T = & \exp(11522 - 976,7 \ln C_{AVC} - 42,2 \ln C_{CO_2} - 4503,4 \ln C_{N_2} - 4976 \ln C_{\text{пор}} + 481 \ln C_{AVC} \ln C_{CO_2} \ln C_{\text{пор}} - \\ & - 511,5 \ln C_{CO_2} \cdot \ln C_{N_2} - 366,5 \ln C_{CO_2} \cdot \ln C_{\text{пор}} + 96,7 \ln C_{AVC} \ln C_{CO_2} + 78,1 \ln C_{AVC} \ln C_{N_2} - \\ & - 1068,7 \ln C_{AVC} \ln C_{N_2} - 761,2 \ln C_{N_2} \cdot \ln C_{\text{пор}} - 170,7 \ln C_{AVC} \ln C_{CO_2} \ln C_{N_2} + 251,25 \ln C_{AVC} \ln C_{N_2} \ln C_{\text{пор}}) \end{aligned} \quad (3.15)$$

Так як $F_{\text{розрах}} < F_{\text{табл}}$ - модель адекватна, тобто придатна для опису реального об'єкта дослідження.

Розглянемо, як впливає кожен з перелічених чинників на кінцевий параметр T . З цією метою, скориставшись моделлю (3.15). Наочно побачити вплив факторів можна на діаграмі, взявши за показники коефіцієнти додатних членів моделі.

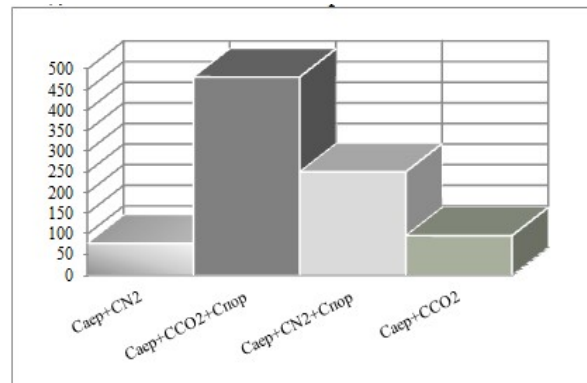


Рис.3.1 Схематичне зображення значущих факторів регресійної моделі

Отже, маючи позитивний результат щодо створеної моделі регресії та оцінюючи значущість коефіцієнтів, які ми отримали в розрахунках, можемо говорити про наступне:

Найбільший вплив на результат робить фактор сумісної дії аерозолу, CO_2 та порошку, досить значний вплив – фактор співвідношення концентрацій аерозолу, азоту та порошку, спільна дія АУС- CO_2 та АУС- N_2 також відображається в моделі як значущий фактор. Як вже зазначалося в попередніх розділах роботи - CO_2 має кращі вогнегасні характеристики в порівнянні з азотом, однак в нашому варіанті мова йде про фактор екологічності та можливість перебування людей в захищеному приміщенні. Фактично результат повного факторного аналізу підтверджує теоретичну гіпотезу, що ставилася в основі всього дослідження.

Для аерозольотворювальної суміші необхідно підібрати таку рецептуру складників, яка могла б забезпечувати максимально повний викид та частковий термічний розклад добавки з взаємно підсилюючим вогнегасним ефектом між компонентами добавки та аерозолу [129].

3.2 Вплив співвідношення вогнегасного аерозолю та газів-розріджувачів в сумішах на температуру дифузійного та кінетичного полум'я

В процесі аналізу факторів, що впливають на вогнегасну та флегматизувальну ефективність сумішей вогнегасних аерозолів та газів розріджувачів було встановлено, що найвищою вогнегасною та флегматизувальною ефективністю має суміш вогнегасного аерозолю та діоксиду карбону. На відміну від аерозольно-азотної суміші, суміш вогнегасного аерозолю та CO_2 має значно вищу вогнегасну та флегматизувальну концентрацією, завдяки утворенню гідратованих форм солей калію які містять пари води та CO_2 [58]. Відповідно, для встановлення особливостей впливу на дифузійне та кінетичне полум'я було обрано суміш вогнегасного аерозолю та азоту, яка дозволяє більш широко дослідити область взаємодії завдяки меншій вогнегасній та флегматизувальній ефективності.

Для виявлення особливостей гасіння, залежностей та вогнегасної ефективності комбінованої аерозольноазотної суміші від зміни концентрації азоту в ній, було проведено дослідження зміни температури при впливі на кінетичне полум'я суміші з співвідношенням аерозолю 45 г/м^3 та добавками азоту 5, 10, та 15 %. Кінетичне полум'я, отримували завчасно перемішуючи пару н-гептану з повітрям на відповідному пальнику.

Далі було досліджено вогнегасну дію на кінетичне полум'я комбінованої суміші. При дії на кінетичне полум'я комбінованої суміші з концентраціями до 100 г/м^3 і добавкою азоту до 30 % досягнути гасіння такого полум'я не вдавалось. Полум'я набувало блакитного забарвлення, швидкість його зменшувалась, воно незначно відривалось, але процес горіння продовжувався.

На рисунку 3.2 показано динаміку зменшення температури при добавлянні зазначених кількостей азоту. У всіх випадках температура полум'я при внесенні його в суміш різко зменшувалась. Мінімально температура зменшувалась на $50 \text{ }^\circ\text{C}$ при внесенні пальника в чистий аерозоль та максимально майже на $200 \text{ }^\circ\text{C}$ при внесенні пальника в суміш з співвідношенням аерозолю 45 г/м^3 азоту -15% .

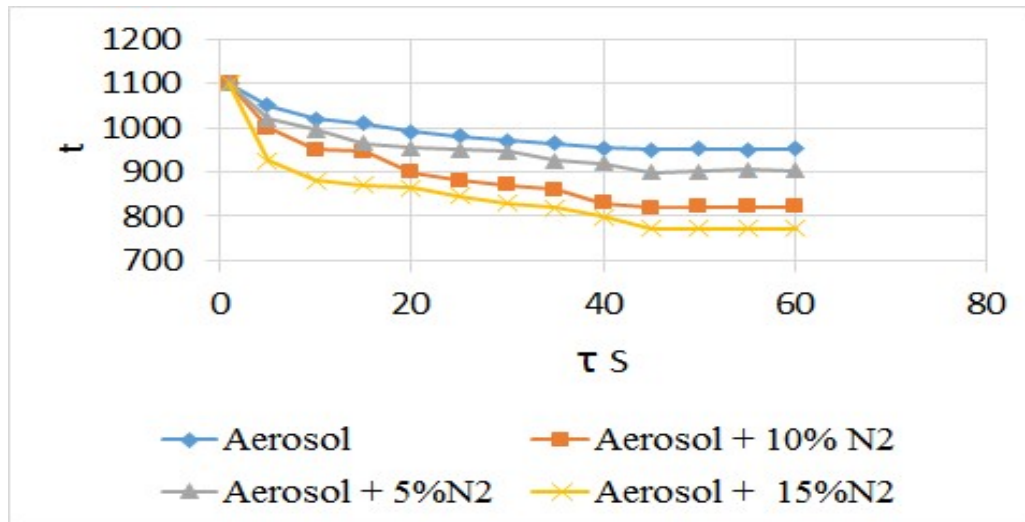


Рис. 3.2 Залежність зміни температури (t) кінетичного полум'я н-гептану в часі (τ с) залежно від концентрації азоту при сталій концентрації аерозолі в суміші – 45 г/м^3

Далі було проведено дослідження з визначення впливу комбінованої суміші на температуру гептанового дифузійного полум'я. Отримані результати показані на рисунку 3.3.

Як видно з результатів експерименту, охолоджувальна ефективність аерозолі з добавкою різної концентрації азоту є незначною, але все ж таки, зменшує температуру дифузійного гептанового полум'я (рис. 3.3). Сам аерозоль зменшує температуру полум'я теж приблизно на 40°C при концентрації лише 10 г/м^3 . При добавлянні $2,5\%$ азоту до аерозолі температура полум'я у перші 5 секунд зменшується приблизно на 50°C . Подальше добавляння 5% азоту призводить до зниження температури на 65°C спочатку за перших 5 секунд і пізніше загалом на 70°C . При найбільшому збільшенні концентрації азоту до 10% відбувається більш різке зниження температури полум'я на приблизно 75°C , і в кінцевому результаті температура зменшується загалом на 100°C , до 565°C . Таким чином зниження температури при добавці азоту відбувається, але не досить значне, і загалом динаміка зменшення температури полум'я не дуже відрізняється від зниження температури при нижчих концентраціях азоту. Для підтвердження того, що дія суміші завдає комбінованого впливу на кінетичне та дифузійне полум'я, було визначено особливості гасіння аерозолем та аерозольно-азотною сумішшю.

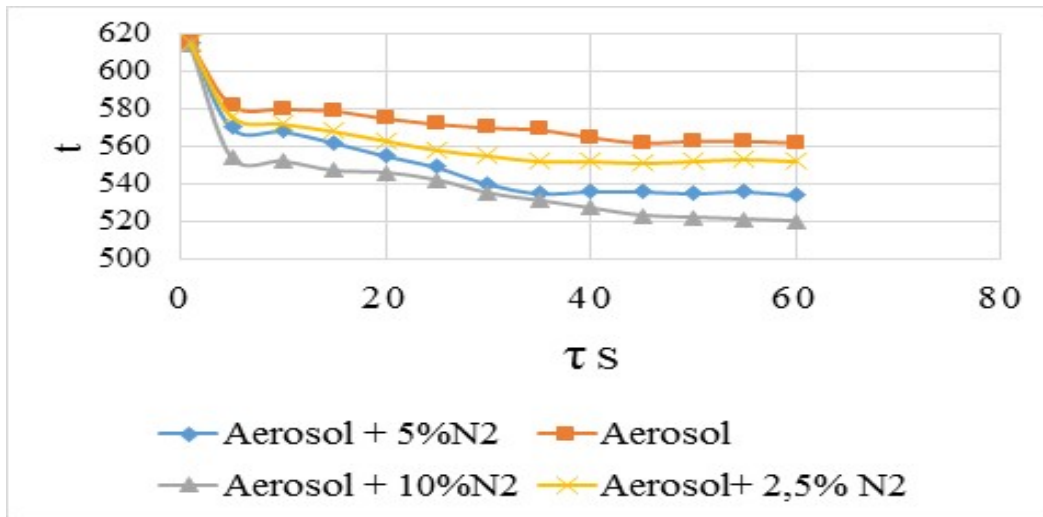


Рис. 3.3 Залежність зміни температури (t) дифузійного полум'я н-гептану в часі (τ S) залежно від концентрації азоту при сталій концентрації аерозолу в суміші – 10 г/м^3

Результати розкадровки показані на рис. 3.4. Як видно з рис. 3.4 поз. 1, при гасінні кінетичного полум'я відбувається спочатку змінення кольору полум'я після чого полум'я незначно відривається та повертається в стабільний стан. Відрив відбувається на 25 – 60 секунді. При цьому в цей момент температура полум'я знижується майже на $150 \text{ }^\circ\text{C}$.

Далі показано процес розкадровки гасіння аерозольно–азотною сумішшю. Для визначення особливостей впливу суміші на кінетичне та дифузійне полум'я було проведено відеофіксацію гасіння сумішшю відеокамерою NIKON 1 J4 з частотою кадрів 120 на секунду. Результати розкадровки гасіння дифузійного полум'я н-гептану сумішшю із співвідношенням аерозолу – 15 г/м^3 та азоту – 7,5 % показано на рис. 3.4. На рисунку 3.5 показано вплив на кінетичне полум'я суміші з співвідношенням аерозолу – 45 г/м^3 та азоту від 10 % до 20 %.

При гасінні дифузійного полум'я (рис. 3.4) воно слабо забарвлювалось, після чого, воно починало пульсувати (рис. 3.4, поз. 1 – 4), зменшувалось у розмірах (рис 3.4., поз. 5) та гасло. Зріз пальника показано на рисунках 3.4 та 3.5 горизонтальною рисою, а розміри полум'я (рис. 3.4) та його відрив (рис. 3.5) показані стрілками.

Загалом поведінка дифузійного та кінетичного полум'я при дії на них суміші аерозолю та газу розріджувача є різною, зважаючи на те, що кінетичне полум'я загасити комбінованою сумішшю навіть при значних концентраціях не вдається, а дифузійне полум'я гаситься при низьких концентраціях компонентів суміші. Ймовірною причиною цього є різна температура цього полум'я, яка для кінетичного становить близько 1100 °С, а для дифузійного в два рази меншою – 615 °С. При цьому, при добавлянні до аерозолю азоту, гасіння дифузійного полум'я відбувається не його відривом, а в результаті збільшення частоти пульсацій до 24–35 Гц, що було визначено методом відеофіксації. Полум'я в процесі пульсування зменшується в розмірі і гасне (рис. 3.4. поз. 5.). Як видно з рис. 3.5, поз. 1 при дії на кінетичне полум'я комбінованої суміші відбувається спочатку зміння кольору полум'я, подеколи воно незначно відривається та згодом повертається у вихідне становище і продовжує горіти. Причому при збільшенні кількості азоту до 15 % (рис. 3.5, поз 2.) відрив максимальний становить 4мм, та при 20 % (рис. 3.5, поз. 3.) воно відривається до 12мм, що показано стрілкою, (горизонтальною рисою позначено зріз пальника).

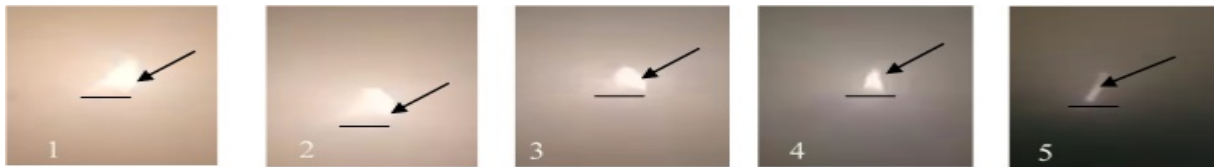


Рис. 3.4 Процес гасіння дифузійного полум'я н-гептану сумішшю при співвідношенні аерозоль – 15 г/м³, N₂–7,5 %: 1 – 4 пульсування полум'я з частотою 24-35 Гц. 5 – пульсування, зменшення розмірів та гасіння полум'я внаслідок пульсацій



Рис. 3.5 Вплив комбінованої суміші на кінетичне полум'я н-гептану: 1 – горіння полум'я при добавці аерозолю – 45 г/м³, азоту – 10 %; 2 – відрив полум'я на 4мм при добавці аерозолю – 45 г/м³, азоту – 15 %; 3. – відрив полум'я на 12 мм при добавці аерозолю – 45 г/м³, азоту – 20 %

Виходячи з результатів досліджень можна констатувати цікаві закономірності, які полягають у невеликій різниці значень на які знижується температура, як дифузійного так і кінетичного полум'я при дії на них суміші з значною різницею в концентраціях аерозолу та азоту. Особливість полягає в тому, що комбінована суміш при взаємодії з кінетичним полум'ям швидше всього не потрапляє у великій кількості всередину нього, але приводить до зниження його температури за рахунок обтікання самого полум'я. Також цікавим є те що сумішшю загасити кінетичне полум'я н-гептану неможливо навіть при великих її концентраціях в той же час дифузійне полум'я гаситься при цьому значно легше, а різниця в концентраціях суміші складає до 4 разів.

При визначенні ефективності впливу азоту на вогнегасну ефективність аерозольно-азотної суміші, як витікає з отриманих результатів, закономірним є спільне зменшення вогнегасних концентрацій аерозолу та азоту. Це обумовлено взаємно підсилюючою дією між компонентами суміші завдяки розбавленню горючого середовища газом флегматизатором та значним зростанням інгібуючої дії аерозолу. Внесення дифузійного полум'я н-гептану в камеру з сумішшю коли повітря подається в горючу суміш ззовні при стехіометричному співвідношенні горючого та окисника, не призводить до його гасіння навіть при значних концентраціях. Причому, як витікає з результатів експерименту, для гарантованого гасіння, газо-аерозольна суміш обов'язково повинна потрапляти всередину полум'я в зазначеній кількості разом з повітрям. Потрапляння аерозольно-азотної суміші всередину полум'я разом з повітрям призводить до значнішого зниження температури, ніж при внесенні кінетичного полум'я н-гептану всередину суміші коли повітря подається ззовні при концентрації аерозолу в 4 рази меншою.

Таким чином, можна сказати, що зниження температури полум'я відбувається через комплексну інгібуючо-охолоджувальну дію компонентів суміші на полум'я.

На основі результатів вимірювань температури кінетичного полум'я (рис. 3.3) можна сказати, що сам аерозоль (рис. 3.3) не чинить при невисоких

концентраціях значної вогнепригнічуючої дії, і лише при збільшенні його концентрації, його вогнегасна дія значно зростає, що призводить до ймовірного більшого комбінованого інгібувального та охолоджувального ефекту. Причому при внесенні в аерозоль гептанового пальника з кінетичним полум'ям, його температура різко знижувалась приблизно на 120°C , на 10 секунд, що видно з графіка на рис. 3.2, але це не призводило до його гасіння. Далі температура полум'я незначно зменшувалась, та стабілізувалась на значенні приблизно в 950°C . Добавляння до аерозолу азоту в кількості 5 % призводило до зменшення температури на початку до 1000°C що видно з графіка на рис. 3.3 після чого температура стабілізувалась на позначці 905°C . Подальше збільшення концентрації азоту до 10 % призвело до зменшення температури в кінцевому результаті, до позначки 887°C , а добавка 15 % призвела до зниження температури до 866°C , причому зниження температури на перших 10 секундах відбулось навіть більше, до 849°C , а потім температура стабілізувалась на позначці 866°C .

Вимірювання температури дифузійного полум'я показали подібні результати (рис.3.3) і при добавлянні самого аерозолу при концентрації 10 % температура полум'я знижувалась з 620°C до 580 на 5 секунд після чого температура зменшувалась ще приблизно до 560°C та стабілізувалась на 40 секунд на значенні в 564°C . Полум'я при цьому зменшувалось в розмірах та пульсувало з частотою 3–8Гц. Добавляння 2,5 % азоту до аерозолу призвело до більшого зменшення температури в момент внесення полум'я в суміші, далі також відбувалось зниження температури та на 35 секунд температура стабілізувалась на позначці приблизно 553°C . Збільшення концентрації азоту в суміші з 2.5 % до 5 % призвело до більш різкого зниження температури, при внесенні пальника всередину камери та 5 секунд температура знизилась до 568°C після чого так ж само продовжилось незначне зниження температури яка стабілізувалась на 540°C . При збільшенні в суміші концентрації азоту до 10 % початкове зменшення температури продовжувалось ще більше та сягнуло до 554°C після чого температура стабілізувалась на 522°C . Полум'я при цьому

значно зменшилось в розмірах та перейшло в нестабільний стан – пульсувало з частотою близько 8–12 Гц, частково відривалось та знову стабілізувалось.

Таким чином гасіння полум'я відбувалось при зменшенні його розмірів та внаслідок пульсації а не відриву, при цьому температура зменшувалась максимум на 250°C від початкової.

Результати розкадровки процесу гасіння аерозолем та аерозолем з добавкою азоту показали, що аерозоль без добавки азоту забезпечує зміну кольору дифузійного полум'я та подальше його гасіння. Добавка до аерозолю від 5 до 12 % азоту призводить до зміни в механізмі гасіння, яка полягає у пришвидшенні моменту нестабільності полум'я збільшення частоти його пульсації до 24–35 Гц та швидшого гасіння після незначного нестабільного стану за час на 30 % менший ніж без добавки азоту. Причому полум'я як було зазначено, не гасилось, а збільшення концентрації N_2 в суміші призводило до незначного збільшення відриву та теж незначного зменшення розмірів полум'я (рис. 3.4, поз.1 – 3.).

Як видно з результатів експерименту дія суміші на кінетичне та дифузійне полум'я не призводить до його сильного та різкого охолодження, а максимальне зменшення температури становить близько 230°C, але полум'я не гасло. Таким чином дія суміші ймовірно призводить до зменшення теплоутворення завдяки розбавленню атмосфери азотом і добре погоджується з результатами авторів [132], де вони теж вказали на зниження температури в результаті дії суміші хладону та вуглекислого газу на вуглеводневе полум'я. Подальше збільшення концентрації аерозолю і азоту призводить спочатку до більш різкого зменшення температури, але вона зменшується далі протягом 30–40 секунд від внесення пальника в полум'я після чого воно стабілізується. Це можна пояснити зменшенням ефективності теплоутворення реакції, та можливо незначним збільшенням концентрації продуктів горіння н-гептану, та охолодженням аерозолю.

Співставлення результатів зміни температури при внесенні в аерозоль дифузійного полум'я н-гептану та аерозолю з добавкою азоту теж призводить до зменшення температури в зазначеному діапазоні – тобто температура при

введенні пального зменшується приблизно на 100°C , після чого полум'я відривається і гасне. Таким чином, незважаючи на те, що дію комбінованої суміші ще необхідно досліджувати та визначити домінуючий механізм гасіння, вона володіє значною вогнегасною ефективністю яка є значно вищою за вогнегасну ефективність окремо взятих компонентів аерозолі та газів розріджувачів. Але на прикладі кінетичного та дифузійного полум'я можна сказати про незначну охолоджувальну дію зазначених сумішей. Відповідно для ефективного гасіння тління необхідно задіювати вогнегасний засіб який володіє ізолювальним ефектом після потрапляння на поверхню – вогнегасні порошки.

3.3 Експериментальне визначення ефективності гасіння аерозольно-газо-порошковими сумішами різних складів

В попередніх розділах ми показали, що для створення ефективної аерозольно-порошкової суміші необхідно підібрати таку рецептуру складників, які могли б забезпечувати максимально повний викид порошку при дії аерозольно-газового струменю та одночасно підсилювали вогнегасну дію один одного.

В ролі об'єкта досліджень використовувалися вогнегасні порошки на основі бікарбонату натрію (ПСБ-3), на основі фосфату амонію (П-2АПМ) та на основі хлориду калію (ПХ). Дослідні зразки цих порошків відповідають технічним умовам та державному стандарту ДСТУ 3105. Вогнегасна концентрація порошку на основі карбонатів та бікарбонатів лежить в межах $50\text{--}100\text{ г/м}^3$, причому частинки вищезазваних солей при нагріванні можуть забезпечувати додатковий вихід CO_2 та H_2O , які флегматизують зону горіння. Фосфат амонію є універсальним, оскільки може успішно застосовуватися при гасінні пожеж класів А, В та С. Фосфат перетворюється при підвищенні температури, викликаній пожежею, в метафосфорну кислоту — склоподібна плавка речовина. Кислота покриває тверді поверхні вогнестримуючим шаром, тому ця вогнегасна речовина може застосовуватися для гасіння пожеж, пов'язаних з горінням звичайних горючих матеріалів, таких як деревина і папір, а також пожеж легкозаймистих нафтопродуктів, газів та електрообладнання.

Беручи до уваги те, що аерозоль містить додатково адсорбовані гази, в районі полум'я буде виділятися деяка кількість газів, яка буде сприяти посиленню конвективних потоків біля полум'я.

Дослідження проводились за існуючими методами визначення мінімальної вогнегасної концентрації аерозолю та його сумішей, а саме метод «камери» та визначення мінімальних флегматизувальних концентрацій засобів пожежогасіння - метод «циліндра»[128].

Мінімальна кількість експериментів для отримання середнього значення досліджуваної величини не менше трьох. При поганій відтворюваності результатів число експериментів було збільшено до 6.

Для забезпечення максимальної достовірності результатів дослідження компонентів проводились у два етапи. На першому етапі визначався оптимальний склад аерозольотворюючої суміші, здатний гасити полум'я, а на другому етапі проводились уточнюючі дослідження щодо визначення мінімальних (порогових) значень вогнегасної концентрації аерозолю при взаємодії з вогнегасним порошком.

Насамперед досліджували вогнегасну ефективність аерозольотворювальних сполук, одержаних із АУС, на основі KNO_3 .

Усереднені результати залежності тривалості горіння деревини від маси АУС наведені в таблицях 3.6 та 3.7.

Таблиця 3.6 Вогнегасна ефективність аерозольотворювальної суміші на основі лактози з добавкою ВП П-2АПМ

АУС: Лактоза – 30%; KNO_3 – 70%			
τ , с гетерогенне	τ , с дифузійне	Mm , г	П-2АПМ, % мас
80,7	5,4	10,02	15
82,6	5,9	10,08	10
81,4	5,8	10,04	5

Таблиця 3.7 Вогнегасна ефективність аерозольутворювальної суміші на основі лактози з нітратом та перхлоратом калію з добавкою ВП П-2АПМ

АУС: Лактоза – 28 %; KNO ₃ – 60 %; KClO ₄ – 12 %			
τ, с гетерогенне	τ, с дифузійне	Mm, г	П-2АПМ, % мас
73,5	5,3	10,02	15
74,2	5,4	10,01	10
74,1	5,6	10,14	5

Експеримент показав достатньо хорошу відтворюваність одержаних експериментальних значень M_m визначених за вищеописаною методикою.

На підставі результатів цих досліджень можна зробити узагальнюючі висновки щодо ефективних аерозольутворювальних рецептур. Найкращу ефективність проявляють АУС, що містять одночасно KNO₃ і KClO₄ на основі палива лактози.

Оскільки лактоза має порівняно невеликий газифікуючий ефект, і на згоряння 1 грама потрібно 0,88 г кисню, то виникає необхідність перевірки на вогнегасну ефективність рецептур з іншими паливами в основі – епоксидно діанової смоли та ідітолу (табл.3.7, 3.8). Як бачимо, максимальний діапазон ефективної дії KClO₄ для різних складів АУС різний. Так, для АУС на основі ЕДС цей діапазон становить 10-40 % мас., для ідітолу – 10-30% мас., а для лактози 10-20 % мас., KClO₄.

Таблиця 3.8 Вогнегасна ефективність аерозольутворювальної суміші на основі лактози з нітратом та перхлоратом калію з добавкою ВП П-2АПМ

АУС: Лактоза – 28 %; KNO ₃ – 60 %; KClO ₄ – 12 %			
τ, с гетерогенне	τ, с дифузійне	Mm, г	П-2АПМ, % мас
73,5	5,3	10,02	15
74,2	5,4	10,01	10
74,1	5,6	10,14	5

Таблиця 3.9. Вогнегасна ефективність аерозольутворювальної суміші на основі ідітолу з добавкою ВП П-2АПМ

АУС: Ідітол – 20 %; KNO_3 – 60 %; $KClO_4$ – 20 %			
τ , с гетерогенне	τ , с дифузійне	Mm , г	П-2АПМ, % мас
54.7	5,2	10,03	15
59.7	5,6	10,02	10
55.4	5,8	10,12	5

Результати цих дослідів показали, що на вогнегасну ефективність при гасінні дифузійного полум'я в першу чергу, суттєво впливає співвідношення компонентів та вид компонентів в складі суміші. Крім цього бачимо, що добавка ВП П-2АПМ призводить до підвищення ефективності гасіння гетерогенного горіння, що пояснюється виносом разом з аерозолем вказаної добавки в захищений об'єм.

За результатами експериментів в табл. 3.8 - мінімальне значення часу гасіння властиве аерозольутворювальним сполукам на основі АУС, в яких концентрація $KClO_4$ знаходиться в межах 10-20 % мас., та відношення концентрація добавки від 5% до 15%.

Відомо, [136] що зразки АУС, які містять одночасно і KNO_3 і $KClO_4$, проявляють вищу ефективність, завдяки збільшенню ступеня перетворення АУС. До того ж як відомо [60] карбонати та хлориди являються синергентами. Отже, змінюючи природу і склад вихідних компонентів АУС та порошку можна впливати на вогнегасну ефективність аерозольно-порошкової суміші. Крім цього негорючі газоподібні компоненти, додатково розбавляють горючу систему, знижують концентрацію кисню і тим самим різко підвищують ефективність вогнегасної дії інгібітора.

Як бачимо, максимальний діапазон ефективно дії $KClO_4$ для різних складів АУС різний. Так, для АУС на основі ЕДС цей діапазон становить 10-40 % мас., для ідітолу – 10-30% мас., а для лактози 10-20 % мас., $KClO_4$. Оптимальне ефективне співвідношення окисників ($KNO_3:KClO_4$) для різних АУС також різне: для ЕДС це 45:35 % мас., для ідітолу – 60:20 % мас, для

лактози – 55:15 % мас. Враховуючи високу вартість перхлорату калію експериментально було перевірено вогнегасну ефективність аерозольно-порошкових сумішей на основі палива ЕДС та ідітолу. При зміні палива від важкоокислюваної ЕДС через ідітол до легкоокислюваної лактози зберігається однакове оптимальне співвідношення $\text{KNO}_3:\text{KClO}_4$, яке вказує одночасно на те, що домінуючу роль в процесі припинення горіння відіграє тверда аерозольно-порошкова фаза, а вогнегасна ефективність твердої фази формується завдяки компонентам газової фази, таким як CO_2 і H_2O . Власне цим і пояснюється найвища ефективність аерозолів, одержаних із АУС, де паливом є ідітол, оскільки при його спалюванні утворюється значна кількість CO_2 та водяної пари, яка сприяє формуванню гідратованих частинок, що підтверджено авторами [106]. Крім цього експеримент показав ефективне співвідношення фосфату амонію яке лежить в межах до 15 %, крім цього даний компонент використовується в якості антипірену [137].

Таким чином ці досліді показують, що природа вогнегасної дії аерозолів є складною, тобто проявляється одночасно дія таких факторів, як інгібування процесу горіння твердою фазою, відбувається також дія за принципом теплових флегматизаторів, тобто компонентів здатних знижувати температуру горіння в результаті ендотермічних процесів їх розпаду, про що вказувалося в попередньому розділі, а також забезпечується ефект розрідження завдяки газам розріджувачам які як відомо значно можуть підвищувати вогнегасний ефект завдяки незначному зменшенні концентрації кисню в об'ємі, коли присутні вогнегасні порошки та аерозолі значно краще забезпечують гасіння та флегматизування.

З вищевказаного випливає, що для підвищення вогнегасної та флегматизувальної ефективності аерозолів та порошків необхідна одночасна наявність в об'ємі разом з ними достатньої кількості компонентів газової фази – CO_2 і H_2O [106].

Як зазначалося в розділі 2, описані нами методики придатні для експериментального дослідження взаємодії одночасно трьох складників вогнегасної суміші. Детальніше методику та послідовність виконання такого

експерименту описано в статті [138] Для підтвердження висунутої думки про те, що сумісне застосування аерозолю порошку та газів флегматизаторів забезпечуватиме повноцінний захист горючого середовища від дії високої температури розплавлених частинок металу та струменів полум'я на горючу тверду чи рідку речовину, було проведено дослідження з визначення флегматизувальної та вогнегасної ефективності запропонованої комбінованої суміші.

Аерозоль отримували з однієї з найефективніших АУС на основі ідітолу – 20 % та нітрату калію – 80 % без добавки дефіцитного та дорогого перхлорату калію. Даний АУС має вогнегасну концентрацію для н-гептану 25 г/м^3 що було визначено методом «камери». В якості вогнегасного порошку використали вогнегасний порошок на фосфорно-амонійній основі (П-2АПМ). Використовували також хімічні чисті на 99,9 % гази CO_2 та N_2 . Для визначення ефективності флегматизування та гасіння сумішшю аерозолю, порошку та газів флегматизаторів було використано «метод камери». Опис експериментальної установки (рис. 2.3) та методика проведення досліджень наведені у підрозділі 2.5.

В першій серії дослідів було визначено здатність тернарної суміші гасити та попереджувати горіння н-гептану при подачі суміші перед його займанням та після його займання за вказаною методикою.

Результати експерименту показані у таблиці 3.10.

Таблиця 3.10 Результати експериментальних досліджень з виявлення особливостей гасіння і флегматизування н-гептану

Склад суміші ВР	Спосіб подавання ВР	Результат
Аерозоль – 15 г/м^3 ; CO_2 – 6,5 %; ВП – 25 г/м^3	Після запалювання ЗС	Гасіння досягнуто Локальні спалахи парів н-гептану без подальшого горіння
Аерозоль – 20 г/м^3 ; CO_2 – 10,5%; ВП – 25 г/м^3	Перед запалюванням ЗС	Відбулось флегматизування. Відсутність горіння та спалахів парів н-гептану
Аерозоль – 15 г/м^3 ; CO_2 – 14 %; ВП – 25 г/м^3	Після запалювання ЗС	Гасіння досягнуто. Відсутність повторного займання. Середовище зафлегматизовано

Кінець таблиці 3.10

Склад суміші ВР	Спосіб подавання ВР	Результат
Аерозоль – 20 г/м ³ ; N ₂ –15 %; ВП – 25 г/м ³	Перед запалюванням ЗС	Відбулося флегматизування Відсутність горіння та спалахів парів н-гептану
Аерозоль – 10 г/м ³ ; N ₂ –15 %; ВП – 25 г/м ³	Після запалювання ЗС	Гасіння досягнуто. Відсутність повторного займання

Як видно з результатів дослідів тернарна суміш добре гасить та флегматизує н-гептан, який підпалений таким високотемпературним джерелом, як суміш пудри алюмінію з нітратом калію та ідіолом. Лише в одному випадку, коли концентрація газу була недостатньо високою і при підпалюванні н-гептану в результаті займання його парів сталося два хлопки. В решті випадків, як при підпалюванні н-гептану в тернарній суміші, так і при заповненню сумішшю, коли н-гептан горів в присутності запалювальної суміші, горіння припинялось у всіх випадках.

В другій серії експериментів було визначено здатність тернарної суміші гасити та попереджувати горіння та тління деревини при подачі суміші перед її займанням та після її займання за вказаною методикою. Результати експерименту наведено у таблиці 3.11.

Таблиця 3.11 Залежність та особливості гасіння та флегматизування деревини

№	Склад суміші	Час подачі АГПС	Результат
1	Аерозоль – 15 г/м ³ ; CO ₂ –6,5 %; ВП – 25 г/м ³	Перед запалюванням ЗС	Флегматизування. Залишкове тління вогнища 45 с, відсутність полум'яного горіння.
2	Аерозоль – 20 г/м ³ ; CO ₂ -10,5 %; ВП – 25 г/м ³	Перед запалюванням ЗС	Флегматизування. Залишкове тління вогнища 52 с Відсутність полум'яного горіння.
3	Аерозоль – 15 г/м ³ ; CO ₂ -4 %; ВП – 25 г/м ³	Після запалювання ЗС	Гасіння. Відсутність повторного займання

Кінець таблиці 3.11

№	Склад суміші	Час подачі АГПС	Результат
4	Аерозоль – 20 г/м ³ ; N ₂ -15 %; ВП – 25 г/м ³	Перед запалюванням ЗС	Флегматизування. Залишкове тління вогнища 82 с Відсутність полум'яного горіння.
5	Аерозоль – 10 г/м ³ ; N ₂ -15 %; ВП – 25 г/м	Після запалювання ЗС	Гасіння. Залишкове тління вогнища 142 с. Відсутність полум'яного горіння.

Результати дослідів показали, що дія ЗС на поверхню модельного вогнища не приводить до його запалювання. При дії на поверхню модельного вогнища ЗС відбувалось утворення гетерогенного горіння, яке тривало від 45 с до 142 с і після чого припинялось. Графік залежності вогнегасної концентрації був побудований з умовою, що вогнегасна концентрація аерозолі утвореного з АУС на основі ідітолу, для н-гептану становить 25 г/м³, а азоту для н-гептану – 33 % [128-132,93].

Загалом отримані результати щодо зміни концентрацій вогнегасних компонентів в тернарній суміші вогнегасного аерозолі, вогнегасного порошку залежно від концентрації добавок CO₂ та N₂ та межі значень їх оптимальних концентрацій показані на графіках (рис. 3.6 та рис 3.7).

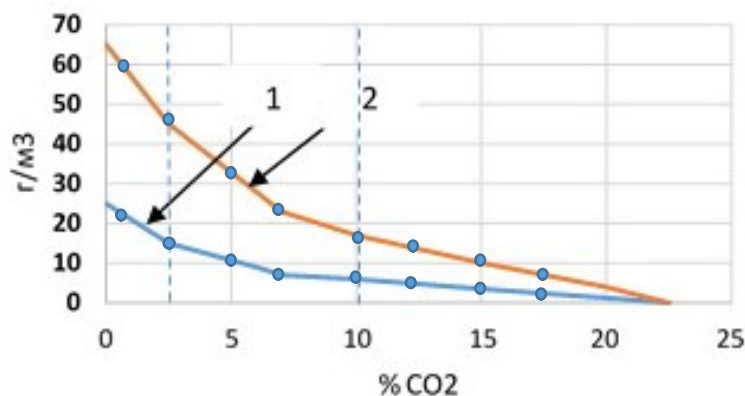


Рис. 3.6 Графік змінення вогнегасних концентрацій за різного співвідношення компонентів вогнегасного порошку, вогнегасного аерозолі та газової вогнегасної речовини - розріджувача CO₂: 1 - концентрація аерозолі; 2 – концентрація ВП. Область оптимальних концентрацій позначена штрихпунктирними лініями

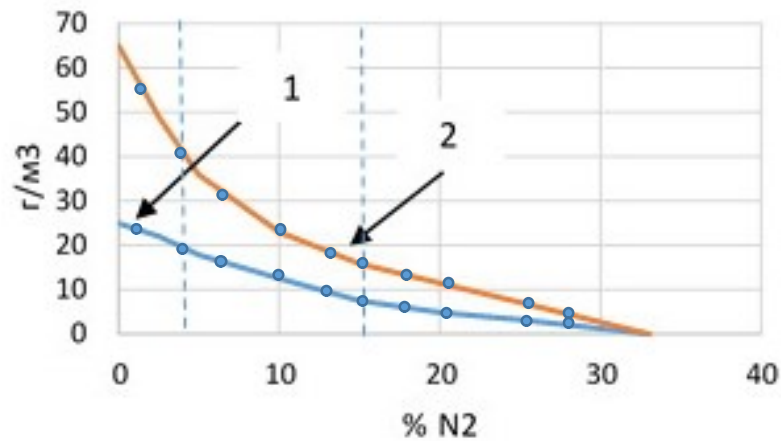


Рис. 3.7 Графік змінення вогнегасних концентрацій за різного співвідношення компонентів вогнегасного порошку, вогнегасного аерозолю та газової вогнегасної речовини - розріджувача N₂: 1 - концентрація аерозолю; 2 – концентрація ВП Область оптимальних концентрацій позначена штрихпунктирними лініями

Конкретизовані значення оптимальних співвідношень компонентів тернарної суміші показані в таблиці 3.12.

Таблиця 3.12 Область оптимальних співвідношень компонентів вогнегасної тернарної суміші

Вид вогнегасної речовини	Співвідношення
Вогнегасна тернарна суміш на основі CO₂	
CO ₂	2,5-10 %
АУС	15-7,5 г/м ³
ВП	47-18 г/м ³
Вогнегасна тернарна суміш на основі N₂	
N ₂	4-16%
АУС	18-8 г/м ³
ВП	40-17 г/м ³

В результаті експерименту підтверджено, що суміш вогнегасного аерозолю, порошку та газів флегматизаторів забезпечує ефективний захист від дії джерела запалювання у вигляді запалювальної суміші в обмеженому об'ємі, де можуть виникнути пожежі класів А, В, С, та Е, при співвідношеннях компонентів суміші – аерозолю до 20 г/м³, газів CO₂ або N₂ до 15 %, та

амонійно-фосфатного порошку П-2АПМ – мінімум 25 г/м³. Також встановлено, що ізолювальна дія тернарної суміші буде полягати в тому, що над поверхнею осілого вогнегасного порошку утворюватиметься газовий прошарок з підвищеною концентрацією вогнегасних речовин, що буде сприяти активному та ефективному гасінню гетерогенного горіння, а в об'ємі гомогенне горіння буде подавляти газо-аерозольна суміш.

Тривалість захисної дії тернарної суміші буде дорівнювати тривалості осідання вогнегасного аерозолю, що загалом значно більше за тривалість горіння запалювальної суміші.

Також з результатів експерименту видно, що навіть незначна кількість введеного інертного газу в об'єм з сумішшю твердофазного вогнегасного аерозолю та вогнегасного порошку суттєво знижує вогнегасну концентрацію останнього, а також і швидкість горіння, а при подальшому збільшенні – зводить процес гасіння до створення повністю негорючого середовища – флегматизування.

Оптимальні співвідношення впливають умов ефективного викиду необхідної кількості порошку в результаті згорання АУС, при цьому в заданих межах буде максимально повно викидатись вогнегасний порошок. Також при цьому забезпечується зникнення форсу полум'я в результаті взаємодії його з вогнегасним порошком, а також після осідання порошку в об'ємі буде ще необхідна кількість газо-аерозольної суміші яка необхідна для гасіння дифузійного полум'я. Газ розріджувач додатково забезпечує охолодження та витіснення аерозольно-порошкової суміші та остаточне її перемішування. Крім цього, добавки газів розріджувачів - CO₂ та N₂ значно впливають на вогнегасну ефективність суміші аерозолю та порошку а їх роль в процесах гасіння аерозолями необхідно розглядати нарівні та одночасно з наявністю твердої фази.

У таблиці 3.13 наведено значення вогнегасної концентрації компонентів у складі двох варіантів тернарних сумішей з областей оптимальних концентрацій (див. рис. 3.6 та 3.7) та вогнегасних концентрацій цих компонентів у разі їх індивідуального застосування.

Таблиця 3.13 Значення вогнегасних концентрацій компонентів тернарних сумішей

Вогнегасна речовина	Вогнегасна концентрація компонента АПГС		
	індивідуально	у складі суміші 1	у складі суміші 2
АУС, г/м ³	22	10	18
ВП П-2АІМ, г/м ³	65	33	38
СО ₂ , % об.	22	5	-
Ν ₂ , % об.	33	-	5

З наведених даних видно, що вогнегасні концентрації компонентів у складі суміші 1 (АУС + ВП + СО₂) в 2 – 4,4 рази менші за значення вогнегасних концентрацій цих компонентів у разі індивідуального їх застосування. Для суміші 2 (АУС + ВП + Ν₂) відповідні співвідношення становлять 1,2 – 6,6 раз.

Таким чином отримані дані щодо значень вогнегасної ефективності та особливостей гасіння комбінованою сумішшю можуть бути основою, для створення ефективних вогнегасних систем для гасіння горючих гомогенних та гетерогенних середовищ. Визначені співвідношення аерозолі та газів - розріджувачів забезпечують задовільні умови для життєдіяльності людини при гасінні пожеж у замкнутих об'ємах. При застосуванні для гасіння суміші концентрація кисню в захищуваному приміщенні не знижується нижче 16 %. При цьому тернарні комбіновані забезпечують швидке та надійне гасіння різнотипних об'єктів з можливістю виникнення пожеж класів А, В, С та електрообладнання [133-134] при вогнегасних концентраціях – 40–50 г/м³. Особливо доречно наголосити що зазначені тернарні суміші доцільно використовувати для гасіння пожеж в електроустановках, що вказана в роботі [135] з погляду на те, що в них нерідко виникають комбіновані пожежі які вимагають для ефективного гасіння переваг як вогнегасного аерозолі, вогнегасного порошку та газів – розріджувачів.

3.4 Флегматизувальна ефективність тернарних сумішей вогнегасного аерозолю, газових вогнегасних речовин – розріджувачів та вогнегасного порошку

Для визначення флегматизувальної ефективності суміші вогнегасного аерозолю та газів – розріджувачів було проведено експеримент з визначення впливу добавок на процес вибуху стехіометричної гептано-повітряної суміші.

З метою порівняння швидкості згоряння та встановлення первинної картини процесу вибухового згоряння гомогенної горючої стехіометричної гептано-повітряної суміші було проведено відеофіксацію вибуху в установці «циліндр», з швидкістю 1200 кадрів на секунду фотокамерою Nikon 1 J4. Повна тривалість вибуху становила близько 100 мс.

Як видно з розкадровки, вибухове горіння стехіометричної гептано-повітряної суміші (СПС) можна умовно поділити на 3 етапи. На 1 етапі – рис.3.8. позиція 1- 7 відбувається швидке поширення фронту полум'я в циліндрі, при близькій до стехіометричної концентрації, про що свідчить блакитний насичений колір фронту полум'я - позиція 1-10 за час рівний близько 42 мс. Результати розкадровки представлені на рисунку 3.8. При цьому фронт полум'я рівномірно поширюється в обидві сторони до позиції 6. після якого з верхнього отвору під дією тиску фронту ударної хвилі вилітає корок – (позиція 7). Далі в процесі вибухового горіння відбувається (позиція 8) догоряння горючої суміші, яка залишилась в нижній частині циліндра, причому поширення полум'я дещо сповільнюється і догоряння проходить довше майже в два рази довше за горіння в першому етапі – рисунок 3.9. поз. 13 - 18.

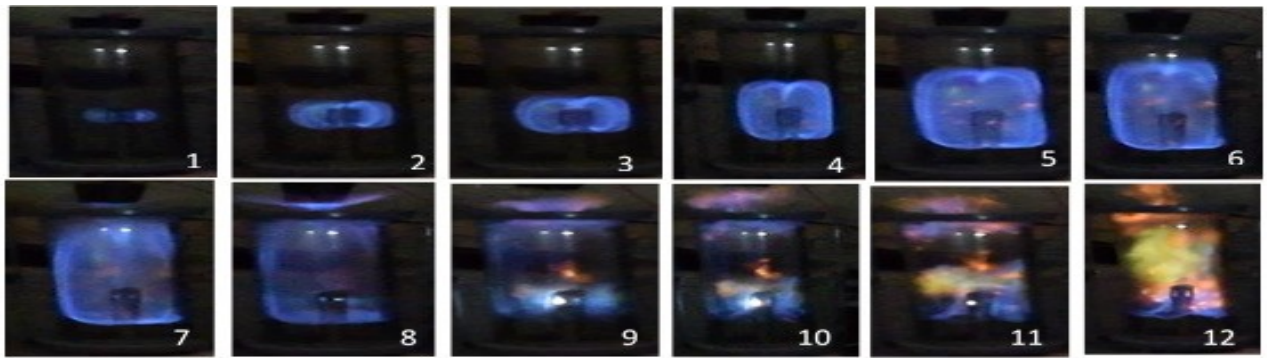


Рисунок 3.8 Розкадровка вибуху СГПС. Тривалість вибуху $\tau \approx 100$ мс,
1-2 етапи

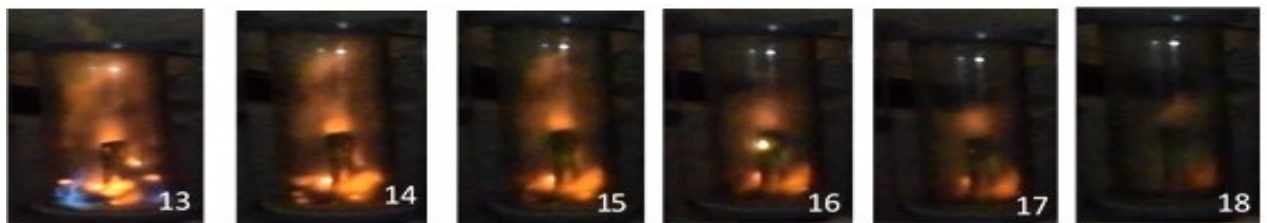


Рисунок 3.9 Розкадровка вибуху СГПС. Тривалість вибуху $\tau \approx 100$ мс,
3 етап

При горінні в нижній частині циліндра відбувається вихід нагрітих продуктів згоряння, про що можна судити з жовто-червоного кольору газів (показано стрілками на поз. 13), де з'являється жовта зона газів до поз.15 де жовта зона викидається назовні через верхній отвір (показано стрілкою поз. 17). В кінцевому результаті рис. 3.9. (позиції 13 – 18) полум'я поширюється на нижню частину циліндра, що приводить до кінцевого вигорання суміші в об'ємі циліндра. Далі йде процес затухання, що супроводжується остиганням продуктів горіння в циліндрі. Відповідно повне згоряння гептано-повітряної суміші з остиганням продуктів горіння та остигання їх залишку в циліндрі загалом відбувається за час приблизно рівний 100 мс.

Відомо, що флегматизувальна концентрація N_2 складає близько 40,2% [140]. Відповідно, з метою визначення впливу добавок азоту на горючу суміш провели експеримент з добавкою 10 % азоту до гептано-повітряної суміші.

Результати протікання вибуху гептано-повітряної суміші з добавкою 10% N₂ показано в розкадровці процесу на рисунку 3.10.

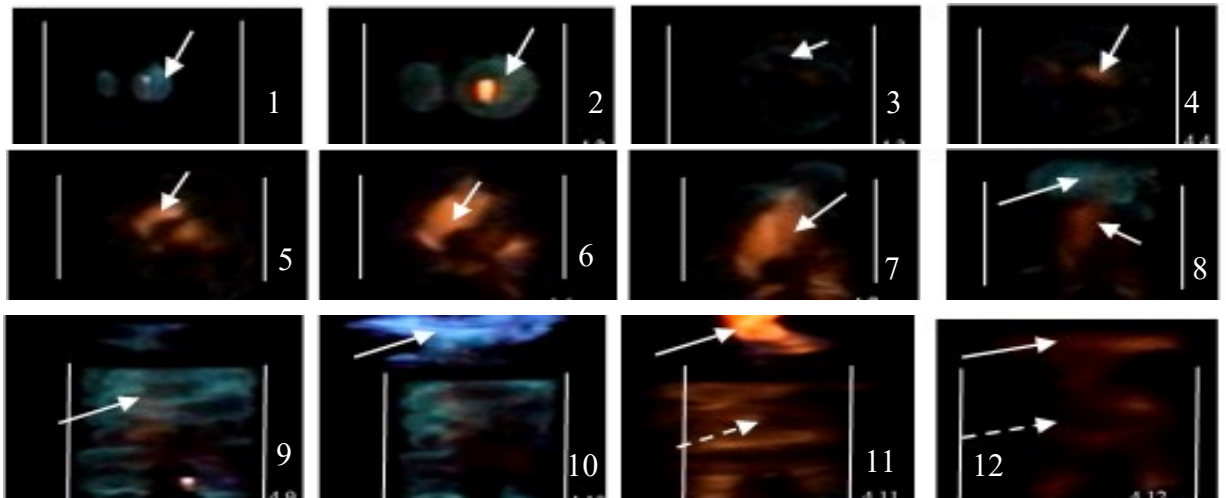


Рисунок 3.10 Розкадровка вибухового горіння СГПС з добавкою 10% азоту. Тривалість вибуху $\tau \approx 210$ мс.

Як видно з розкадровки добавка до горючої суміші лише 10% N₂ вже значно знижує швидкість поширення полум'я, що можна побачити по збільшенню часу вибухового горіння, яке зросло до 220 мс. Причому під час вибухового згоряння у всіх випадках (6 спроб) були присутні характерні етапи показані на прикладі на розкадровці на рисунку 3.10. Перший етап, який показано на рис. 3.10. поз. 1 - 4. включав в себе поширення сфери фронту горіння, причому колір полум'я змінився з блакитного (рис 3.10 поз. 1-6) на бірюзовий. Час 1 етапу протягом якого відбувалось поширення полум'я назовні до викиду з верхнього отвору корку становив близько 125 мс (рис. 3.10, поз. 1-6). При цьому фронт горіння змінив колір на червоний (рис. 3.10 поз. 2-3) та збільшувався в часі близько 50 мс – рис 3.10 поз. 4 - 7. Після чого, досягнувши верхньої стінки полум'я різко виштовхувало корок та виривалося назовні (рис 3.10 поз. 8.-12) за час близько 25 мс, після контакту з стінкою. Після виштовхування корка колір полум'я різко змінювався на бірюзовий, причому в верхній частині циліндра, там де суміш контактувала з повітрям, колір полум'я набував блакитного забарвлення (показано стрілками на рис. 10), що свідчить про повноту згоряння суміші.

Після виходу фронту полум'я назовні колір нагрітих газів так само різко набував червоного забарвлення. Гази не змінювали кольору всередині циліндра до повного потухання та остигання (рис. 3.10 поз. 11,12). Виходячи з результату експерименту, добавка лише 10 % N_2 призвела до зменшення швидкості горіння гептано-повітряної суміші до 2-х разів. При цьому значно змінився процес поширення полум'я по горючій суміші, та вдвоє збільшилася тривалість вибуху, що відповідно призвело до значного зменшення вибухового тиску.

Результати експерименту показали що при добавлянні азоту в діапазоні від 2% до 6 % відбувається поширення полум'я на весь об'єм циліндра. Подальше збільшення концентрації азоту в суміші призводить до обмеження поширення полум'я на весь об'єм циліндра, при цьому значно збільшується час запалювання горючої суміші. При збільшенні концентрації азоту до 10 % поширення полум'я відбувається лише на верхню частину циліндра. При концентрації N_2 від 12 % до 14 % полум'я взагалі поширюється лише в межах сфери від первинного запалювання, яка самозагасає. Тиск при цьому занадто низький для виштовхування корку з отвору.

В наступній серії випробувань було визначена флегматизувальна концентрація аерозолу отриманого з АУС на основі ідітолу, для гептано-повітряної суміші, та встановлено що вона становить 66 г/м^3 .

Далі було проведено визначення флегматизувальної ефективності тернарної суміші вогнегасного аерозолу, вогнегасного порошку, та газу розріджувача. При цьому було виявлено значне зниження швидкості згорання СГПС та зменшення меж сфери поширення полум'я в СГПС. Розкадровка процесу горіння при додаванні до гептано-повітряної суміші тернарної суміші при концентрації дещо нижчій за флегматизувальну, а саме аерозолу – 10 г/м^3 , порошку 25 г/м^3 та 3 % N_2 . Тривалість вибуху при цьому становила $\approx 582 \text{ мс}$ (рис. 3.11). Після загоряння СГПС, при наявності аерозолу, чітко спостерігався ефект уповільнення розповсюдження полум'я. Навіть при концентраціях н-гептану, близьких до стехіометричних, і нижчих концентраціях, спостерігалось часткове поширення полум'я по обсягу пароповітряної суміші. Тривалість

згоряння збільшувалася мінімум в 7 разів в порівнянні з горінням чистої стехіометричної гептано-повітряної суміші. Як видно на рис.3.11 (поз. 1-5), поширення полум'я, відбувалося тільки вгору, у вигляді круглої сфери від джерела запалювання без поширення по всій суміші.

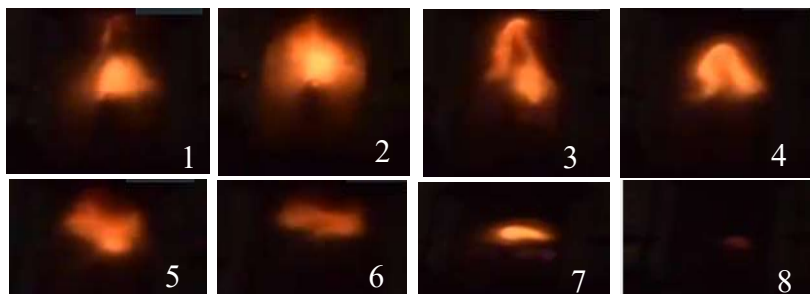


Рисунок 3.11 Розкадровка вибуху СГПС при концентрації аерозолі – 10 г/м^3 , ВП - 25 г/м^3 та $3 \% \text{ N}_2$. Тривалість вибуху $\approx 582 \text{ мс}$

Нижній край полум'я залишався приблизно на рівні первісного підпалу. При цьому у всіх випадках полум'я мало червоний колір що свідчить про неповноту згоряння суміші або про часткове забарвлення полум'я солями калію. Також враховуючи, що флегматизувальна концентрація CO_2 для н-гептану становить близько 33% а азоту близько 42% було встановлено залежність флегматизувальної ефективності від співвідношення CO_2 та аерозолі та N_2 та аерозолі на установці циліндр. Результати показані на рисунках 3.12 та 3.13.

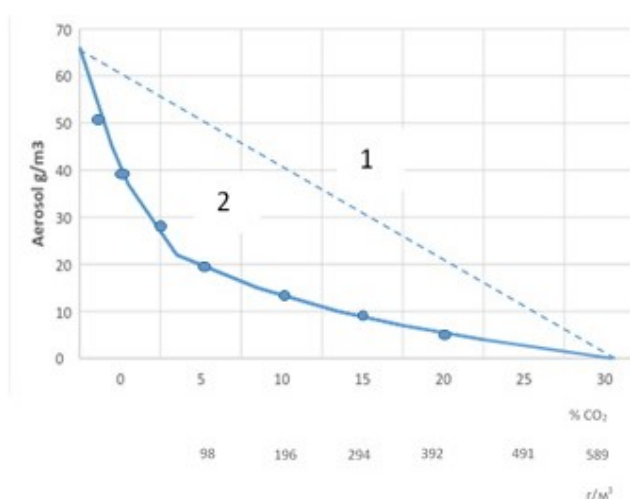


Рис. 3.12 Залежність флегматизувальної ефективності вогнегасної суміші від вмісту CO_2 : 1 – адитивна пряма; 2 – експериментальні дані

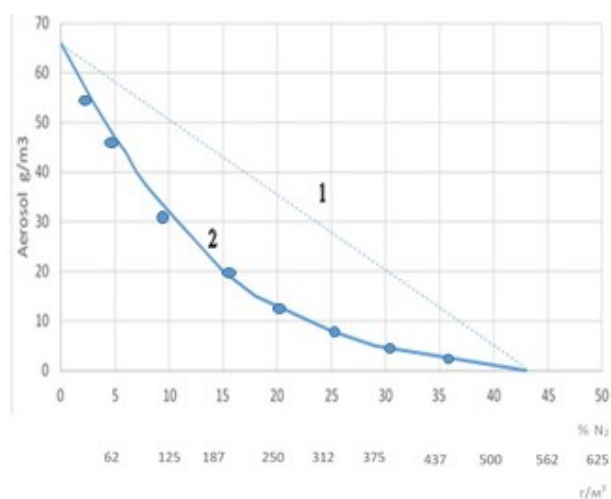


Рис. 3.13. Залежність флегматизувальної ефективності вогнегасної суміші від вмісту N_2 : 1 – адитивна пряма; 2 – експериментальні дані

Як видно з графіків, експериментальні значення компонентів суміші, розташовані нижче значень у разі адитивності, відповідно зафіксовано зниження концентрації компонентів суміші. При добавлянні до суміші що містить CO_2 – 5%, вогнегасного аерозолу – 20 г/м^3 та суміші на основі азоту N_2 – 10 %, вогнегасного аерозолу – 33 г/м^3 , 30 г/м^3 вогнегасного порошку, було отримано зниження концентрації аерозолу до 67 % щодо порівняно із значеннями окремо взятих концентрацій, вогнегасного аерозолу – 66 г/м^3 , CO_2 – 33%. При цьому тернарна суміш з добавкою CO_2 , отримала такі співвідношення: вогнегасного порошку – 30 г/м^3 ; вогнегасного аерозолу – 12 г/м^3 та газу розріджувача CO_2 – 5 %, тернарна суміш з добавкою N_2 отримала такі співвідношення: вогнегасного порошку – 30 г/м^3 , вогнегасного аерозолу – 21 г/м^3 та N_2 – 10 %.

У таблиці 3.14 наведено значення флегматизувальної концентрації компонентів у складі двох варіантів тернарних сумішей з областей концентрацій, за яких забезпечується максимальний синергетичний ефект взаємодії АУС та газової вогнегасної речовини – розріджувача (точки на ломаних 2 максимльно віддалених від адитивної прямої 1 на рис. 3.12, 3.13). З наведених даних видно, що флегматизувальні концентрації компонентів у складі суміші 3 (АУС + ВП + CO_2) в 5,5 – 6,6 рази менші за значення вогнегасних концентрацій цих компонентів (АУС та CO_2) у разі індивідуального їх застосування. Для суміші 4 (АУС + ВП + N_2) відповідні співвідношення становлять 3,1 – 4,3 раз (АУС та N_2).

Таблиця 3.14 Значення флегматизувальних концентрацій компонентів тернарних сумішей

Вогнегасна речовина	Флегматизувальна концентрація компонента АПГС		
	індивідуально	у складі суміші 3	у складі суміші 4
АУС, г/м^3	66	12	21
ВП П-2АПМ, г/м^3	-	30	30
CO_2 , % об.	33	5	-
N_2 , % об.	43	-	10

Таким чином беручи до уваги експериментальні значення флегматизувальної ефективності тернарних сумішей, а також результатів

розкадровки вибухів гептаноповітряної суміші можна сказати, що згадані суміші можуть також ефективно подавляти вибухи газопароповітряних сумішей, тобто є ефективними флегматизаторами гомогенних та гетерогенних горючих середовищ.

3.5 Тривалість ефективної вогнегасно-флегматизувальної дії тернарних аерозольно-газо-порошкових сумішей

Для визначення умов ефективного застосування тернарних аерозольно-газо-порошкових сумішей було визначено час протягом якого ця суміш забезпечувала вогнегасну здатність при одночасному викиді газу, аерозолю та порошку. Визначення часу та швидкості осідання вогнегасного порошку та аерозолю проводили в випробувальній камері об'ємом 175 л за допомогою аналітичних ваг ВТУ 210/С3, наступним чином. Здійснювали викид вогнегасного аерозолю та порошку в об'єм камери на відтаровану пластину, яка займала нижню частину камери та фіксували час та показники ваги при осіданні порошку. Результати змінення концентрацій багатоконпонентних аеродисперсних систем показано на рисунку 3.14.

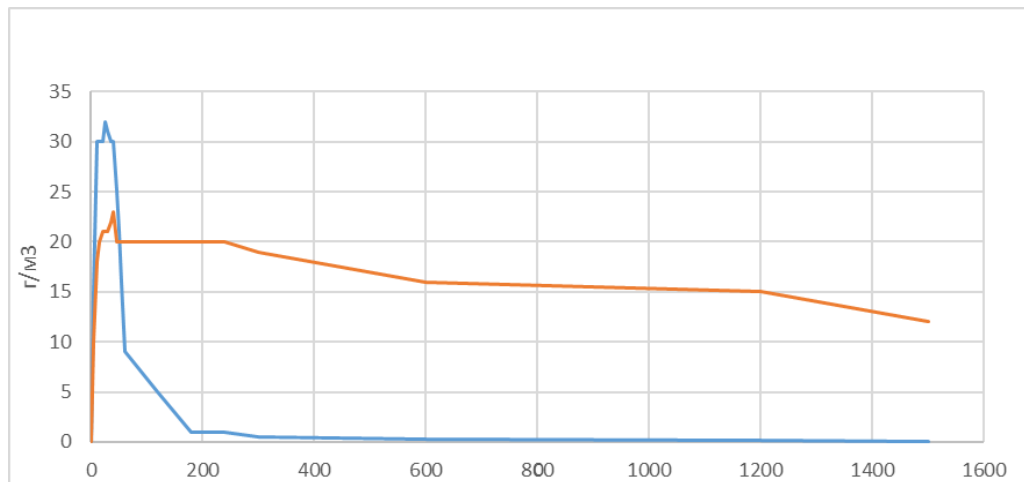


Рис. 3.14 Динаміка змінення концентрацій аеродисперсних систем вогнегасних речовин у випробувальній камері об'ємом 175л: 1 - концентрація вогнегасного аерозолю; 2 - концентрація вогнегасного порошку.

Як видно графіків на рисунку 3.14, вже з перших секунд досягається концентрація порошку близько 30 г/м³ і зберігається протягом 30-50 с від

моменту подавання, після чого концентрація порошку швидко падає, та на 120 с досягається значення в межах 5-15 г/м³. Це дає підставу стверджувати про забезпечення вогнегасної концентрації тернарної суміші після подавання вогнегасного аерозолу, вогнегасного порошку та газової вогнегасної речовини-розріджувача близько хвилини, чого достатньо для гасіння дифузійного горіння. Концентрація аерозолу при цьому тримається на рівні 15-20 г/м³ включно до 20 хв, що в суміші з газом (СО₂) забезпечить гасіння та часткове флегматизування об'єму на випадок виникнення повторного займання.

3.6 Висновки за розділом

За результатами досліджень сформульовано такі висновки:

- - виконано математичне планування повного факторного експерименту з метою виявлення впливу співвідношень концентрацій вогнегасних аерозолей, вогнегасних порошків та газових вогнегасних речовин-розріджувачів на ефективність припинення горіння та флегматизування горючих середовищ. Визначено модель регресії у факторному просторі, яка відображає залежність між критеріями і факторами експерименту. Рівняння регресії для повного факторного експерименту має вигляд:

$$T = \exp(11522 - 976,7 \ln C_{AUC} - 42,2 \ln C_{CO_2} - 4503,4 \ln C_{N_2} - 4976 \ln C_{пор} + 481 \ln C_{AUC} \ln C_{CO_2} \ln C_{пор} - 511,5 \ln C_{CO_2} \cdot \ln C_{N_2} - 366,5 \ln C_{CO_2} \cdot \ln C_{пор} + 96,7 \ln C_{AUC} \ln C_{CO_2} + 78,1 \ln C_{AUC} \ln C_{N_2} - 1068,7 \ln C_{AUC} \ln C_{N_2} - 761,2 \ln C_{N_2} \cdot \ln C_{пор} - 170,7 \ln C_{AUC} \ln C_{CO_2} \ln C_{N_2} + 251,25 \ln C_{AUC} \ln C_{N_2} \ln C_{пор});$$

- - експериментально виявлено ефект зниження вогнегасних та флегматизувальних концентрацій компонентів тернарних сумішей у разі одночасної комбінованої подачі її компонентів (вогнегасного аерозолу, вогнегасного порошку та газової вогнегасної речовини-розріджувача) у замкнений чи напівзамкнений об'єм з горючим середовищем;

- - підтверджено, що співвідношення флегматизувальної концентрації до вогнегасної становить 1,3, як і у випадку газових вогнегасних речовин;

- - результати досліджень опубліковано у [100, 106, 113, 124, 129, 134].

РОЗДІЛ 4

ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ РОБОТИ

4.1. Розроблення складового елемента автоматичної системи комбінованого пожежогасіння з подаванням тернарної суміші вогнегасних речовин

В результаті проведених досліджень було встановлено параметри вогнегасної тернарної газоаерозольнопорошкової суміші, яка має такі характеристики:

1) Висока вогнеподавляюча ефективність тернарної вогнегасної суміші що лежить в межах співвідношень: вогнегасного порошку – 33 г/м^3 , вогнегасного аерозолю – 10 г/м^3 , газу CO_2 – 5 % або вогнегасного порошку – 38 г/м^3 , вогнегасного аерозолю – 18 г/м^3 , газу N_2 – 5 %.

2) Здатність подавляти не тільки дифузійне, але і гетерогенне горіння (тління), а також ефективно флегматизувати горючі гомогенні середовища.

Виготовлення автоматичної системи подавання вогнегасної тернарної суміші здійснювалось на основі розробленого проекту. Схематичне зображення вогнегасного пристрою - складового елемента автоматичної системи комбінованого пожежогасіння з подаванням тернарної суміші вогнегасних речовин наведено на рисунку 4.1.

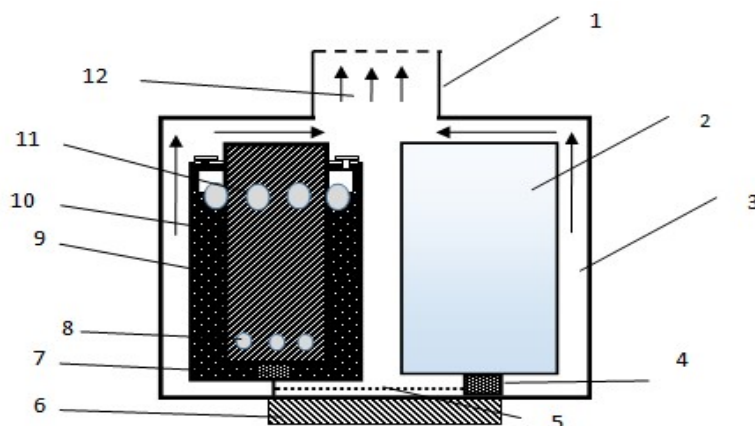


Рисунок 4.1 – Схематичне зображення вогнегасного пристрою - складового елемента автоматичної системи комбінованого пожежогасіння з подаванням тернарної суміші вогнегасних речовин: 1 – корпус пристрою; 2 – ємність з газом; 3 – міжстінний проміжок; 4 – запальвальний пусковий пристрій; 5 – термошнур; 6 – термічний пусковий пристрій; 7 – піропатрон; 8 – отвори виходу аерозолю; 9 – порошковий заряд; 10 – корпус генератора аерозолю; 11 – отвори виходу аерозольно-порошкової суміші; 12 – сопло виходу газоаерозольно-порошкової суміші

Дослідження вогнегасної характеристики аерозольно-порошкового генератора з АУС масою 2,3 кг циліндричної форми в оболонці генератора показало, що ефект гасіння, як дифузійного так і гетерогенного горіння, досягається при досягненні вогнегасної концентрації аерозолю та порошку, а максимальна вогнегасна ефективність аерозолю досягається за такої умови – горіння АУС відбувається в корпусі генератора, що, забезпечує ізоляцію факела полум'я від оточуючого середовища і при цьому діє на поверхню порошку виштовхуючи його з корпусу генератора.

Для обмеження контакту оточуючих горючих речовин в реальних умовах пожежі з форсом полум'я, генератор виконано в формі циліндра із міжстінним простором по периметру корпусу генератора (рисунок 4.1) для випуску аерозолю змішаного з порошком. Другий металевий циліндр позиція 6 на рисунку 4.1 забезпечує обмеження контакту форсу АУС з оточуючим середовищем та створення надлишкового тиску, для виштовхування вогнегасного порошку. В верхній частині пристрою передбачено отвір для викиду газо-аерозольно-порошкової суміші в замкнений об'єм.

Запропонована конструкція автоматичної системи забезпечує утворення високоефективної вогнегасної газо-аерозольно-порошкової суміші, без застосування охолоджуючих пристроїв, та зменшує можливість перетворення генератора на джерело запалювання. Головною перевагою описаного генератора вогнегасного аерозолю є можливість ефективного гасіння гомогенного, гетерогенного горіння та флегматизування гомогенного горючого середовища. Наповнення генератора вогнегасним порошком здійснювали на 80 % його об'єму, з тим щоб форс полум'я по всій своїй висоті впродовж усього процесу горіння знаходився в металевій оболонці.

Розглянувши переваги та недоліки деяких варіантів компоновання заряду АУС, були розроблені рекомендації щодо вибору форми заряду, яка забезпечує оптимальну тривалість роботи ГВА при заданому значенні масової витрати для генераторів з різною масою заряду АУС.

В генераторах з масою заряду АУС до 0,2 кг доцільно використовувати циліндричний заряд, що горить з бічної сторони. При цьому діаметр заряду повинен бути значно більший за його довжину. Сфера застосування таких генераторів — захист локальних об'ємів до 4 м³. Для захисту об'ємів

від 5 до 30 м³, за умови створення вогнегасної концентрації 50 г·м⁻³, маса заряду АУС в генераторі повинна складати 0,25÷1,5 кг. В цьому випадку мінімум часу роботи ГВА можна досягти, використовуючи заряд з квадратним січенням та з декількома центральними каналами. Його горіння повинно відбуватися по площі з торця та внутрішній поверхні каналів, що буде забезпечувати постійне інтенсивне наростання масової витрати. Порівняно з циліндричним зарядом без каналу час роботи ГВА зменшується в 2,2÷2,8 рази.

Встановлено, що при формуванні заряду з масою понад 3 кг найкращі показники забезпечать заряди з квадратним січенням без каналів розташовані телескопічно один за другим.

Виготовлення дослідного зразка автоматичної системи подачі вогнегасної тернарної суміші здійснювалось на основі розробленого проекту технологічного регламенту (п.4.5).

Для обмеження контакту оточуючих горючих речовин в реальних умовах пожежі з форсом полум'я, сам генератор аерозолі передбачено виконувати в формі циліндра або квадратної труби із щілинами посередині корпусу генератора по периметру рис. 4.1. Циліндр забезпечує обмеження контакту заряду АУС, та форсу полум'я з оточуючим середовищем. По периметру кришки циліндра передбачено отвори для доступу повітря в зону догорання продуктів горіння АУС, що знаходились у форсі полум'я, та охолодження стінок генератора потоком повітря.

Для забезпечення можливості підключення автоматичної системи подачі тернарної суміші в загальну систему автоматичного пожежогасіння для займання використовувався електрозапальник.

Як аерозолеутворюючу вогнегасну речовину використали АУС на основі ідітолу – 80%, нітрату калію – 20%. Згенерований аерозоль характеризується відносною екологічною чистотою (ГДК продуктів згорання не менше 1000 мг/м³), низькою температурою на виході з генератора (120-200 С) і високою вогнегасною здатністю (25-35 г/м³) до всіх основних класів пожеж, в тому числі горючих газів.

Вогнегасний порошок використовували багатоцільового призначення марки П-2АПМ, який містить фосфати амонію, дисперсні добавки, високодисперсний гідрофобний діоксид кремнію, який відрізняється тим, що

додатково містить гідрофобізуючу рідину, та принаймні одну речовину з ряду: моноамонійфосфат, діамонійфосфат, амофос або їх суміші, при цьому фосфати амонію мають розмір часток не більше 200 мкм, з яких не менше 80 % мас. часток мають розмір менше 45 мкм, сульфат амонію має розмір часток не більше 500 мкм, з яких не менше 40 % мас. часток мають розмір більше 45 мкм. як кремнієорганічну гідрофобізуючу рідину - ГКЖ-10. За масовою часткою компонентів у такому співвідношенні, % мас.: фосфати амонію - 20-90, високодисперсний гідрофобний діоксид кремнію - 0,2-2, дисперсні добавки - 6-30, кремнієорганічна гідрофобізуюча рідина - 0,5-2. сульфат амонію –решта, Як газовий компонент взято хімічно чистий CO₂ або азот .

Принцип роботи пристрою полягає в наступному. Спрацьовування пристрою відбувається при подачі вогневого, або електричного імпульсу на засіб запалення в результаті дії на піротехнічний запалювальний заряд полум'я, або високої температури. Час роботи автоматичної системи співрозмірний з часом роботи ГВА, а саме 30-35 с. При одночасному запуску ГВА наростає тиск всередині корпусу і через 1,2-1,7 с відбувається викид вогнегасного порошку в зону горіння. При цьому спочатку приміщення заповнюється порошковою хмарою. Потім через 50 с концентрація порошку знижується до 30%, але до цього моменту генератор аерозолу починає утворювати вогнегасний аерозоль протягом 15- 20 с, створюючи умови, що перешкоджають повторному загорянню. Паралельно з порошком та аерозолем в об'єм подається газ – флегматизатор утворюючи таким чином тернарну систему.

Полігонні випробовування проводились за удосконаленим методом «Камери» та показали, що газоаерозольно-порошкова суміш забезпечує захист об'єму 65 м³ з розташованим всередині модельним вогнищем класу А (дерев'яні бруски) та В (деко 21В з бензиново-дизельною сумішшю на водяній подушці) від дії високотемпературного джерела запалювання у вигляді суміші алюмінієвої пудри, нітрату калію та ідітолу. Вимірювання температури термопарою в вогнищі пожеж класу А та В показали, що горіння припиняється при гасінні тернарною сумішшю в момент її подавання. При цьому повторного займання модельних вогнищ не відбувалось протягом 15 хв після припинення горіння, також упродовж цього часу було відсутнє займання при внесенні високотемпературного джерела запалювання, тобто забезпечувалось

флегматизування у об'ємі випробувальної камери. Результати полігонних випробувань наведені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1. Результати полігонних випробувань (клас пожеж А (деревина) та В (дизельне пальне та бензин))

Вид вогнегасної речовини	Результат гасіння	Час
Тернарна суміш	Гасіння. Флегматизування	Менше 5с. Постійно
Тернарна суміш	Гасіння. Флегматизування	Менше 5с. Постійно
Вогнегасний аерозоль (22 г/м ³)	Гасіння. Тління. Повторне займання	12 с. Постійно. 30хв.
Вогнегасний аерозоль (35 г/м ³)	Гасіння, Тління. Повторне займання	Менше 5с. Постійно. 32хв.
Газ розріджувач (25% CO ₂)	Гасіння. Тління	Менше 5с. Постійно.
Газ-розріджувач (35% N ₂)	Гасіння. Тління	Менше 5с. Постійно.

Таким чином результати полігонних випробувань показали, що тернарна газоаерозольнопорошкова суміш, забезпечує захист об'єму 65 м³ з розташованим всередині модельним вогнищем класу А (дерев'яні бруски) , та В (деко з бензино-дизельною сумішшю на водяній подушці) від дії високотемпературного джерела запалювання у вигляді суміші алюмінієвої пудри, нітрату калію, та ідітолу. Вимірювання температури термопарою в вогнищі пожеж класу А та В показали, що горіння припиняється при гасінні автоматичною системою подачі вогнегасної тернарної суміші в спробах на 150-184 секундах, а дії високотемпературного джерела запалювання на зазначені модельні вогнища не привела до їх займання протягом 79-86 секунд.

4.2 Рекомендації з використання та особливості забезпечення умов вогнегасної ефективності тернарної суміші

З урахуванням отриманих позитивних результатів полігонних натурних випробувань розроблено проект рекомендацій щодо застосування автоматичних систем комбінованого гасіння з подаванням тернарної суміші для гасіння та флегматизування газових горючих середовищ та для протипожежного захисту об'єктів з можливістю виникнення вибухів та пожеж класу А а також електрообладнання, які наведено нижче .

Проектом розроблених технічних умов передбачено, зокрема, перелік об'єктів, на яких рекомендується застосування автоматичних систем

комбінованого гасіння з подаванням тернарної суміші вогнегасного аерозолю, газових вогнегасних речовин – розріджувачів (CO_2 , N_2) та вогнегасного порошку, який наведено нижче.

ПЕРЕЛІК

об'єктів, на яких рекомендується застосування пристрою комбінованого подавання вогнегасного аерозолю, вогнегасного порошку та газових вогнегасних речовин-розріджувачів (CO_2 , N_2)

Галузь	Перелік об'єктів
Паливо - енергетичний комплекс (Нафтогазове господарство)	Компресорні станції, насосні станції, машинні зали, електрощитові, трансформаторні підстанції, цехи хімічних підприємств, склади легкозаймистих та горючих рідин, об'єми технологічних апаратів, резервуари під тиском, та ін.
Хімічна промисловість	Електрощитові, котельні, компресорні станції.
Оборонний комплекс	Склади та місця зберігання боєприпасів, моторні відсіки бойової техніки – танки, бронетранспортери, бойові машини піхоти, бойові катера.
Транспортний комплекс	Моторні відсіки транспортних засобів, трюми сухогрузів,

Згідно з аналізом теоретичних та експериментальних даних, представлених у розділах 2 і 3, експлуатаційні характеристики вогнегасних порошків і їх вогнегасна здатність залежать від якісного складу сировини (масової частки основної речовини і домішок), застосовуваного для їх отримання, розміру часток і гідрофобності готового продукту. Проте вивчення поведінки вогнегасної порошкової композиції в області контакту з палаючою поверхнею або полум'ям та закономірностей її термічного розкладання може дати необхідну інформацію як про способи збільшення інгібуючої здатності складів, так і в розробці нових технологічних рішень щодо їх виробництва.

Визначення умов ефективного використання аерозольних засобів пожежогасіння визначає спектр приміщень та об'єктів де можливе їх ефективне застосування. Так, наприклад, застосування автоматичних систем аерозольного пожежогасіння (АСАП) для захисту кабельних споруд (напівповерхи, колектори, шахти тощо) допускається, коли в електромережі є пристрої захисту від автоматичного повторного вмикання (або його блокування АСАП) [140]. Враховуючи тип приміщення, та його пожежне навантаження, необхідно

враховувати особливості гасіння аерозолем та його властивості як аеродисперсної системи. Пропонуючи комбінацію аерозоль-газ-порошок, повинно враховуватись те, що аеродисперсна система змінює свої фізичні властивості і поширення її в приміщенні дещо зростає в порівнянні з самим порошком. Крім того, необхідно визначити місця розташування генераторів та метод запуску – послідовний чи паралельний. Паралельний запуск генераторів можна застосовувати в приміщеннях з обмеженою кількістю віконних та дверних прорізів або інших конструктивних отворів, порушення цілісності котрих може призвести до порушення герметичності та зменшення ефективності гасіння, внаслідок зниження концентрації вогнегасного аерозолю.

Щодо способу подачі вогнегасної газоаерозольнопорошкової суміші, то її можна подавати звичайними методами за допомогою систем, встановлених в приміщенні, чи іншими способами. Аерозоль при гасінні пожежі завдяки порошковому компоненту дуже ефективно поглинає теплову радіацію, чим досягається повне обмеження теплового потоку до горючого навантаження та знижується інтенсивність горіння. Для ефективного розподілу тернарної суміші в часі та об'ємі що захищається, систему рекомендується підключити до приладу управління.

4.3 Розроблення технічної документації на автоматичну систему (пристрій) комбінованого пожежогасіння з подаванням тернарної суміші вогнегасних речовин.

Технологічний регламент та технічні умови, що розробляються для практичного застосування науково-технічної розробки є основним технологічним документом, що визначає порядок дотримання вимог, які забезпечують якість продукції, що випускається, раціональне ведення технологічного процесу, цілісність устаткування і безпеку роботи, і є обов'язковим при проведенні сертифікування щодо вимог нормативних документів України. ТР підлягає погодженню з відповідними технічними службами підприємства і затверджуються технічним керівником підприємства.

4.3.1 Технологічний регламент (ТР)

ТР.1 Загальні положення.

Автоматична система комбінованого пожежогасіння з подаванням тернарної суміші вогнегасних речовин представляє собою виріб що складається з двох функціональних частин – корпусу аерозольно-порошкового вогнегасника, та ємності з CO₂. Аерозольутворювальна суміш міститься в корпусі аерозольно-порошкового вогнегасника та складається з окисника, палива, додаткових компонентів, при згоранні котрої утворюється вогнегасний аерозоль.

ТР.2 Вхідний контроль сировини.

Для виготовлення АУС використовується сировина що виготовляється вітчизняною промисловістю: Нітрат калію за ГОСТ 4217 – 77, та Ідітол (Фенолфлрмальдегідна смола) за ГОСТ 18694-80. Вся сировина надходить на виробництво в відповідності з сертифікатами якості. При необхідності всі компоненти перевіряють на відповідність сертифікатам якості у спеціалізованих лабораторіях (за договором). Періодичні перевірки залежать від терміну зберігання, та не рідше 1 разу в рік.

ТР.3 Вимоги безпеки праці та охорони навколишнього природного середовища.

ТР.3.1 Пожежна безпека

ТР.3.1.1 Композиції є пожежо- і вибухобезпечними за ГОСТ 12.1.044.

ТР.3.1.2 Роботи з приготування аерозолеутворюючої композиції та збирання автоматичної системи комбінованого пожежогасіння з подаванням тернарної суміші вогнегасних речовин повинні проводитись відповідно до Правил пожежної безпеки в Україні", зареєстрованих в Міністерстві юстиції України 4.07.95 р. №219/755.

ТР.3.1.3 Виробництво автоматичної системи комбінованого пожежогасіння з подаванням тернарної суміші вогнегасних речовин повинно відповідати "Правилам безпеки на вибухонебезпечних та пожежонебезпечних хімічних та нафтохімічних виробництвах".

ТР.3.1.4 Виробничі і складські приміщення, устаткування і технологічні процеси повинні відповідати вимогам ГОСТ 12.1.004, ГОСТ 12.1.019, ГОСТ 12.3.002, та "Правилам пожежної безпеки в Україні". Приміщення повинне бути обладнане згідно з "Правилами пожежної безпеки в Україні", засобами гасіння пожежі: піском, кошмою, вогнегасниками пінними й

вуглекислотними за ГОСТ 4.132. Категорія вибухопожежонебезпечності визначається за НАПБ Б.03.002.

ТР.3.2 Токсикологія і заходи безпеки працюючих

ТР.3.2.1 Аерозолеутворююча композиція 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".

ТР.3.2.2 При недотриманні мір індивідуального захисту і надходженні в організм у великих дозах склад спричиняє загальнотоксичну дію, можливі прояви алергійного характеру.

ТР.3.2.3 Технологічне устаткування повинне 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 повинне бути обладнане припливно-витяжною вентиляцією і місцевою вентиляцією за ГОСТ 12.4.021, СНиП 11.4.05, освітленням за СНиП 11-4-79, водою питною за Т 2874.

ТР.3.2.4 Устаткування, комунікації і ємності повинні бути заземлені від статичної електрики ГОСТ 12.1.019 і СНиП 11-А-Э-71(ПУЭ). До самостійної роботи з хімічними речовинами допускаються особи не молодші 18 років, що пройшли медичний огляд, інструктаж з техніки безпеки. Проведення періодичних медичних оглядів згідно з наказом № 45 Мінздраву України.

ТР 3.2.5 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 повинні бути захищені респіратором типу "Лепесток" або "УК-2" за ГОСТ 12.4.028, ГОСТ 12.4.013 і окулярами.

ТР.3.2.6 Особи з підвищеною чутливістю та ті, що страждають на алергійні захворювання, до роботи із композицією не допускаються.

ТР.3.2.7 В аварійних ситуаціях захист органів дихання за допомогою протигазів КВ,КД ГОСТ 12.4.121.

Тр.3.2.8 Не допускається контакт АУС зі шкірою і слизистими оболонками. При потраплянні на шкіру композиції її необхідно змити великою кількістю проточної води, а потім видалити з поверхні шкірного покриву спочатку за допомогою м'яких серветок, змочених в етиловому спирті, потім обробити гарячою водою з милом твердими

щітками. Після видалення аерозолеутворювальної композиції зі шкірних покривів їх необхідно змастити маззю на основі ланоліну або вазеліну.

ТР.3.3 Охорона навколишнього середовища.

ТР.3.3.1 Метрологічні параметри повітря у виробничих приміщеннях повинні відповідати ГОСТ 12.1.005.

ТР.3.3.2 ГДК шкідливих речовин, що виділяються у повітря робочої зони, не повинні перевищувати зазначених у ГОСТ 12.1.005. Періодичність контролю відповідно до ГОСТ 12.1.005 і МУ № 3936-85 один раз у квартал. Метод контролю по МУ № 3210.

ТР.3.3.3 Для захисту атмосферного повітря від забруднень шкідливими речовинами повинні бути передбачені заходи у відповідності з вимогами ГОСТ 17.2.3.02, СН 245-71.

ТР.4 Виготовлення та пакування автоматичних систем комбінованого пожежогасіння з подаванням тернарної суміші вогнегасних речовин

Аерозолеутворювальна композиція виготовляється за такою рецептурою нітрату калію - 80 мас%, ідітолу -20 мас %. Технологія виготовлення аерозолеутворювальної композиції полягає в наступному. Виготовляється суміш компонентів в технологічному реакторі з мішалкою згідно вищенаведеної рецептури, в кількості 100 кг, при цьому її компоненти розчиняються в суміші технічно чистих етанолу та ацетону 50 : 50 мас%. При цьому розчинені компоненти підігріваються до температури 30 °С та рівномірно помішується до повного розчинення ідітолу та утворення суспензії без комків та грудок близько 30 – 60 хвилин. Після зазначеного часу, композиція вивантажується на металеві ємності - форми з бортами, та сушиться на протязі 6-ти годин в термостаті з вентиляванням при температурі 80 °С. Після просушування форми залишають остигати на протязі 24 годин в сухому приміщенні. Автоматичні системи комбінованого пожежогасіння з подаванням тернарної суміші вогнегасних речовин комплектуються електрозапалами в верхній частині (рис.4.1) потім аерозолеутворювальний заряд упаковується в поліетиленову оболонку, вставляється в корпус, де фіксується трьома вставками з теплоізолювального матеріалу під кутом 120 ° (рис 3) та заливається гіпсовим розчином. Верхня частина форми заклеюється непрозорою полімерною плівкою, з наліпкою « не зривати!». Після чого

готовий заряд АУС поміщається в корпус аерозолепорошкового вогнегасника – рис 4.1. де збирання автоматичної установки відбувається наступним чином: В корпусі установки кріпиться ємність з газом при цьому забезпечується міжстінний проміжок, в нижній частині корпусу встановлюється запальвальний пусковий пристрій який приєднується до термошнурата термічного пускового пристрою та піропатрон для запалювання АСУ. В верхній частині аерозольно-порошкового вогнегасника є отвори виходу аерозолу які контактують з зарядом вогнегасного порошку П-2АПМ. В верхній частині корпусу є отвори виходу аерозольно-порошкової суміші які розташовані на соплі виходу газоаерозольно-порошкової суміші. По завершенню виробництва системи комплектуються наліпками та пакуються в тару. В якості упаковки використовуються картонні коробки на які наклеєна етикетка яка містить наступні відомості:

1. Найменування підприємства виробника, його адреса та товарний знак;
2. Найменування продукції;
3. Позначення дійсних технічних умов;
4. Маса нетто;
5. Дату виготовлення;
6. Номер партії;
7. Національний знак відповідності за ДСТУ 2296 (при сертифікації).

ТР.5 Рекомендації особистої безпеки при використанні установки.

Аерозолеутворювальна сполука представляє собою суміш окисників та горючих речовин – в'язучих в твердому стані. Її санітарно-гігієнічні характеристики визначаються відповідно характеристиками компонентів, що в неї входять. За ступенем дії на організм людини вогнегасні аерозолі належать до 4-го класу небезпеки. Вогнегасний порошок П-2АПМ містить фосфати, які також належать до четвертого класу небезпеки.

Всередину організму аерозольно-порошкова суміш може потрапляти в вигляді пилу, подразнююче діє на слизову оболонку органів дихання та очей. Подразнення триває впродовж 24 годин. Засоби захисту в середовищі вогнегасної концентрації – протипилові респіратори, за їх відсутності можна скористатися змоченою в воді тканиною. Вогнегасний аерозоль, що осів, прибирають порохотягом та застосовують вологе прибирання. Використання

аерозольних засобів пожежогасіння в приміщеннях, де знаходяться люд, повинно бути виключеним або обмеженим. При застосуванні вогнегасних аерозольних засобів – генераторів вогнегасного аерозолу – захищуване приміщення повинно бути герметичним, допускається негерметичність на рівні 1 %. При використанні аерозольних засобів на відкритій місцевості, подачу аерозолу необхідно здійснювати з навітряної сторони.

4.4 Техніко-економічна оцінка, впровадження результатів роботи

В системах протипожежного захисту різноманітних об'єктів в Україні застосовують автоматичні системи газового, порошкового та аерозольного пожежогасіння, до складу яких входять елементи як вітчизняного, так і іноземного виробництва. Кінцева вартість захисту об'єкту залежить від багатьох складових. Для попередньої вартісної оцінки застосування того або іншого варіанту системи пожежогасіння доцільно застосувати порівняння питомої вартості захисту площі або об'єму захищуваного об'єкта (грн./м² або грн./м³ залежно від прийнятого способу пожежогасіння), яку можливо розрахувати на основі ціни основного елемента системи, який забезпечує зберігання та подавання вогнегасної речовини під час пожежогасіння. Такими елементами сучасних систем пожежогасіння переважно є модулі газового або порошкового пожежогасіння та генератори вогнегасного аерозолу. Для порівняння були використані дані виробників та постачальників модулів газового і порошкового пожежогасіння та генераторів вогнегасного аерозолу, які виробляються серійно, а також орієнтовні витрати на виготовлення розробленого вогнегасного пристрою - складового елемента автоматичної системи комбінованого пожежогасіння з подаванням тернарної суміші вогнегасних речовин. У таблиці 4.2 наведено розрахунок орієнтовної вартості конструктивних варіантів розробленого вогнегасного пристрою, а у таблиці 4.3 - результати розрахунків орієнтовної питомої вартості захисту об'єму цими елементами систем пожежогасіння (без урахування вартості інших компонентів та робіт з проектування, монтування та налагодження).

Таблиця 4.2 Розрахунок орієнтовної вартості вогнегасного пристрою для зберігання та подавання тернарної вогнегасної суміші (ВП-ТВС)

Компонент тернарної суміші	Вартість 1 кг компоненту	Маса компоненту, кг	Вартість компоненту, грн.	Вартість обладнання, грн.	Загальна вартість пристрою, грн.	
					з CO ₂	з N ₂
Нітрат калію	50	0,570	28,5	≈3000 грн.	6563	7535
Ідітол	15	0,285	4,3			
П-2АПМ	19	0,800	20,0			
CO ₂	18	5	90,0	3420 грн. (МГП-7 – ТОВ «Акин-М»)		
N ₂	30	5	150,0	7332 грн. (МГП-40 – ТОВ «Акин-М»)		

Таблиця 4.3 Орієнтовна питома вартість захисту об'єму захищеного об'єкта

Елемент системи пожежогасіння	Виробник	Вартість елементу, грн.	Розрахунковий захищений об'єм (клас В), м ³	Питома вартість захисту, грн./м ³
Модуль порошкового пожежогасіння СПРУТ-9о	ТОВ «НВФ «ФАКТОР», м.Київ	2955	60	49
Генератор вогнегасного аерозолу АСТ-3400	ЗАО “Соболевский завод”, РФ	5270	63	84
Модуль газового пожежогасіння МГП-40	ДВВП “Променергоремонт”, м.Харків	1000 \$	≈ 28	36 \$/м³ (≈1000 грн./м ³)
Модуль газового пожежогасіння МГП(150-100-18) «Пламя»	ЗАО «НПЦ «ОНЭКС», РФ	1360 \$	≈ 69	20 \$/м³ (≈552 грн./м ³)
Вогнегасний пристрій ВП-ТВС з CO ₂		6563	65	101

З даних таблиці 4.3 можна зробити попередній висновок, що розроблений вогнегасний пристрій в подальшому може забезпечити конкурентоспроможність автоматичних систем комбінованого пожежогасіння з подаванням тернарної суміші вогнегасних речовин в системах протипожежного захисту різних об'єктів.

Результати досліджень впроваджено шляхом застосування розробленого пристрою комбінованого одночасного подавання вогнегасного порошку, вогнегасного аерозолу, та газу-розріджувача для протипожежного захисту електрощитової нафтобази ТОВ «АС ІНВЕСТВЕНТ» м. Калинівка. Система встановлена в приміщення електрощитової загального корпусу з виводами на кабельні тунелі.

4.5 Висновки за розділом

На підставі проведених досліджень, описаних у розділі, сформульовано такі висновки:

- обґрунтовано схемне рішення та вихідні дані пристрою одночасного подавання вогнегасного аерозолю, вогнегасного порошку та газової вогнегасної речовини-розріджувача. Проведено його апробацію у полігонних умовах. Отримано результати полігонних випробувань, які показали, що тернарні суміші на відміну від бінарних газоаерозольних забезпечують припинення горіння рідких і твердих горючих речовин, а також газових горючих середовищ і забезпечують відсутність їх повторного займання;

- розроблено проекти технічних документів (технічні умови, технологічний регламент), виготовлено дослідну партію, а також рекомендації щодо застосування розробленого складового елемента автоматичної системи пожежогасіння з подаванням тернарної суміші вогнегасних речовин (вогнегасний аерозоль, газова вогнегасна речовина – розріджувач, вогнегасний порошок) в системах протипожежного захисту об'єктів з можливістю виникнення пожеж класів А, В, С, F, E;

- визначено сферу застосування та перелік об'єктів, на яких рекомендується встановлювати автоматичну систему комбінованого пожежогасіння з подаванням тернарної суміші вогнегасних речовин;

- результати досліджень впроваджено шляхом застосування розробленого пристрою комбінованого одночасного подавання вогнегасного порошку, вогнегасного аерозолю, та газу-розріджувача для протипожежного захисту електрощитової нафтобази ТОВ «АС ІНВЕСТВЕНТ» м. Калинівка;

- результати досліджень опубліковано в [133, 135, 138].

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі, яка є завершеним науковим дослідженням, розв'язано актуальну наукову задачу: розкриття особливостей впливу виду та співвідношення компонентів в тернарній суміші вогнегасного аерозолі, вогнегасного порошку та газової вогнегасної речовини-розріджувача на ефективність припинення горіння як наукового підґрунтя підвищення ефективності гасіння, а також запобігання виникненню горіння в замкнених та напівзамкнених об'ємах, що сприяє розвитку наукових аспектів комбінованого застосування вогнегасних речовин. При цьому отримані такі основні наукові та практичні результати:

1. Проведено аналіз ефективності використання аерозольних і порошкових вогнегасних речовин та теоретично обґрунтовано, що шлях підвищення їх вогнегасної ефективності полягає, насамперед, у комбінованому застосуванні вогнегасного аерозолі, вогнегасного порошку та газу-розріджувача.

2. Розроблено методику і лабораторно-дослідну установку. Теоретично обґрунтована доцільність поєднання вогнегасних аерозолів, вогнегасних порошоків та газових речовин-розріджувачів шляхом поєднання вогнегасних переваг кожного з цих компонентів, що забезпечить відповідну швидкість подачі тернарної вогнегасної суміші, високу вогнегасну ефективність, невисоку вартість гасіння та флегматизування гомогенного та гетерогенного горючих середовищ в замкнених та напівзамкнених об'ємах, а також забезпечить відповідну тривалість дії флегматизувальної та вогнегасної концентрації. Поєднання цих компонентів, забезпечує гармонізацію переваг трьох засобів пожежогасіння, взаємну компенсацію їх недоліків та отримання ефекту зниження їх вогнегасних та флегматизувальних концентрацій при пожежогасінні за умови одночасного їх подавання з обґрунтованими співвідношеннями.

3. Виконано математичне планування повного факторного експерименту. Визначено модель регресії у факторному просторі, яка відображає залежність між критеріями і факторами експерименту. Рівняння регресії для повного факторного експерименту має вигляд:

$$T = \exp(11522 - 976,7 \ln C_{AUC} - 42,2 \ln C_{CO_2} - 4503,4 \ln C_{N_2} - 4976 \ln C_{пор} + \\ + 4811 \ln C_{AUC} \ln C_{CO_2} \ln C_{пор} - 511,5 \ln C_{CO_2} \cdot \ln C_{N_2} - 366,5 \ln C_{CO_2} \cdot \ln C_{пор} + \\ + 96,7 \ln C_{AUC} \ln C_{CO_2} + 78,1 \ln C_{AUC} \ln C_{N_2} - 1068,7 \ln C_{AUC} \ln C_{N_2} - 761,2 \ln C_{N_2} \cdot \ln C_{пор} - \\ - 170,7 \ln C_{AUC} \ln C_{CO_2} \ln C_{N_2} + 251,25 \ln C_{AUC} \ln C_{N_2} \ln C_{пор})$$

Проведено експериментальне дослідження впливу виду і співвідношень компонентів вогнегасного газу, порошку, та аерозолі на вогнегасну

ефективність газоаерозольно-порошкової вогнегасної речовини, компонентний склад якої теоретично обґрунтовано.

4. Експериментально виявлено ефект зниження вогнегасних концентрацій компонентів суміші у разі одночасної комбінованої подачі вогнегасного порошку, вогнегасного аерозолу та газу-розріджувача у замкнений чи напівзамкнений горючий об'єм при застосуванні тернарної суміші за співвідношення вогнегасного порошку – 33 г/м³, вогнегасного аерозолу – 10 г/м³, газу CO₂ – 5 % або вогнегасного порошку – 38 г/м³, вогнегасного аерозолу – 18 г/м³, газу N₂ – 5 %, порівняно із значеннями вогнегасної концентрації для окремо взятих компонентів вогнегасного порошку – 65 г/м³, вогнегасного аерозолу – 22 г/м³, CO₂ – 21%.

Експериментально встановлено, що тернарна суміш вогнегасного аерозолу, вогнегасного порошку та газів-розріджувачів (CO₂, N₂) має флегматизувальну концентрацію для горючих середовищ при таких співвідношеннях компонентів: вогнегасного порошку – 30 г/м³; вогнегасного аерозолу 12 г/м³; вогнегасного газу-розріджувача CO₂ – 5 %, а суміш з добавкою N₂ має такі співвідношення: вогнегасного порошку – 30 г/м³; вогнегасного аерозолу – 21 г/м³ та N₂ – 10 %.

5. Обґрунтовано схемне рішення та вихідні дані пристрою одночасної подачі вогнегасного аерозолу, вогнегасного порошку, та газу-розріджувача. Проведено його апробацію в натурних умовах. Отримано результати полігонних випробувань, які показали що тернарні суміші на відміну від бінарних газоаерозольних сумішей забезпечують припинення горіння рідких і твердих горючих речовин, а також газових горючих середовищ та забезпечують відсутність їх повторного займання. Розроблено технічні документи, виготовлено дослідну партію, а також методику застосування пристрою на замкнених об'єктах з можливістю запобігання вибухам та гасіння пожеж.

6. Результати досліджень впроваджено шляхом застосування розробленого пристрою комбінованого одночасного подавання вогнегасного порошку, вогнегасного аерозолу, та газу-розріджувача для протипожежного захисту електрощитової нафтобази ТОВ «АС ІНВЕСТВЕНТ» м. Калинівка, а також впровадження дослідних методик у діяльність дослідно-випробувальної лабораторії та у навчальний процес Львівського державного університету безпеки життєдіяльності під час вивчення дисциплін «Теорія горіння та вибуху» та «Теоретичні основи пожежо-вибухонебезпечності», а також проведення науково-дослідних робіт з визначення вогнегасної та флегматизувальної ефективності вогнегасних речовин.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Інтернет сторінка. WWW.MNS.GO.UA.
2. «Форум» [Інтернет-видання]. Режим доступу: <http://for-ua.com/ukraine/2011/11/01/162714.html>
3. А.В.Антонов Наукові основи розроблення та технології застосування екологічно прийнятних вогнегасних речовин // Сучасний стан цивільного захисту України: перспективи та шляхи до Європейського простору.: Матеріали 17 Всеукраїнської науково-практичної конференції рятувальників.- Київ: ІДУЦЗ, 2015, с. 23-24.
4. И.А.Харченко, В.В.Хмельницкий и Н.В.Сазонов. Способ определения оптимальной интенсивности подачи огнетушащего вещества для тушения твердого горючего материала. Огнетушащие порошковые средства. Зб.науч.тр. М.: ВНИПО, 1985, с.67-72.
5. Антонов А.В., Боровиков В.О., Орел В.П. та ін.// Вогнегасні речовини. Посібник – К.: Пожінформтехніка, 2004. – 176 с.
6. Драйздейл Д. Введение в динамику пожаров / Пер. с англ.. К.Г.Бромштейна: Под ред. Ю.А. Кошмарова, В.Е. Макарова, 1990. – 424 с.
7. Moussa N.A., Toong T.Y., Garris C.A. Mechanisms of smouldering of cellulosic materials // 16th Symposium (International) on Combustion. – 1977. – P.1447-1457.
8. Петрова Л.Д. и др.//Аннотации докладов на IV Всесоюзном симпозиуме по горению и взрыву.М.: АН СССР, 1974 г. с. 53
9. Баратов А.Н. и др.// Кинетика и катализ. 1973. Т.14, №3. 782 с.
10. Жидецький В.Ц. Основи охорони праці. Львів "Афіша", 2005, -320с.
11. Стаття інтернет-сторінка: <http://www.kalancha.ru/catalog/moduli-gazoporoshkovogo-pozharotusheniya>.
12. Исавнин Н.В. Средства порошкового пожаротушения Москва стройиздат 1983 С. 154
13. Король А. А. Обоснование параметров подачи огнетушащих порошков при дистанционном тушении подземных пожаров: Дис. канд. техн. наук / А. А. Король. – Макеевка, 2005. – 20 с
14. Краснянский М. Е. Теория порошкового пламегашения // Пожарная безопасность: Материалы XIII Всероссийской научно-практической конференции ВНИИПО МВД РФ, 1995. – С. 177-178.
15. Король А. А. Тушение пожаров тонкодисперсными порошками / А. А. Король // Уголь Украины. –2003. – С. 42 –43
16. Dowitte M., Vrebaxh J., Van Tiggelen A. Inhibition and Extinction of Premixed Flames by Dust Particles // Combustion and Flame. – 1964. – Vol. 8, №4. – P. 257-266

17. Dotan J.B., Dempstar P.B. Suppression of methane-air ignitions by fine powders // *Journal of Applied Chemistry*. – 1955. – №5. – P. 510-517.
18. Dodding R.A., Simmons R.F. The Extinction of Methane-Air Diffusion Flames by Sodium Bicarbonate Powders // *Combustion and Flame*. – 1970. – Vol. 15, №3. – P 313-315.
19. Ewing C.T., Hughes J.T., Carhart H.W. The extinctions of hydrocarbon flames based on the heat-absorption processes which occur in them // *Fire and Materials*. – 1984. – Vol. 8, №3. – P. 148-156.
20. Ewing C.T. et al. // *Fire Protection Engineering*. –1992.–Vol. 4, №2. – P. 35-51
21. Баратов А.Н., Вогман Л.П. Огнетушащие порошковые составы. – М.: Стройиздат, 1982. – 72 с
22. Bulewich E.M., Padley P.J. Catalytic Effect of Metal Additives on Free Radical Recombination Rates // *Chem. Phys. Lett.* – 1971. – Vol. 9, №5. – P. 467-468.
23. Безарашвили Г.С., Баратов А.Н., Азатян В.В. и др. Ингибирование пламени метана порошками неорганических солей // *Кинетика и катализ*. – 1979. – Т.20, №3. – С.584-592
24. Dowitte M., Vrebaxh J., Van Tiggelen A. Inhibition and Extinction of Premixed Flames by Dust Particles // *Combustion and Flame*. – 1964. – Vol. 8, №4. – P. 257-266
25. Силин, Н.А. Пиротехнические аэрозолеобразующие составы и средства объемного пожаротушения на их основе. Текст. / Н.А. Силин, Л.Г. Веретинский, А.И. Сидоров [и др.] // *Взрывчатые материалы и пиротехника* / М.: 1993. Вып. 1-2. - С. 17-21.
26. Безарашвили Г.С., Лоркипанидзе Д.Н., Дзоценидзе З.Г. и др. Роль химического и термического факторов при гетерогенном ингибировании различных пламен // *Доклады АН СССР*. – 1987. – Т.293, №4. – С.892-895
27. Ксандопуло Г.И. Механизм ингибирования горения углеводородно-воздушных смесей мелкодисперсными частицами // *Физика горения и взрыва*. – 1971. – Т.7, №1. – С.92-99
28. Козяр Н. М. Механізм дії та методологія розроблення рецептур порошкових вогнегасних засобів для гасіння пожеж класу А/Н. М. Козяр//*Пожежна безпека*. -2014.-№24.-С.79-84. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Pb_2014_24_14
29. Mitani T.A. Study of thermal and chemical effects of heterogeneous flame suppressants // *Combustion and Flame*. – 1982. – Vol. 44, №1/3. – P 247-260.
30. Добриков В.В., Баратов А.Н. Исследование разогрева твердой частицы во фронте пламени // *Горение и проблемы тушения пожаров: Материалы V Всесоюзной научно- практической конференции*. – М.: ВНИИПО, 1997. – С. 23-26.

31. Булгаков Ю. Ф. Розробка способів і засобів порошкового та пінного гасіння складаних підземних пожеж./Дис. на здобуття наукового ступеня д. т. н. - Донецьк — 2000.
32. Rosser W.A., Inami S.H., Wise H. The effect of metal salts on premixed hydrocarbonair flames // *Combustion and Flame*. – 1963. – Vol. 7, №2. – P 107-119.
33. Fridman R., Levy J.B. Inhibition of opposed-jet methane-air diffusion flames. Effect of alkali metal vapors and organic halids // *Combustion and Flame*. – 1963. – Vol. 7, №2. – P 195-201.
34. Краснянский М. Е. Теория порошкового пламегашения // *Пожарная безопасность 95: Материалы XIII Всероссийской научно-практической конференции ВНИИПО МВД РФ*, 1995. – С. 177-178.
35. Агаларова С. М., Сабинин О. Ю. // *Огнетушащие порошки. Проблемы. Состояние вопроса. Пожаровзрывобезопасность*, 2007 Том N 16, N 6.
36. О.І. Лавренюк О.І. Герасим'юк, О.Я. Голонько. Особливості гасіння твердих та рідких горючих речовин вогнегасним аерозолем на основі солей калію. *Пожежна безпека*. – Львів: ЛДУБЖД, 2008. –№12. – С. - 60-65.
37. Аликин В.Н., Милехин Ю.М., Пак З.П., Липанов А.М., Серебрянников С.Ю., Соколовский М.И. и др. Пороха, топлива, заряды. Т.2: Заряды народнохозяйственного назначения. Т.2 2004.
38. Стрижевский И.И., Заказнов В.Ф. Промышленные огнепреградители. – М.: Химия, 1974 – 261 с.
39. Порошкові УАПГ. Інтернет-стаття. Режим доступу: <http://myreal74.ru/?paged=3>.
40. Біленко Д.О. Вогнегасні речовини. /Методична розробка.- Умань.-2012.
41. Долговидов А.В., Сабинин О.Ю. Автоматические средства подачи огнетушащих порошков // *Пожаровзрывобезопасность*. –2008. – №1.–С.62-67
42. Єлагін Г. І., Шкарабура М. Г., Кришталь М. А., Тищенко О. М. Основи теорії розвитку і припинення горіння. — Черкаси: ЧПБ, 2001. — 448 с.
43. Вплив добавок CO₂ на вогнегасну ефективність бінарної аерозольно-газової суміші / В.М. Баланюк, Н.М. Козяр, О.І. Гарасим'юк, А. Т. Лозинський // *Пожежна безпека : зб. наук. пр.* – 2016. –№28. – С. 6-12.
44. Баланюк В. М. Вплив на флегматизувальну ефективність аерозолю добавок CO₂/ В. М. Баланюк, О.І. Гарасим'юк, А.С. Лин // 16 Всеукр. конф. рятувальників (23-24 вересня). – 2014. – С. 27-29.
45. Быков С.А., Откидач Н.Я., Тищенко А.М. Экспериментальное обоснование комбинированного применения азота с огнетушащими порошками для противопожарной защиты объектов // *Проблемы пожарной безопасности*. – 2003. – Выпуск 14. – С. 55-59.

46. Антонов А.В. Вогнегасна ефективність бінарних сумішей галону 2402 та хладону 3 мтм «Noves» 1230 // Науковий вісник УкрНДІПБ, 2012, № 2 (26). - С.198-202.
47. ДСТУ 3105-95 Порошки вогнегасні. Загальні технічні вимоги і методи випробувань п. 4.5.4.2.
48. Пивоваров В.В. Разработка тактико-технических показателей и оценка эффективности огнетушителей. Автореф. канд. дисс. ВИПТШ МВД СССР. М.: 1988.
49. Єлагін Г.І., Палагін Р.А., Кришталь М.А. Вогнегасячий засіб на основі вогнегасних солей, іммобілізованих внутрішньою поверхнею високопористого мінерального носія.// «Пожежна безпека: теорія і практика» №15'2013.
50. Алентьев, А. А. Кремнийорганические гидрофобизаторы / А. А. Алентьев, И.И. Клетченхов, А. А. Пашенко. – Киев : Изд-во техн. лит. УССР, 1962. – 112с.
51. Левицкий, М. М.. Многоликие силоксаны / М. М. Левицкий // Химия. Приложение к газете «Первое сентября». - 2003. - Дек. (№ 45). - С. 1-6.
52. Воронков, М. Г. Силоксановая связь и ее влияние на строение и физические свойства кремнийорганических соединений / М. Г. Воронков, Ю. А. Южелевский, П. В. Милешкевич // Успехи химии. – 1975. – Т. 44. - Вып. 4. – С.715-743.
53. Соболевский, М. В. Свойства и области применения кремнийорганических продуктов / М. В. Соболевский, О. А. Музовская, Г. С. Пожлева. – М. : Химия, 1975. - 296 с.
54. Воронков, М. Г. Силоксановая связь / М. Г. Воронков, В. П. Милешкевич, Ю.А. Южелевский. – Новосибирск : Наука, 1976. – 413 с.
55. Zhuravlev, L. T. The surface chemistry of amorphous silica. Zhuravlev model / L. T. Zhuravlev // Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects. – 2000. - № 173. – P. 1-38.
56. ГОСТ 18307-78 Сажа белая. Технические условия. – М.: ИПК издательство стандартов, 1978. – 19 с.
57. ГОСТ 14922-77 Аэросил. Технические условия. – М.: ИПК издательство стандартов, 1977. – 35 с.
58. М.В. Білошицький, Вплив співвідношень компонентів на вогнегасну здатність вогнегасних авс-порошків. Науковий вісник УкрНДІПБ, 2007, № 1 (15) С.107-114.
59. Коростелев В.Г. Аэрозольгенерирующие пожаротушащие составы. Основные типы составов и оптимальные условия их применения // Пожаровзрывобезопасность. – 2002. – №1. – С. 61-66.

60. Водяник В.И., Проничева Н.М. Механизм воздействия огнегасящих составов на пламя. – М.: НИИТЭХИМ, 1981. (Техника безопасности в хим. промышленности. Экспресс – инф.№10). 12 с
61. Апанович В.Н., Жартовский В.М., Антонов А.В. Исследование пламеподавляющих свойств бинарных смесей. // Химическая физика процессов горения и взрыва. Горение гетерогенных систем.- Черногловка, 1989.
62. Агафонов В.В. Эффективность и механизм огнетушащего действия новых заменителей хладонов Текст. /В.В. Агафонов, А.Ф. Жевлаков, В. Николаев, Н.П. Копылов // Горение: Материалы X симпозиума по горения и взрыву. Черногловка: ИХФ РАН, 1992.-С.117-119.
63. Агафонов В.В., Копылов Н.П. Установки аэрозольного пожежогасіння: елементи і характеристики, проектування, монтаж та експлуатація. М.: ВНШПО, 1999. 232 с.;
64. Агафонов В.В., Жевлаков А.Ф., Копылов Н.П., Николаев В.М. Перспективи застосування установок аэрозольного пожежогасіння. // Науково-технічне забезпечення протипожежних і аварійно-рятувальні робіт: Матеріали XII Всеросійської науково-практичної конференції. М.: ВНШПО МВС РФ, 1993. С. 161162.
65. Алікін В.М., Кузьмицкий Г.Е., Степанов А.Є. та ін. Конструкція генераторів вогнегасного аерозолі на сумішевому твердому паливі // Технологічна механіка: Вісник ПДТУ. Перм: 1996. №2. С.131135.
66. Алікін В.Н., Сергієнко А.Д., Степанов А.Е. Про компонування рецептур аерозолеутворюючого вогнегасних складів // Технологічна механіка: Вісник ПДТУ. Перм. 1996 № 2. С.165168.
67. Бондаренко С.Н. Анализ современных средств объемного пожаротушения // Материалы VI науч.-практ. конф. “Пожарная безопасность”. – Харьков: АПБУ, 2003. – С. 64–66.
68. Бондаренко С.М. Розробка генераторів вогнегасячого аерозолі із покращеними характеристиками. – Рукопис. Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 21.06.02. – Пожежна безпека. – Академія цивільного захисту України, Харків, 2004.
69. Esther Jacobson. Powdered aerosols perforhance in various fire protection applications // spectrex inc. Peckman Industrial Park.
70. Г.Г. Колосов, К.А. Сергиенко, Г.В. Куценко. Способ получения универсального огнетушащего порошкового состава // Крупные пожары: предупреждение и тушение: Материалы 16 научно- практической конференции, Москва, 2001. Ч. 2. М. : Изд-во ВНИИПО. – 2001. – С. 199-204.
71. Рожков, Д. М. Разработка огнетушащих порошковых составов на основе отходов предприятий Иркутской области / Д. М. Рожков, Т. В. Удилов // Вестн. Вост.-Сиб. ин-та МВД России. – 2006. - № 1. - С. 64-68.

- 72.** Пат. 2184586 Российская Федерация, МПК 7 А 62 D 1/00. Способ получения огнетушащего порошкового состава / Колосов Г. Г., Чудинова К. В., Куценко Г. В., Сергиенко К. А., Сычев А. И., Гончарова Н. Б.; заявитель и патентообладатель Гос. унитар. предприятие «НИИ полимер. матер.». № 2001108478/12; заявл. 29.03.2001; опубл. 10.07.2002.
- 73.** Пат. 2366479 Российская Федерация, МПК А 62 С 39/00. Установка производства порошкообразного состава на основе минеральных солей для различных классов пожаров / Куценко Г. В., Федченко Н. Н., Колосов Г. Г., Божья-Воля Н. С., Чудинова К. В., Иванов В. С., Гончарова Н. Б., Тудвасев В. И.; № 2008102603/12; заявл. 22.01.2008; опубл. 10.09.2009.
- 74.** Демиденко, А. Г. Технология огнетушащих порошков с применением распылительной сушилки / Демиденко А. Г., Каниболоцкий В. А., и др. // Хим. промышленность. – 1989. - № 4. – С. 36.
- 75.** Пат. 2177816 Российская Федерация, МПК 7 А 62 D 1/00. Огнетушащий порошковый состав / Анохин В. Н.; заявитель и патентообладатель Анохин В. Н. № 2000129796/12; заявл. 28.11.2000; опубл. 10.01.2002.
- 76.** Пат. 2302889 Российская Федерация, МПК А 62 D 1/00 (2006.01). Способ получения огнетушащего порошкового состава / Аликин В. Н., Астафьева С. А., Вальцифер В. А., Вальцифер И. В., Губина Н. А., Ерастова Г. Е., Стрельников В. Н., Целищев Ю. Г.; заявитель и патентообладатель Департамент пром-ти и 168 науки Перм. обл., ГУ Ин-т техн. химии УО РАН. № 2005122666/15; заявл. 18.07.2005; опубл. 20.07.2007.,
- 77.** Пат. 2185864 Российская Федерация, МПК 7 А 62 D 1/00. Огнетушащий состав и способ его приготовления / Гречман А. О., Гречман А. А.; заявитель и патентообладатель Гречман А. О. № 2001101103/12; заявл. 15.01.2001; опубл. 27.07.2002.,
- 78.** Пат. 45936 Украина, МПК 6 А 62 С 3/00, А 62 D 1/00. Порошковое огнетушащее средство / Сушко М. В., Каунов Г. А.; заявитель и патентообладатель фирма «Пожиновация». № 2001129199; заявл. 28.12.2001; опубл. 15.04.2002.
- 79.** Пат. 2256477 Российская Федерация, МПК 7 А 62 D 1/00. Огнетушащий порошок двойного назначения / Рогов М. Г., Шувалов С. И., Михеев Г. Г., Шадрин М. Ю.; заявитель и патентообладатель Рогов М. Г. № 2003125158/15; заявл. 11.08.2003; опубл. 20.07.2005.
- 80.** Целищев, Ю. Г. Исследование влияния фракционного и компонентного состава огнетушащих порошковых композиций на их текучесть / Ю. Г. Целищев, В. Н. Стрельников, В. А. Вальцифер, О. Г. Васильева // Хим. пром. - 2006. – № 10. - С. 453
- 81.** Пат. 2335315 Российская Федерация, МПК А 62 D 1/00. Огнетушащий порошковый состав многоцелевого назначения / Левичев С. В., Лебедев А. Г.;

заявитель и патентообладатель ЗАО В.В.П. № 2007127672/15; заявл. 19.07.2007; опубл. 10.10.2008.

82. Пат. 2159138 Российская Федерация, МПК 7 А 62 D 1/00. Огнетушащий порошок многоцелевого назначения / Антонов А. В., Белошицкий Н. В., Смирнов А. С., Смирнов А. Г., Бурьгин О. П., Агаларова С. М., Шабалова О. Н.; заявитель и патентообладатель ЗАО «ЭКОХИММАШ» . № 98123738/12; заявл. 23.12.1998; опубл. 20.11.2000

83. Пат. 2194555 Российская Федерация, МПК 7 А 62 D 1/00. Огнетушащий порошок состав и способ его получения / Кондратюк С. К., Никитин Д. Н., Осипков В. Н., Росторгуев А. Н., Тараненко А. С., Шейтельман Г. Ю.; заявитель и патентообладатель ООО «Источник». № 2001110504/12; заявл. 13.07.2001; опубл. 20.12.2002.

84. Агаларова, С.М. Технология производства огнетушащих порошковых составов / С. М. Агаларова, А. С. Смирнов // Крупные пожары: предупреждение и тушение: материалы 16-й научно-практической конференции, Москва, 2001. Ч. 2. М. : изд-во ВНИИПО. - 2001. – С. 194-195.

85. Сабинин, О.Ю. Экспериментальное изучение влияния технологических свойств порошковых составов на их огнетушащую способность при импульсном способе пожаротушения /О.Ю.Сабинин // Пожаровзрывобезопасность. - 2008. – № 6. – С. 64-73.

86. Kerr fire fighting chemicals. Fire fighting dry chemical powders [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.kerr-firefighting.com

87. Ewing, C. T. Evidence for flame extinguishment by thermal mechanisms / C. T. Ewing, E. R. Faith, J. T. Hughes, and H. W. Carhart // Fire Technology. – 1989. – V. 25. - P. 195-212.

88. Дунюшкин В.А. Критерии оценки совершенства конструкции технических средств порошкового пожаротушения / Дунюшкин В.А. // Средства порошкового пожаротушения: Сб. науч.тр. ВНИИПО МВД РФ, -М. - 1992. – С. 49-52.

89. Шкоруп О. І.Визначення раціональних параметрів комбінованої подачі вогнегасних речовин для підвищення ефективності пожежогасіння: Автореф. дис... канд. техн. наук: 21.06.02 / О.І. Шкоруп; Держ. Макіїв. н.-д. ін-т з безпеки робіт у гірн. пром-сті. — Макіївка, 2003. — 20 с.: рис. — укр.

90. Robert E. Tapscott, Ted A. Moore, and J. Douglas Mather. (1998). Halon replacement research – a historical review of technical progress and regulatory decision points. Halon Options Technical Working Conference 12–14 May, 17–22.

91. Taylor, G. (2001), Time is Up for Halons. Industrial Fire Journal, Issue 41, pp. 63–64, 67–68.

- 92.** U.S. Department of Transportation Federal Aviation (February 2002) Administration Final Report Options to the Use of Halons for Aircraft Fire Suppression Systems.
- 93.** Абдурагимов И. М., Говоров В. Г., Макаров В. Е. (1980). Физические и химические основы развития и тушения пожаров. ВПТШ СССР. – Москва, С – 255.
- 94.** Баланюк В. М. Флегматизация газоаэрозольной смесью горючих систем / В. М. Баланюк, Д. А. Журбинский. // ВІТР. - 2013. - Vol. 32, Issue 4. - С. 53-58. - Режим доступа: http://nbuv.gov.ua/UJRN/bitp_2013_32_4_8.
- 95.** Ted A. Moore, Nobuo Yamada. (1998). Nitrogen gas as a halon replacement. Halon Options Technical Working Conference 12–14 May. 330–338.
- 96.** Баланюк В.М., Грималюк Б.Т., Кіт Ю.В., Левуш С.С. Вплив газової фази на ефективність вогнегасних аерозолів // Вісник НУ “Львівська політехніка”. – 2004. – №497. – С. 102-104.
- 97.** Журбинський Д. А. Вплив виду аерозольотворювальних сполук на основі солей калію та добавок інертних газів на флегматизувальну ефективність аерозолу / В.М. Баланюк, Д.А. Журбинський, А.С. Лин // Пожежна безпека: зб. наук. праць. – Л.: ДЛУБЖД, 2013. – № 22. – С. 7-11.
- 98.** Fischer, G., and Leonard, J.T., “The Effectiveness of Fire Extinguishing Powders Based on Small Scale Fire Suppressant Tests,” Naval Research Laboratory, NRVMW6180-95-7778, Washington, DC, 1995.
- 99.** Шкарабура М.Г., Маладика І.Г., Дядченко О.І. Взаємний вплив вогнегасних порошків на інгібування процесу горіння. // Проблеми пожарной безопасности. – Харьков: Фолио, 2003. – Вып. 14. – С. 230-234
- 100.** Баланюк В.М. Обґрунтування вибору компонентів тернарних вогнегасних сумішей, для протипожежного захисту об’єктів з наявністю високотемпературних джерел запалювання / В.М. Баланюк, Н.М. Козяр, О. І. Гарасим’юк //Актуальні проблеми моделювання ризиків і загроз виникнення надзвичайних ситуацій на об’єктах критичної інфраструктури: міжнар.наук.-практ.конф.(26-28 травня 2016 р.). – Київ, 2016. – С. 536-541.
- 101.** Гоголь Л.А., Кононенко К.М., Однорог Д.С., Колесников Б.Я. и др. /Ингибирование горение пропана аерозолями солей металлов// Ингибирование цепных газовых реакций: Материалы совещания по механизму ингибирования цепных газовых реакций.– Алма-Ата, 1971.–С. 205 – 213.
- 102.** Тарахно О.В., Петухова О.А., Беляев М.В. Підвищення вогнегасної ефективності води хімічною модифікацією // Пожежна безпека. – 2001. – С.165-166.
- 103.** Шевцов Н.Р. Взрывозащита горных выработок при их строительстве (конспект лекций): Учебное пособие. – Донецк: Новый мир, 1998. – 329 с.

- 104.** Основы пожарной теплофизики / Башкирцев М.П., Бубырь М.Ф., Минаев Н.А., Ончуков Д.Н. – М.: Стройиздат, 1984. – 200с.
- 105.** Curtis T. Ewing, Francis R. Faith, James B. Romans, J. Thomas Hughes and Hower W Carhart, Flame extinguishment properties of dry chemicals: extinction weights for small diffusion pan fires and additional evidence for flame extinguishment by thermal mechanisms, *J. Of Fire Prot. Engr.*, 4 (2) 1992, pp. 35-52. doi: 10.1177/104239159200400201.
- 106.** Некоторые аспекты повышения эффективности аэрозольно-порошкового пожаротушения / О.И. Гарасымюк, В.М. Баланюк, П.В. Пастухов // Вестник Кокшетауского технического института: № 2 (22), 2016 – С. 39-49.
- 107.** Agafonov V.V., Kopylov N.P. Sychev A.I., Uglov V.F., Zhyganov D.B. The mechanism of fire suppression by condensed aerosols. Halon Options Technical Working Conference, 15th Proceedings. HOTWC, 1–10 (2005).
- 108.** 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.
- 109.** Zhang Yongfeng, Jin Xiang, Liao Guangxuan, Xiaomin Ni., (2007). Experimental study of the fire-extinguishing effectiveness of 1-bromo-3,3,3-trifluoropropene/nitrogen mixtures. *Journal of fire sciences*, vol. 25, 177–187. DOI: 10.1177/0734904107067914.
- 110.** J.H. McGuire, Fighting building fires with liquid-nitrogen: a literature survey, *Fire Safe. J.* 4 (1981) 15–19. DOI:10.1016/0379-7112(81)90003-5., 25
- 111.** Torikai H., Murashita T., Ito, A. and Metoki T. (2011). Extinguishment of a Laminar Jet Diffusion Flame Using a Soap Bubble Filled with Nitrogen Gas. *Fire Safety Science*. DOI: 10: 557–567.10.3801/IAFSS.FSS.10–557.
- 112.** Перебіг окремих внутрішніх процесів у вогнегасних аерозолях під час гасіння дифузійного полум'я / Копистинський Ю. О., Баланюк В. М., Лавренюк О. І., Журбинський Д. А. // Науковий вісник УкрНДПБ. – 2008, № 1 (17) – С.155–159.
- 113.** Баланюк В. М. Визначення вогнегасної ефективності аерозоль-утворювальних сумішей з добавкою амоній гідроген фосфату / В. М. Баланюк, А. Т. Лозинський, О. І. Гарасим'юк // Пожежна безпека : зб. наук. пр. – 2015. – №27 . – С. 6-11.
- 114.** Аністратенко В.О., Федоров В.Г. /Математичне планування експериментів в АПК: Навч. посібник.-К.Вища шк., 1993.-375 с.
- 115.** А.Н. Гайдадин, С.А. Ефремова. Применение полного факторного эксперимента при проведении исследований. Методические указания. - Волгоград 2008.

- 116.** Таблицы математической статистики: Учебное пособие / Большев Л.Н., Смирнов Н.В. – М.: «Наука. Главная редакция физико-математической литературы», 1983. – 416 с.
- 117.** Планирование эксперимента в химии и химической технологии: Учебно-методическое пособие/ Семенов С.А.– М.: ИПЦ МИТХТ, 2001.– 93 с.
- 118.** Планирование эксперимента в технологических исследованиях: Учебное пособие / Винарский М.С., Лурье М.В. – К.:«Техніка», 1975. – 168 с.
- 119.** Журбинский Д.А. Розробка методики і установки для вивчення вогнегасної ефективності аерозольгенеруючих складів // Пожежна безпека. – 2001. – С. 302–305.
- 120.** Тарахно Е.В., Михайлюк А.П., Рябова И.Б. Аэрозольное ингибирование пламенного горения // Проблемы пожарной безопасности. – 2000. – Выпуск 7. – С. 201–204.
- 121.** Методика визначення мінімальних вогнегасних концентрацій засобів газового пожежогасіння методом «циліндра». (Затверджена першим заступником начальника УкрНДПБ МВС України). – Київ, 1997.
- 122.** Баланюк В.М. Удосконалення аерозолевої вогнегасної речовини на основі солей калію та обґрунтування умов її застосування./ Дисертація на здобуття наукового ступеня к. т. н.- Львів-2006.
- 123.** Тарахно Е.В., Рябова И.Б., Тригуб В.В. К вопросу о механизме огнетушащего действия АОС // Проблемы пожарной безопасности. – 2001. – Выпуск 8. – С. 199–201.
- 124.** V. M. Balanyuk, Study of fire-extinguishing efficiency of environmentally friendly binary aerosol-nitrogen mixtures" Eastern-european journal of enterprise / V. M. Balanyuk, N. M. Kozyar, O. I. Garasymuyk.– 2016. – №3/10 (71). – С. 4-12.
- 125.** Галикеев А.Р. Определение пожаровзрывоопасных показателей углеродсодержащих отложений при составлении рецептуры огнезащитных красок и создании огнетушащих порошков // electronic scientific journal "oil and gas business". 2001.
- 126.** Патент 871804 A62C 1/00 Способ определения огнетушащей способности порошковых составов. // Лубяный, Умнягин, Шевцов, Товбин, Емельянов, Слободяник, Забуга, Галаджий, Даценко, Баратов, Вайсман. Заявка 2843374, 28.11.1979, Опубликовано: 15.10.1981.
- 127.** Фотокамера NIKON1 J4. Режим доступа: [Http://imaging.nikon.com/lineup/acil/bodies/j4/spec.htm](http://imaging.nikon.com/lineup/acil/bodies/j4/spec.htm) Nikon 1 J4.
- 128.** U.S. Department of Transportation Federal Aviation (February 2002) Administration Final Report Options to the Use of Halons for Aircraft Fire Suppression Systems. Update.
- 129.** В. М. Баланюк, О.І. Гарасимюк. Комбіноване аерозольно-порошкове пожежогасіння. Пожежна Безпека №26 2015р. С. 7-12

- 130.** В.М. Баланюк, Е.М. Улинець, О.І. Лавренюк, Ю.М. Марусяк, Аерозольно-порошкові вогнегасні речовини з підвищеною ефективністю гасіння тління. Пожежна безпека № 19, 2011, С 12-16.
- 131.** Шкоруп О.І. Визначення раціональних параметрів комбінованої подачі вогнегасних речовин для підвищення ефективності пожежогасіння. /Автореферат дисертації. Держ. Макіїв. н.-д. ін-т з безпеки робіт у гірн. промисловості. — Макіївка, 2003. — 20 с.
- 132.** Saito,N., Saso,Y., Ogawa,Y., Otsu,Y. and Kikui, H. (1997). Fire Extinguishing Effect Of Mixed Agents Of Halon 1301 And Inert Gases. Fire Safety Science 5, 901–910. DOI:10.3801/IAFSS.FSS.5–901.
- 133.** Гарасим'юк О. І. Обґрунтування сфери застосування аерозольно-порошкових вогнегасних систем/ О.І. Гарасим'юк, В.М. Баланюк// Актуальні проблеми у сфері науки : матеріали XXXXI Міжнар.наук.-практ. конф. (30-31 травня 2016 р.). —Чернівці, 2016. — Т. 1.— С 6-9.
- 134.** В.М. Баланюк, О.І. Гарасим'юк, П.В. Пастухов. Визначення вогнегасної ефективності деяких аерозольотворюювальних сполук.// Пожежна безпека, Збірник наукових праць. – Львів: ЛДУБЖД, – №23.2013 – С.14-19.
- 135.** Баланюк В.М. Застосування газоаерозольних сумішей для захисту електроустановок від пожеж / В.М. Баланюк, О. І. Гарасим'юк // Актуальні наукові проблеми. Розгляд, рішення, практика :матеріали міжнар.наук.-практ.конф.(27–28 травня 2016 р.). – Одеса, 2016. –С. 205-207.
- 136.** Цапко Ю.В., Соколенко К.І., Ліхньовський Р.В., Баланюк В.М. Деякі аспекти дослідження інгібувальної здатності аерозолю. // Матеріали VIII всеукраїнської науково – практичної конференції рятувальників. «Проблеми зниження ризику Виникнення надзвичайних ситуацій в Україні». Київ. Український науково-дослідний інститут пожежної безпеки МНС України, 2006. – С. 274-276.
- 137.** Агафонов В.В., Копылов Н.П. О механизме огнетушащего действия АОС на основе кислотосодержащих солей калия // Материалы XIV Всероссийской научно-практической конференции “Проблемы горения и тушения пожаров на рубеже веков”. – М.: ВНИИПО МВД РФ, 1997. – Ч.1. – С. 241–246.
- 138.** Гарасим'юк О.І. Застосування газо-аерозольно-порошкових вогнегасних сумішей для захисту від запалювальних сумішей. / В.М. Баланюк, Н.М. Козяр, О.І. Гарасим'юк// ScienceRise. Том 5, № 2 (22) (2016). – С.10-14.
- 139.** ДСТУ 4442:2005 Пожежна техніка. Установки аерозольного пожежогасіння. Генератори вогнегасного аерозолю. Загальні технічні вимоги та методи випробування. Київ: Держспоживстандарт України.
- 140.** F A. Smith, E C Kimmel, J H English and R L Carpenter, The assessment of toxicity after exposure to a pyrotechnically-generated aerosole. HOTWC.95

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А

Автоматичні системи комбінованого пожежогасіння з подаванням тернарної суміші вогнегасних речовин
Технічні умови (проект)

Погоджено
Директор ТзОВ Експерт 112

_____Гуріненко О.
“ ” _____2016 року

Затверджую
Завідувач НДЛ пожежної безпеки
ЛДУ БЖД

_____Петровський В. Л.
“ ” _____2016 року

**Автоматичні системи комбінованого пожежогасіння з подавання
тернарної суміші вогнегасних речовин
Технічні умови на дослідну партію
(проект)**

Розроблено:

Докторант

_____Баланюк В.М.

Ад'юнкт ЛДУ БЖД

_____Гарасим'юк О.І,

1 Загальні положення

Ці технічні вимоги поширюються на автоматичні системи комбінованого пожежогасіння з подавання тернарної суміші вогнегасних речовин, що являє собою систему яка складається з двох основних компонентів – аерозольно-порошкового вогнегасника та резервуару з інертним газом, далі – система.

Склад аерозолеутворюючої сполуки і технологія її виготовлення описана в технологічному регламенті.

Аерозольутворювальна суміш використовується для отримання вогнегасного аерозолю через спалювання в корпусі аерозольно-порошкового вогнегасника.

Споживачами систем є організації, що проводять роботи по встановленню автоматичних систем пожежогасіння з використанням автоматичних систем пожежогасіння та мають ліцензію ДСНС України.

Дані технічні умови обумовлюють вимоги до сполуки, яка виготовляється для потреб народного господарства та поставок на експорт. Технічна та товаросупровідна документація на композицію, що виготовляється на експорт, повинні складатися у відповідності з “Положенням про порядок складання, оформлення і розсилання технічної та товаросупровідної документації на товари, що поставляються на експорт”.

Дані технічні умови придатні для досягнення мети обов’язкової сертифікації за вимогами Державної системи сертифікації УкрСЕПРО.

2 Характеристики:

2.1 Система складається з металевого корпусу-основи, до якого прикріплена теплоізолююча пластина, що містить сопло для виходу вогнегасної суміші. У корпусі розташовано аерозолеутворювальний заряд, який розташований всередині порошкового заряду поруч з ємністю з газом – розріджувачем до вузлів ініціювання яких прокладено вогнепровідні шнури ВШП, що виходять через отвори корпусу і контактують з вузлом ініціювання, що розташований на нижній частині корпусу.

2.2 Термічний вузол ініціювання спрацьовує від електричного запальника.

2.3 Термічний вузол ініціювання представляє собою суміш ідітолу з нітратом калію в який вплавлений електричний запальник:

2.4 Мінімальна кількість довжина вогнепровідного шнура - 150см.

2.5 Основні характеристики системи повинні відповідати показникам, наведеним у таблиці 1.

Таблиця 1

Параметри	СИСТЕМА 2	СИСТЕМА 5	СИСТЕМА 7	СИСТЕМА 15
Співвідношення максимального об'єму, що захищається, м ³ (л)	2 (2000)	4 (4000)	7 (7000)	15 (15000)
Маса спорядженої установки, кг	1,400 ±0, 001	1,650 ±0, 001	1,800±0, 001	2,40 ± 0,001
Маса аерозолеутворюючо го заряду, порошку кг	0,02	0,05	0,035	0,150
Вогнегасна здатність аерозолю, кг/м ³	0,01	0,01	0,01	0,01
Маса порошкового, заряду кг	0,064	0,156	0,224	0,688
Об'єм газового заряду л	100	250	224	480
Час роботи, с	16 ± 1,0	20 ± 1,0	22 ± 1,0	28 ± 1,0
Габаритні розміри, мм:				
Довжина	150			
Ширина	320			
Висота	80			

2.6 Комплектність

2.6.1. Система постачається у вигляді таких компонентів:

- Система пожежогасіння.
- настановні й кріпильні деталі (за умовами поставки);
- інструкція з експлуатації (1 екземпляр на замовлення);

- паспорт.

2.7 Маркування

2.7.1 Маркування системи здійснюється українською та англійською мовами» згідно з ГОСТ 7625-86.

2.7.2 На корпусі установки незмивною фарбою наноситься маркування або наклеюється виконана друкарським способом етикетка наступного змісту:

- назва виробника, його товарний знак (логотип) та адреса;
- назва продукції та її призначення;
- дата виготовлення (число, місяць, рік);
- позначення цих технічних умов.

2.7.3 На кожен коробку з упакованим системою наклеюється виконана друкарським способом етикетка, що включає наступні дані:

- товарний знак і найменування підприємства-виробника;
- найменування виробу;
- дата виготовлення;
- номер партії ;
- клеймо приймання ВТК ;
- маніпуляційний знак " Берегти від вологи " за ГОСТ 14192-77 ;
- маніпуляційний знак " Не кидати " за ГОСТ 14192-77 ;

2.8. Пакування

2.8.1 Система поставляється з підприємства-виробника упакованим в картонні коробки або в іншу упаковку на вимогу замовника.

2.8.2 Пакування системи повинно відповідати вимогам цих Технічних умов і забезпечувати запобігання пошкодженням при транспортуванні та зберіганні.

2.8.3 Система запаковується у споживчу тару відповідно до ДСТУ ISO 780-2001 (ISO 780:1997, IDT), виготовлену з поліетиленової плівки згідно з ГОСТ 10354-82, та ящики з гофрованого картону згідно з ГОСТ 9142-90. Допускається пакування системи у власну упаковку підприємства-виробника.

3. Технічні вимоги

3.1 Автоматичні системи комбінованого пожежогасіння з подаванням тернарної суміші вогнегасних речовин повинні виготовлятися згідно з вимогами цих технічних умов за рецептурою та технологічним регламентом, узгодженим в установленому порядку. Корпус системи виготовляється з металевої оболонки з внутрішньою картонною оболонкою аерозольотворюючої сполуки. Метод виготовлення аерозольотворюючої сполуки оговорений в технологічному регламенті В якості вогнегасного порошку використовують порошок П-2 АПМ.

В якості газу розріджувача використовують технічно чисті CO₂ або N₂.

3.1.1 Для виготовлення аерозольотворюючої сполуки використовують такі матеріали: Нітрат калію за ГОСТ 4217 – 77, та Ідітол (Фенолфрмальдегідна смола) за ГОСТ 18694-80. Вся сировина надходить на виробництво в відповідності з сертифікатами якості.

3.1.2 Дозволяється використовувати аналогічні за характеристиками речовини та матеріали за діючою нормативною документацією або закордонного виробництва за наявності санітарно-епідемологічного висновку МОЗ України.

3.2 Пакування. Виготовлена продукція пакується в картонні ящики по 1 шт. згідно ГОСТ 5799. Пакування готової продукції, що поставляється на експорт, повинно відповідати “Єдиному технічному руководству “Упаковка грузов для экспорта”.

Таблиця 2.

Найменування показника та одиниця виміру	Норма	Метод аналізу
1. Зовнішній вигляд готового системи	Аерозолеутворювальна сполука – однорідна тверда маса від сірого до темнокоричневого кольору без грудок та включень іншого кольору	Візуально
2. Вологість сполуки	Сполука повинна бути з вологістю більше не більше 2%	
3. Міцність сполуки	Сполука повинна зберігати монолітні первинні розміри, не розсипатись, та кришитись	Візуально
4. Зовнішній вигляд системи після випробування	Корпус системи повинен бути цілісним без скрізних прогарів, допускається обвуглення корпусу в місцях виходу газоаерозольнопорошкової суміші	Візуально

3.3. Маркування

3.3.1. Кожна система маркується згідно ДСТУ позначенням, що містить:

- позначення ;
- об'єму приміщення, у якому система забезпечує вогнегасну здатність;
- дати виготовлення;
- номери партії;
- номери ТУ, відповідно якого виготовлено систему;
- знаку відповідності згідно з ДСТУ 2296 про підтвердження факту сертифікації продукції.

3.3.2. Транспортне маркування – згідно з ГОСТ 14192.

3.3.3. Маркування повинно проводитись українською мовою.

3.4. Комплектність. системи може поставлятися партіями.

4. Вимоги безпеки та охорони навколишнього середовища

4.1. Аерозольутворююча сполука горюча та вибухонебезпечна.

4.2. Перелік компонентів, які входять до аерозольутворювальної сполуки, нормативно-технічна документація, згідно з якою вони випускаються та поставляються, ГДК, клас їх небезпечності та особливості дії на організм згідно ГОСТ 12.1.005 наведені в таблиці 2.

Таблиця 2.

Клас небезпечності та особливості дії на організм компонентів сполуки

№	Найменування компонента	Найменування шкідливої речовини та її формула	ГДК, мг/м ³	Клас безпеки	Особливості дії на організм
1	Окисник Нітрат калію (ГОСТ 4217-77)	KNO ₃	5	III	подразнююча
2	Ідітол (Фенолформальдегідна смола) за ГОСТ 18694-80		16	III	

4.3. Загальні вимоги безпеки при використанні автоматичної системи комбінованого пожежогасіння з подаванням тернарної суміші вогнегасних речовин повинні відповідати ГОСТ 12.1.005, ДСН 3.3.042. При спрацюванні системи приміщення заповнюється газоаерозольно-порошковою сумішшю, яка складається з твердої фази – карбонату калію, гідрокарбонату калію, хлориду калію, газової фази, яка містить вуглекислий газ (CO₂), або азот (N₂) воду (H₂O).

Клас їх небезпечності та особливості дії на організм згідно ГОСТ 12.1.005 наведені в таблиці 3.

Таблиця 3.

№	Найменування компонента	Найменування шкідливої речовини, та її формула	ГДК, мг/м ³	Клас безпеки	Особливості дії на організм
1	Карбонат калію	K_2CO_3	5	III	
2	Гідрокарбонат калію	$KHCO_3$			
3	Хлорид калію	KCl	2,5	II	
4	Водяна пара	H_2O (пара)		IV	
5	Вуглекислий газ	CO_2			
6	Азот	N_2		IV	

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

4.5. Організація технологічного процесу виготовлення автоматичної системи комбінованого пожежогасіння з подаванням тернарної суміші вогнегасних речовин

4.6. Приміщення, де виготовляється аерозолеутворювальна сполука, повинне бути окремим, або відокремлене від інших стіною з межею вогнестійкості не менше 2 год.

4.7. Загальна маса компонентів для виготовлення аерозолеутворюючої сполуки в приміщенні повинна бути не більше, як для виготовлення партії аерозолеутворюючої сполуки.

4.8. Приміщення, де проводиться виготовлення аерозолеутворювальної сполуки, повинно бути забезпеченим питною водою за ГОСТ 2874.

4.9. До роботи з аерозолеутворювальною 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 ГОСТ 12.0.004.

4.10. Особи, що працюють з аерозолеутворювальною 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 “Типовым отраслевым нормам выдачи бесплатной спецодежды, обуви и других средств индивидуальной защиты рабочих и служащих химических производств”, що затверджені Держкомітетом по праці і соціальним питанням та ВЦСП, а також дотримуватись правил особистої гігієни.

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

4.12 Виробництво аерозолеутворювальної сполуки є безвідходним. Стічні води, тверді та рідкі відходи у виробництві відсутні. АУС за показником пероральної токсичності відносяться до 3 та 4 класів небезпеки згідно з ГОСТ 12.1.007 (речовини помірно небезпечні та речовини малонебезпечні відповідно). Чинять шкірно-резорбтивну дію. Володіють вираженою дією на слизові оболонки та середньовираженою дією на шкіру.

4.13. Вміст шкідливих речовин у повітрі робочої зони при виготовленні у залежності від сировини не повинен перевищувати гранично допустимих концентрацій, вказаних у ГОСТ 12.1.005.

4.14. При виробництві систем необхідно дотримуватись вимог Закону України «Про охорону праці», Закону України «Про загальнообов'язкове державне соціальне страхування», Кодексу законів про працю України, Кодексу цивільного захисту України та ДСанПіН 3.3.1-176.

4.15. Виробничі процеси повинні відповідати вимогам ГОСТ 12.1.010, ГОСТ 12.3.002, СП 1042, ГОСТ 12.3.009, НАПБ А.01.001. Вимоги безпеки до технологічного обладнання повинні відповідати вимогам ГОСТ 12.2.003, вимоги безпеки до робочих місць - ДСТУ ГОСТ 12.2.061.

4.16. Приміщення для виготовлення систем повинні бути забезпечені загально -обмінною та припливно - витяжною вентиляцією згідно з ДСТУБА.3.2- 12, ДБН В.2.5-67, а також димовидаленням згідно з СНиП 2.04.05.

4.17. Рівні виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку під час виробництва систем повинні відповідати вимогам ГОСТ 12.1.003 та ДСН 3.3.6.037.

Мікроклімат у виробничих приміщеннях повинен відповідати вимогам ГОСТ 12.1.005 та ДСН 3.3.6.042.

4.18. Виробничі приміщення повинні бути обладнані системою внутрішнього водопостачання і каналізацією згідно з ДБН В.2.5-64, питною водою згідно з ДСТУ 7525.

4.19. Працівники повинні бути забезпечені санітарно-побутовими приміщеннями згідно з ДБН В.2.2-28.

4.20. Рівень вібрації повинен відповідати вимогам ДСН 3.3.6.039 і ДСТУ ГОСТ 12.1.012.

4.21. Виробничі та складські приміщення повинні бути оснащені опаленням, вентиляцією і кондиціонуванням згідно з ДБН В.2.5-67. Освітлення приміщень повинно відповідати вимогам ДБН В 2.5-28.

4.3. Вимоги пожежної безпеки

4.3.1. АУС - легкозаймисті речовини згідно з ГОСТ 12.1.044. АУС згідно з ДСТУ 4500-3 відносяться до класу 3 - легкозаймисті речовини. Температура самозаймання 375°C. Категорію виробничих та допоміжних приміщень за вибухо- пожежною та пожежною небезпекою визначають згідно з НАПБ Б.03.002, клас пожежонебезпечних зон - згідно з НПАОП 40.1-1.32.

4.3.2. Визначені категорії та класи виробничих і складських приміщень повинні бути підтверджені відповідними розрахунками. Пожежна безпека при виготовленні систем повинна відповідати вимогам ГОСТ 12.1.004, ГОСТ 12.1.018, ГОСТ 12.3.002 та НАПБ А.01.001.

4.3.3. Виробничі, складські та інші будівлі і приміщення повинні бути обладнані системами протипожежного захисту відповідно до ДБН В.2.5-56.

4.3.4. Виробничі, складські та інші будівлі повинні бути обладнані блискавкозахистом відповідно до ДСТУ Б В.2.5-38.

4.3.5. Виробничі та інші приміщення повинні бути забезпечені первинними засобами пожежогасіння відповідно до НАПБ А.01.001, НАПБ Б.03.001 та НАПБ Б.01.008.

Під час проведення робіт все технологічне обладнання повинно бути надійно уземлене згідно з вимогами НПАОП 40.1-1.32, ПУЕ. Повинні бути передбачені засоби захисту від дії статичної електрики згідно з ГОСТ 12.4.124.

4.3.6. Виробничі та складські приміщення за пожежною безпекою повинні відповідати вимогам НАПБ А.01.001, ДБНВ.1.1-7, СНиП 2.09.02, СНиП 2.09.03, СНиП 2.11.01.

4.3.7. До робіт у вибухонебезпечних та пожежонебезпечних зонах допускаються особи, які пройшли спеціальне навчання та перевірку знань з питань пожежної безпеки згідно з НАПБ Б.07.033 і вимогами Кодексу цивільного захисту України.

4.3.8. У виробничих та інших приміщеннях, де виготовляють, випробовують та використовують АУС, необхідно використовувати іскробезпечний інструмент.

Технічне експлуатування електрообладнання повинно відповідати вимогам ГОСТ 12.1.019, ГОСТ 12.1.018, ГОСТ 12.1.030, НПАОП 40.1-1.32.

4.3.9. При експлуатуванні електричних приладів необхідно дотримуватись вимог ГОСТ 12.1.018, ПУЕ та НПАОП 40.1 -1.21.

4.3.10. У приміщеннях для виробництва та зберігання систем не дозволяється користуватися відкритим вогнем.

4.3.11. Розсипаний або розлитий АУС засипають піском згідно з ДСТУ Б. 13.2.7-32 і збирають у контейнер для наступного утилізування. Для очищення потрібно використовувати мийні засоби згідно з чинними нормативними документами.

4.3.12. У разі виникнення аварійних ситуацій під час транспортування залізничним транспортом слід керуватися вимогами, встановленими для вантажу в аварійній картці 328 згідно з «Правилами безпеки та порядку ліквідації наслідків аварійних ситуацій з небезпечними вантажами при перевезенні їх залізничним транспортом».

4.3.13. У разі виникнення аварійної ситуації під час транспортування автомобільним і водним транспортом слід керуватися письмовими інструкціями, виданими вантажовідправником.

4.3.14. Інструктаж з охорони праці працюючих проводять згідно з чинними нормативними документами та типовими документами з охорони праці і техніки безпеки, затвердженими в установленому порядку.

4.3.15. Засоби колективного та індивідуального захисту працівників при виготовленні систем повинні відповідати вимогам ДСТУ 7238, ДСТУ 7239, ГОСТ 12.4.029, ГОСТ 20010, ГОСТ 27574, ГОСТ 27575, ГОСТ 12.4.131, ГОСТ 12.4.132, ДСТУ ЕИ 405, ДСТУ ГОСТ 12.4.041.

4.3.16. Медичні огляди працівників повинні проводитися згідно з наказом МОЗ України № 246.

4.4. Охорона атмосферного повітря від забруднення хімічними та біологічними речовинами повинна відповідати вимогам Закону України «Про охорону атмосферного повітря» та ГОСТ 17.2.3.02.

4.4.1. Охорона ґрунту від забруднення промисловими та побутовими відходами повинна відповідати вимогам наказу МОЗ України № 145.

4.4.2. Охорона поверхневих вод від забруднення повинна відповідати Закону України «Про охорону навколишнього природного середовища» та СанПиН 4630.

Утилізування відходів виробництва повинно відповідати вимогам Закону України «Про відходи», Закону України «Про охорону навколишнього природного середовища».

4.4.5. Не дозволено попадання АУС в дренажні канали і водостоки.

5. Правила приймання

5.1. Система приймається партіями. Партією вважається кількість продукції, виробленої за один технологічний цикл, однорідної за своїми показниками якості, необхідна для виробництва систем.

5.2. Партія систем повинна супроводжуватись документом, що містить такі дані:

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

5.3. Вхідний контроль проводять за ГОСТ 24297.

5.4. Система підлягає приймально-здавальним, періодичним і сертифікаційним випробуванням.

Приймально-здавальні випробування сполуки проводяться виробником на відповідність вимогам даних технічних умов, а результати заносять в журнал контролю якості готової продукції.

Періодичні випробовування проводять на відповідність сполуки вимогам даних технічних умов, а результати заносять в журнал контролю якості готової продукції.

Періодичні випробовування проводять один раз на рік. Періодичним випробовуванням підлягають сполуки, що пройшли приймально-здавальні випробовування. Результати заносять в журнал контролю якості готової продукції.

5.5. 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 відбраковується.

5.6. Сертифікаційні випробовування проводять згідно вимог даних ТУ.

5.7. Вимоги безпеки розділу 3 контролюються у процесі підготовки та освоєння виробництва та за допомогою органів Держнагляду.

6. Вказівки з експлуатації

6.1 При виникненні пожежі та спрацьовуванні системи особи, що знаходяться в цей момент в приміщенні, повинні швидко покинути його, по можливості щільно закрити за собою двері і не робити ніяких дій з гасіння пожежі, крім виклику пожежної охорони.

6.2 У разі неможливості швидко залишити приміщення при спрацьовуванні системи, слід захистити органи дихання від впливу аерозольних частинок за допомогою марлевих або тканинних пов'язок.

6.3 Під час роботи системи перед ним утворюється зона радіусом 0,1 м, в якій температура становить 200 °С.

6.4. Корпус системи може нагріватись до 150 °С, в місті викиду вогнегасного аерозолу та розташуванні аерозольнопорошкового вогнегасника.

6.5. Забороняється:

- використовувати систему для ручного гасіння пожежі;
- проводити зварювальні або інші вогневі роботи ближче 2 м від системи
- використовувати систему , що має механічні пошкодження;
- розбирати систему .

6.6 Визначення необхідної кількості систем та їх розміщення у приміщенні, яке захищається.

6.6.1 Проектно-монтажні роботи щодо встановлення системи повинні здійснюватися спеціалізованими організаціями, що мають ліцензії на здійснення цих робіт.

6.6.2 Розрахунок кількості систем, необхідних для захисту заданого об'єму, проводиться за методиками, наведеними в чинних нормативних документах.

6.6.3 Систему слід встановлювати в місці найбільш ймовірного виникнення пожежі, таким чином, щоб забезпечити швидке та рівномірне заповнення всього об'єму приміщення вогнегасним аерозолем.

6.7 Встановлення системи

6.7.1 Система розміщуються рівномірно по всій площі в захищуваному об'ємі.

6.7.2 У разі необхідності системи можуть розміщуватися групами не більше 12 шт. в групі.

6.7.3 Відстань між осями системи в групі повинна бути не менше 0,5 метра.

6.7.4 Відстань між групами системи не повинна перевищувати 10 метрів.

6.7.5 Місце встановлення і напрям отворів системи необхідно вибирати таким чином, щоб забезпечити максимально вільне розповсюдження газоаерозольнопорошкового потоку.

6.8 Розміщення системи в об'ємах, що захищаються, повинно проводитися з урахуванням таких вимог:

6.8.1 Система повинна встановлюватися таким чином, щоб вісь газоаерозольнопорошкового потоку при його роботі не була спрямована на людей, що знаходяться на відстані менше 2,5 метрів.

6.8.2 Відстань від системи до огорожувальних конструкцій повинна бути не менше 50 мм.

6.8.3 Відстань від бокової поверхні системи до обладнання, складованих матеріалів, майна, електроприладів, електропроводки і т.п. повинна становити не менше 15 мм.

6.8.4 У просторі, обмеженому радіусом 0,2 м від осі системи та довжиною 2,0 м від кришки з сопловими отворами в напрямку аерозольного потоку, не повинні знаходитися огорожувальні конструкції приміщення, обладнання, матеріали тощо.

6.9 Не допускається встановлення системи на горючих основах.

6.10 Для проведення контрольно-профілактичних і регламентних робіт повинна бути передбачена можливість доступу до змонтованої системи.

6.11 При встановленні декількох виробів в одному об'ємі, що захищається, термохімічні вузли запуску повинні бути з'єднані між собою вогнепровідним шнуром для забезпечення їх одночасного спрацьовування, або електричним кабелем.

6.12 З метою скорочення часу спрацьовування системи, оснащеної термохімічним вузлом запуску, рекомендується оснастити об'єкт, що захищається, вогнепровідним шнуром типу ВШП згідно (СОУ МПП 71.100.30-238:2009,), проклавши його таким чином, щоб він пройшов через верхню частину об'єму, який захищається, та місця можливого загоряння, приєднавши шнур до термочутливого елемента вузла запуску.

7. Транспортування та зберігання

7.1. Готові системи транспортуються партіями.

7.2. Упаковані системи транспортують згідно НД на них залізним 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”.

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

7.4. Упаковані системи 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%.

8. Методи контролю (випробувань)

8.1 Методи випробування системи повинні відповідати вимогам ДСТУ 4442:2005 та НПБ 60-97.

8.2 Контроль комплектності, маркування та пакування:

8.2.1 Контроль комплектності, маркування та пакування здійснюють візуальним оглядом всіх одиниць партії шляхом співставлення з супровідною документацією на відповідність вимогам 1.5, 1.6, 1.7.

8.2.2 У паспорті повинно бути вказано номери партій аерозолеутворюючого зарядувогнегасного порошку та газу розріджувача, дата виготовлення, їх маса зарядів та максимальний обсяг, на який розрахована система.

8.3. Контроль зовнішнього вигляду:

8.3.1 Зовнішній вигляд системи визначають шляхом візуальної оцінки стану всіх елементів комплекту. Не повинно бути зовнішніх ушкоджень.

9. Гарантії виробника

9.1. Виробник гарантує відповідність сполуки вимогам даних технічних умов за умови дотримання споживачем умов транспортування і зберігання, обумовлених даними технічними умовами.

9.2. Строк зберігання системи – 5 років з моменту виготовлення.

ДОДАТОК Б**АКТИ ВИГОТОВЛЕННЯ ТА ВПРОВАДЖЕННЯ**

Затверджую директор ТзОВ
 «Експерт 112»
 Туріненко О.
 «16» лютого 2016 р

АКТ

Виготовлення пристрою подачі тернарної суміші вогнегасного аерозолі по
 вогнегасного порошку та газу розріджувача
 по результатам дисертаційної роботи
 Гарасим'юка Олександра Івановича

Комісія в складі: голови комісії – завідувача науково-дослідної лабораторії пожежної безпеки ЛДУ БЖД МНС України – п. Петровського В.Л., та членів комісії – старшого викладача кафедри процесів горіння та загальної хімії к.т.н., Ємельяненко С.О. та провідного фахівця відділу організації науково-дослідної діяльності ЛДУБЖД п. Лозинського А.Т., склали акт про виготовлення за результатами дисертаційної роботи Гарасим'юка Олександра Івановича експериментальних взірців пристрою подачі газозаерозольнопорошкової суміші згідно технічного регламенту.

Пристрої виготовлені на базі підприємства «Експерт 112» м. Київ у кількості 5 одиниць, з них з об'ємом захисту 15 м³-3 шт., 7 м³ – 2 шт.

Голова комісії

Члени комісії:

В.Л. Петровський

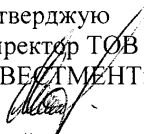
С.О. Ємельяненко

А. Т. Лозинський

ТОВАРИСТВО З ОБМЕЖЕНОЮ ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ

"АС ІНВЕСТМЕНТ"

08623 Київська область, Васильківський район, смт.Калинівка,
вул. Залізнична,51, тел\ф (04571) -4-30-30, ідентифікаційний код 39248621,
п\р 26000013680901 в ПАТ „Альфа-Банк” МФО 300346
п/р 26003310894001 в Філії АБ «Південний» МФО 320917

Затверджую
Директор ТОВ «АС
ІНВЕСТМЕНТ»
 А.М. Мизернюк
« ___ » _____ 2016 року

АКТ
ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ
ГАРАСИМ'ЮКА ОЛЕКСАНДРА ІВАНОВИЧА

Комісія в складі: голови комісії – завідувача науково-дослідної лабораторії ЛДУ БЖД МНС України - п. Петровського В.Л., та членів комісії – провідного фахівця лабораторії п. Лозинського А.Т., та інженера енергетика ТОВ «АС ІНВЕСТМЕНТ» п. Карвацького Г.В., склали акт про те, що виготовлені за результатами дисертаційної роботи Гарасим'юка О.І., експериментальні зразки пристрою подачі газоаерозольнопорошкової вогнегасної суміші, встановлені в електрощитовій ТОВ «АС ІНВЕСТМЕНТ» м. Калинівка Васильківського району Київської області по вул. Залізничній 51. Експериментальний зразок пристрою подачі газоаерозольнопорошкової вогнегасної суміші ефективно флегматизує та гасить горюче гомогенне середовище за рахунок одночасної дії компонентів тернарної вогнегасної суміші рецептура, якої розроблена ад'юнктом кафедри процесів горіння та загальної хімії Львівського державного університету безпеки життєдіяльності підполковником служби цивільного захисту Гарасим'юком О.І. та докторантом університету к.т.н. доц., полковником служби цивільного захисту Баланюком В.М.

Пристрій характеризується невисокою вартістю, простим встановленням та тривалим терміном зберігання в черговому режимі. Експлуатація та зберігання експериментальних газоаерозольних модулів є нескладними.

Голова комісії:



В.Л. Петровський

Члени комісії:



А.Т. Лозинський

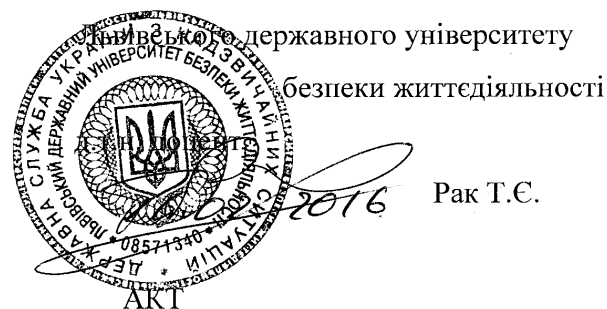
Інженер – енергетик
ТОВ «АС ІНВЕСТМЕНТ»



Г. В. Карвацький

Затверджую

Проректор з науково-дослідної роботи



Рук Т.С.

Впровадження результатів дисертаційної роботи

Гарасим'юка Олександра Івановича

Комісія в складі: голови комісії – заступника начальника інституту пожежної та техногенної безпеки ЛДУБЖД к.т.н. доц., Пархоменко Р.В., та членів комісії – доцента кафедри процесів горіння та загальної хімії к.т.н., доц., Лавренюк О.І., старшого викладача кафедри процесів горіння та загальної хімії к.т.н., Ємельяненко С.О. та молодшого наукового співробітника відділу організації науково-дослідної діяльності ЛДУБЖД п. Лозинського А.Т., склали акт про те, що результати дисертаційних досліджень впроваджені в навчальний процес Львівського державного університету на кафедрі процесів горіння та загальної хімії під час викладання дисциплін «Теорія горіння та вибуху» та «Теоретичні основи пожежо-вибухонебезпечності».

Результати дисертаційних досліджень використовуються на практичних заняттях та лабораторних роботах з використанням розроблених методик та дослідницьких установок.

Голова комісії:

Члени комісії:

Р.В. Пархоменко

О.І. Лавренюк

С.О. Ємельяненко

А.Т. Лозинський

Затверджую

Проректор з науково-дослідної роботи

Львівського державного університету

безпеки життєдіяльності



Рак Т.Є.

Впровадження результатів дисертаційної роботи

Гарасим'юка Олександра Івановича

Комісія в складі: голови комісії – завідувача науково-дослідної лабораторії ЛДУБЖД Петровського В.Л., та членів комісії – старшого викладача кафедри процесів горіння та загальної хімії к.т.н., Ємельяненко С.О. та молодшого наукового співробітника відділу організації науково-дослідної діяльності ЛДУБЖД п. Лозинського А.Т., склали акт про те, що результати дисертаційних досліджень Гарасим'юка О.І. впроваджені в діяльність науково-дослідної лабораторії Львівського державного університету безпеки життєдіяльності при виконанні науково-дослідних робіт з визначення вогнегасної та флегматизувальної ефективності вогнегасних речовин та їх сумішей.

Голова комісії:

В. Л. Петровський

Члени комісії:

С.О. Ємельяненко

А.Т. Лозинський