

МІНІСТЕРСТВО ЕКОЛОГІЇ ТА ПРИРОДНИХ РЕСУРСІВ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНА ЕКОЛОГІЧНА АКАДЕМІЯ
ПІСЛЯДИПЛОМНОЇ ОСВІТИ ТА УПРАВЛІННЯ

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

БАЛАНЮК ВОЛОДИМИР МІРЧОВИЧ

УДК 504.055 + 614.841.1

НАУКОВІ ОСНОВИ ЗМЕНШЕННЯ ВПЛИВУ НА ДОВКІЛЛЯ ПОЖЕЖ
НА ЇХ ПОЧАТКОВІЙ СТАДІЇ ДІЄЮ УДАРНИХ ХВИЛЬ

Спеціальність 21.06.01 – екологічна безпека

21.06.02 – пожежна безпека

дисертація на здобуття наукового ступеня

доктора технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

_____ В.М. Баланюк

Науковий консультант Ковалишин Василь Васильович

доктор технічних наук, професор

Львів – 2019

АНОТАЦІЯ

Баланюк Володимир Мірчович «Наукові основи зменшення впливу на довкілля пожеж на їх початковій стадії дією ударних хвиль» - кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису. Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальностями 21.06.01. «Екологічна безпека» та 21.06.02. «Пожежна безпека». – Львівський державний університет безпеки життєдіяльності ДСНС України, Львів, 2019.

Зміст анотації

Дисертація присвячена вирішенню актуального наукового завдання – зменшення негативного впливу на довкілля наслідків пожеж шляхом комбінованого застосування вогнегасних речовин, а також ударних хвиль для припинення горіння газових горючих середовищ.

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи та важливість зменшення негативного впливу на довкілля наслідків пожеж шляхом комбінованого застосування вогнегасних речовин, а також ударних хвиль для припинення горіння газових горючих середовищ. Сформульовано ідею, мету і визначено завдання досліджень, відображено наукову новизну роботи та практичне значення отриманих результатів. Наведено відомості про апробацію та публікації основних результатів дослідження.

У першому розділі наведено результати аналізу світової та національної статистики пожеж та їх негативних наслідків і впливу їх небезпечних чинників на довкілля та життєдіяльність людини, сформульовано методологію проведення дисертаційних досліджень. За даними ДСНС України щороку кількість пожеж в Україні збільшується і сягає вже понад 70 тис. пожеж на рік, зокрема за останні три роки їх кількість збільшилась на 18 тис. Значна частка масштабних пожеж та загиблих припадає на промислові об'єкти зі зберіганням та обертанням горючих рідин та газів у великих кількостях. Проаналізовано вогнегасні засоби та встановлено їхні переваги та недоліки. Обґрунтовано що пожежі, які виникають на промислових об'єктах з значним пожежним навантаженням,

загасити існуючими вогнегасними засобами швидко неможливо, і гасіння більшості пожежі відбувається на момент коли пожежа розвинулась та завдала значних матеріальних збитків, які призводять до зупинки виробничого процесу у 95 % випадків а також до значних викидів у навколишнє середовище продуктів горіння, а у випадку затяжного гасіння - і вогнегасних засобів газів, піноутворювачів, порошоків та інше. Показано вогнегасні чинники впливу засобів пожежогасіння. Порівняно вогнегасні концентрації вогнегасних засобів об'ємної дії та встановлено, що вогнегасні аерозолі володіють високою вогнегасною ефективністю, простотою у виготовленні, тривалим терміном зберігання екологічною чистотою та високою надійністю, що наводить на висновок про можливість їх подальшого вдосконалення та створення на їх основі високоефективних комбінованих систем запобігання та гасіння газових горючих середовищ швидкої дії. У підсумку, на основі проведеного огляду, визначених недоліків та переваг, було встановлено екологічну небезпеку вогнегасних засобів, встановлено ступінь їх небезпеки для атмосфери, ґрунтів, водних ресурсів, ґрунтових вод.

У другому розділі проаналізовано відомі методики та установки з визначення вогнегасної ефективності вогнегасних засобів об'ємної дії. Встановлено, що для оцінки вогнегасної ефективності аерозолі необхідно визначити зміну температури під час подачі його в зону горіння безпосередньо з потоком газу. Розроблено експериментальну методику та установку «Камера» для визначення вогнегасної ефективності аерозольних та бінарних аерозольно – газових сумішей, в якій для дослідження вогнегасної ефективності бінарної аерозольно-азотної суміші використано два види полум'я – дифузійне та кінетичне. Розроблено експериментальну методику та установку для визначення вогнегасної ефективності одинарних та серій ударних хвиль, в якій для дослідження їх вогнегасної ефективності застосовано дифузійне полум'я п-гептану. Для вимірювання тиску було використано датчик тиску BMP-180 виробництва фірми BOSCH. При цьому для відеофіксації використано камеру

Nikon 1J4 з можливістю зйомки 1200 кадрів за секунду. Для отримання результатів з датчика для контролера Arduino UNO була використана програма для виведення показань датчика в інтерфейсі CoolTerm_0.stk. Розроблено методику визначення вогнегасної ефективності комбінованого гасіння ударними хвилями та об'ємною вогнегасною речовиною для дифузійного полум'я н-гептану C_7H_{16} . Для цього обрано АУС на основі ідітолу та нітрату калію. Розроблено методику визначення вогнегасної ефективності комбінованого гасіння ударними хвилями та газовою вогнегасною речовиною дифузійного полум'я н-гептану, де в якості газових вогнегасних речовин було використано хімічно чисті CO_2 та N_2 .

У третьому розділі теоретично доведено, що дія ударної хвилі на дифузійне полум'я може привести до його гасіння внаслідок одночасної дії багатьох чинників, а саме: тих, які діють перед, у фронті та за фронтом ударної хвилі. Їх почерговий вплив на дифузійне полум'я приводить до охолодження, відриву, зміщення та фрагментації полум'я внаслідок ефекту Ріхтмаєра-Мешкова. Обґрунтовано, що серія ударних хвиль ще більш вогнегасно ефективна внаслідок багаторазового повторення зазначених ефектів. Теоретично встановлено, що ударні хвилі повинні значно підвищити вогнегасну ефективність об'ємних вогнегасних речовин. Виявлено, що основними явищами, які будуть сприяти підвищенню ефективності пожежогасіння в процесі проходження ударної хвилі через аерозольне середовище, буде відрив полум'я, захоплення інполярними частинами полум'я речовини об'ємної дії, збільшення тиску газоаерозольної суміші в зоні горіння та локальне підвищення концентрації частинок внаслідок ефекту Бернуллі. Теоретично обґрунтовано, що підвищення ефективності гасіння об'ємними вогнегасними речовинами відбувається через одночасний вплив багатьох факторів, а саме: підвищення тиску у фронті ударної хвилі, збільшення концентрації частинок вогнегасного аерозолю, стискання і розтягування зони горіння та інгібуючий вплив вогнегасної речовини. Теоретично розраховано

маси вибухового заряду та тиск, що утворюється на відстані в 4 м, які становлять: для 1 г заряду – 2,43 кПа, для 4 г – 3,0096 кПа. Також проведено теоретичні обчислення зміни зони тиску на відстані від 1 до 5 м для заряду в 4 г. Значення тисків становили відповідно від 8,52 кПа до 2,294 кПа. Значення ΔP , отримане на відстані 4 м, є в допустимих межах і може бути використане з метою пожежогасіння. Теоретично обґрунтовано, що домінуючим фактором який забезпечуватиме високу ефективність гасіння, повинен бути процес так званого «розриву» полум'я в зоні релаксації через більш низький тиск у ній.

У четвертому розділі визначено вогнегасну ефективність бінарної аерозольно – вуглекислої суміші БАВС та встановлено, що додавання CO_2 до аерозолу неорганічних солей калію підвищує його вогнегасну ефективність завдяки синергізму між його компонентами. Результатом додавання до аерозолу N_2 стало зменшення вогнегасної концентрації компонентів бінарної суміші до 30 %. Визначено, що оптимальні співвідношення компонентів в аерозольно – азотній суміші становлять: аерозолу – 10 г/м^3 , азоту – 12,1 %, а аерозольно – вуглекислотній: аерозолу – 10 г/м^3 , CO_2 – 6 %. При цих добавках суміш є вогнегасною для дифузійного полум'я н-гептану та забезпечує збереження життєпридатної концентрації кисню в захищуваному об'ємі. Встановлено, що гасіння дифузійного полум'я н-гептану відбувається не через його відрив, а через його зменшення в розмірах та пульсацію з частотою 24–35 Гц. Виявлено, що внесення кінетичного полум'я н-гептану в бінарну аерозольно-азотну суміш при концентраціях, які значно переважають вогнегасні для дифузійного полум'я н-гептану, до гасіння не приводило. Визначено інтенсивність та значне зменшення температури дифузійного та кінетичного полум'я при перебуванні його в бінарній аерозольно – азотній суміші. Різниця температур між початковим значенням температури та під дією бінарної аерозольно-азотної суміші становить максимум $230 \text{ }^\circ\text{C}$. Зниження температури відбувається внаслідок того, що добавка бінарної аерозольно-азотної суміші ймовірно призводить до зменшення тепловиділення реакції

горіння і, як наслідок, зменшення температури полум'я. Визначено, що бінарні суміші вогнегасного аерозолу та газів-розріджувачів забезпечують зниження викидів CO₂ в атмосферу до 3-х разів порівняно з його індивідуальними вогнегасними концентраціями. Визначено безпечні для людини бінарні вогнегасні суміші аерозолу з CO₂, N₂. Встановлено оптимальні вогнегасні концентрації аерозолу в суміші з CO₂ або N₂, які є меншими за їх індивідуальні завдяки синергізму компонентів. Проведено математичне планування експериментальних досліджень для визначення тривалості часу гасіння пожежі методом ударної хвилі. Виконано кодування факторів складання план-матриці експерименту. Проведено рандомізацію дослідів та реалізовано план експерименту. В цьому випадку значення тиску ударної хвилі при використанні вогнегасної системи на основі газу CO₂ визначається із залежності, яка для CO₂ має такий вигляд

$$P = \frac{1,59q^{3,56} \tilde{A}^{0,29}}{A^{1,62}}, \text{ Па.}$$

Провівши дослід з визначення тиску ударної хвилі при використанні вогнегасної системи на основі газу N₂ було отримано таку залежність:

$$P = \frac{5,41q^{3,17} \tilde{A}^{0,44}}{A^{1,62}}, \text{ Па.}$$

Експериментально визначено, що вплив на полум'я п-гептану, ударної хвилі з тиском в фронті близько 215 Па в камері на відстані до 2-х метрів, призведе до його загасання через відрив і фрагментацію. Моменти, які підтверджували вогнегасну ефективність ударної хвилі, а також перехідні стани нестабільності, були зафіксовані на відеоролики з частотою 1200 кадрів в секунду, з яких було отримано розкадровку відповідних етапів у моменти нестабільності полум'я при різних тисках та частотах впливу УХ для теплової потужності полум'я від 4 кВт/м² до 18 кВт/м². Також для одинарних ударних хвиль встановлений час гасіння, який залежить від потужності ударної хвилі та дорівнює приблизно 100 - 200 мс до повного загасання полум'я. Експериментально встановлено, що вогнегасна ефективність серій ударних

хвиль з частотою близько 10 Гц збільшується приблизно від 20 % у порівнянні з вогнегасною ефективністю одинарних ударних хвиль. За результатами розкадровки встановлено, що при тиску одинарної ударної хвилі в серії з 3 ударних хвиль при їх частоті утворення 10 Гц близько 200 Па відбувається фрагментація полум'я безпосередньо над поверхнею горіння майже без відриву полум'я, після чого в результаті проходження наступної УХ відбувається гасіння через подальшу фрагментацію полум'я. Встановлено, що при потужності ударної хвилі в 180 Па вогнегасна концентрація для CO_2 зменшується в 2,5 рази і в 2 рази для N_2 при гасінні дифузійного полум'я n-гептану. Підтверджено, що загальним результатом дії ударної хвилі та вогнегасного газу буде значне зменшення часу гасіння дифузійного полум'я n-гептану, яке у випадку з CO_2 зменшується до 7 разів, а для N_2 - до 4,2 рази, при порівнянні з часом гасіння самої ударною хвилею, який становить близько 350 мілісекунд. Експериментально встановлено, що комбіноване застосування потрійних серій ударних хвиль з частотою 10 Гц та об'ємних вогнегасних речовин приводить до зменшення потужності ударних хвиль у 1,25-1,5 рази та зниження вогнегасної концентрації газових вогнегасних речовин. При цьому вогнегасна концентрація CO_2 зменшується до 7 разів а азоту до 4,5 рази та становить відповідно при тиску УХ в 170 Па - 4,8 % CO_2 та 10,2 % N_2 при тепловій потужності полум'я в 4 кВт /м². Експериментально встановлено, що комбіноване застосування вогнегасного аерозолу та одинарних ударних хвиль з тиском у 240 Па зменшує вогнегасну концентрацію аерозолу в умовах експериментальної камери у 2-3,5 рази. Підтверджено, що загальним результатом дії ударної хвилі та вогнегасного аерозолу теж буде зменшення часу гасіння дифузійного полум'я n-гептану до 4,2 рази, порівнянно з часом гасіння самою ударною хвилею. У випадку комбінованого застосування серій ударних хвиль та вогнегасного аерозолу відбувається зменшення потужності ударної хвилі до 240 Па та вогнегасної концентрації аерозолу до 2-х разів. Експериментально визначено, що комбіноване застосування вогнегасного

аерозолі, вогнегасної газової речовини та одинарних ударних хвиль з тиском у 240 Па приводить до зменшення вогнегасних концентрацій для вогнегасного аерозолі до 4,8 г/м³ та 5,8 СО₂, або для вогнегасного аерозолі до 6,5 г/м³ та 8,2 N₂, що є значно нижчими за їх індивідуальні значення ймовірно завдяки синергізму між її компонентами. Встановлено, що дія серій УХ з тиском 240 Па на бінарну суміш вогнегасного аерозолі та газів ще більше підвищує вогнегасну ефективність бінарної суміші аерозолі та газів. Вогнегасні концентрації становлять для аерозолі – 3,5 г/м³ та СО₂ – 2,8 %. Для бінарної суміші аерозолі та азоту ці співвідношення становлять для аерозолі до 4,1 г/м³ та N₂ до 5,2 % при тиску ударної хвилі у всіх випадках в 240 Па. Значне підвищення вогнегасної ефективності можна пояснити синергізмом між компонентами комбінованих вогнегасних систем на основі ударних хвиль. Встановлено, що зазначений спосіб гасіння забезпечуватиме зменшення викиду СО₂ в 5 разів порівняно з індивідуальною вогнегасною концентрацією, та у комплексі з вогнегасними аерозолями до 10 разів. Щодо часу гасіння пожежі, то він зменшується до декількох секунд з моменту подачі серій ударних хвиль та вогнегасних речовин, що забезпечить значне обмеження викидів в атмосферу продуктів горіння та побічних продуктів, які утворились б в процесі горіння та взаємодії з вогнегасними речовинами.

У п'ятому розділі На основі отриманих експериментальних залежностей та особливостей гасіння комбінованими системами на основі генераторів ударних хвиль розроблені пристрої комбінованого гасіння, які забезпечують реалізацію використання комбінованого способу гасіння. При цьому генератори ударних хвиль можуть бути як у складі пристрою, так і встановлюватись окремо та використовуватись разом з окремо розташованими генераторами ударних хвиль. Запропоновано технічні рішення конструкцій генератора вогнегасного аерозолі, та пристроїв комбінованого гасіння, які забезпечують одночасне подавання в захищений об'єм вогнегасного аерозолі, газових вогнегасних речовин та ударних хвиль. На

зазначені пристрої та способи отримано 2 патенти України на винахід та 2 патенти на корисну модель. На генератори вогнегасного аерозолю та автономну систему гасіння було розроблено технічні умови, проведено сертифікаційні випробування та отримано сертифікати відповідності. Проведені полігонні випробування, які показали прогнозовано високу вогнегасну ефективність генераторів вогнегасного аерозолю та пристроїв комбінованого гасіння. На зазначені способи та пристрої отримано протоколи випробувань, в яких зазначено, що вогнегасна ефективність розроблених способів та пристроїв відповідає заявленим показникам. При цьому вогнегасна концентрація вогнегасних компонентів при комбінованій дії в великогабаритних приміщеннях зменшується до 3 разів, що стосується вогнегасного аерозолю, та для газових вогнегасних речовин (CO_2 , N_2) до 6 разів порівняно з їх індивідуальними значеннями при дії на середовище серій ударних ударних хвиль потужністю до 2500 Па та частотою близько 10 Гц.

У шостому розділі Розроблено проект технічних умов на дослідну партію на виготовлення «Генераторів вогнегасного аерозолю», та «Пристроїв комбінованого гасіння», які відповідають сучасним експлуатаційним вимогам. З врахуванням результатів полігонних випробувань визначено умови застосування розроблених пристроїв гасіння пожежі на основі об'ємних вогнегасних речовин та ударних хвиль. Наведено техніко-економічне обґрунтування виробництва генераторів підвищеної ефективності. Встановлено, що вартість захисту одиниці об'єму є конкурентною у порівнянні з існуючими пристроями, системами та засобами пожежогасіння. Відповідно вартість одиниці об'єму становить для ГВА від 65грн/м³, для систем комбінованого гасіння аерозоль з ударними хвилями та комбінованих пристроїв на основі вогнегасного аерозолю та ударних хвиль – від 75грн/м³ та для систем комбінованого аерозольно-газового ударного гасіння від 208,33 грн/м³.

Ключові слова: екологічна безпека, пожежна безпека, вогнегасний аерозоль, діоксид вуглецю, азот, синергізм, нові технології гасіння, ударні хвилі, системи комбінованого гасіння, бінарні системи, довкілля, вогнегасна концентрація, генератори вогнегасного аерозолю, автономні системи аерозольного гасіння.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Журбинський Д.А., Баланюк В.М., Нуянзін В.М., Куліца О.С. Гасіння газових горючих середовищ сумішами вогнегасних аерозолів та газових вогнегасних речовин : монографія. Черкаси : ЧПБ ім. Героїв Чорнобиля НУЦЗ України, 2015. 120 с.

У виданнях, які входять в науково-метричну базу «Scopus».

2. Баланюк В.М. Определение эффективности тушения огнетушащими аэрозолями горючих жидкостей на открытом пространстве. Восточно-Европейский журнал передовых технологий. Техн. науки. Харьков, 2015 №5/10 (77). С–4-11. DOI: 10.15587/1729-4061.2015.51399.

3. Balanyuk V. M., Kozyar N. M., Garasymuyk O. I. Study of fire-extinguishing efficiency of environmentally friendly binary aerosol-nitrogen mixtures. Eastern-european journal of enterprise technologies. Technical science. Kharkiv, 2016. №3/10 (71). С. 4-12.

4. Balanyuk V. M., Kovalyshyn V.V., Kozyar N.M. Effect of ecologically safe gas-aerosol mixtures on the velocity of explosive combustion of n-heptane. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. Technical science. Kharkiv, 2017 No4/10 (88). P. 12-18.

У виданнях, які входять в іноземні фахові видання та науково-метричні бази IndexCopernicus, CrossRef, PИИЦ, WorldCat, Ulrich's Periodicals Directory, BASE, ResearchBib, Directory Indexing of International Research та інші.

5. Balanyuk V.M., Zhurbinskiy D.A. Phlegmatisation of flammable gas mixtures by aerosol sprays. (Флегматизация газоаэрозольной смесью горючих систем).

BiTP. Technical science. Kyiv, 2013. Vol. 32, No Issue 4. PP. 53-58
DOI:10.12845/bitp.32.4.2013.6.

6. Гарасим'юк О.І., Баланюк В.М., Козяр Н.М. Застосування газо-аерозольно-порошкових вогнегасних сумішей для захисту від запалювальних сумішей. *ScienceRise. Техн. науки.* Харків, 2016. Vol. 5, № 2 С.10-14.

7. Гарасим'юк О.И., Баланюк В.М., Пастухов П.В. Некоторые аспекты повышения эффективности аэрозольно-порошкового пожаротушения. *Вестник Кокшетауского технического института. Технические науки.* Кокшетауск, 2016. № 2 (22). С. 39-49.

8. Balanyuk V.M. Extinguishment of n-heptane diffusion flames with the shock wave. *BiTP. Technical science.* Poland, 2016. Vol. 42, No 2. P. 103-111.

9. Balanyuk V.M. Improving the efficiency of gas fire extinguishing shock wave. *BiTP. Technical science.* Poland, 2016. Vol. 43, No 3. P. 81-95.

10. Balanyuk V.M. Specific Nature of Phlegmatizing Air-Heptan Mixture using aerosol and Nitrogen Binary Mixture. *BiTP. Technical science.* Poland, 2016. Vol. 44, No 4. P. 139-149. DOI:10.12845/bitp.44.4.2016.11.

11. Balanyuk V.M.. The Increase of Fire Extinguishing Efficiency of Gas-Aerosol Binary Mixture Using Shock Waves. *BiTP. Technical science.* Poland, 2017. Vol. 46, No 2. PP. 72–86, doi: 10.12845/

12. Баланюк В.М., Ковалишин В.В., Козяр Н.М. Запобігання займання газових сумішей н-гептану комбінованими системами ударних хвиль та об'ємних вогнегасних речовин. *ScienceRise. Техн. науки.* Харків, 2017. № 11(40). С.21-24.

У наукових фахових виданнях:

13. Баланюк В.М., Лавренюк О.І., Гарасим'юк О.І., Голоцько О.Я. Особливості гасіння твердих та рідких горючих речовин вогнегасним аерозолем на основі солей калію. *Пожжежна безпека: Зб. наук. праць. Технічні науки.* Львів, 2008. №12. С. 60-64.

14. Баланюк В.М., Копистинський Ю.О., Лавренюк О.І., Журбинський Д.А. Перебіг окремих внутрішніх процесів у вогнегасних аерозолях під час гасіння дифузійного полум'я. *Науковий вісник УкрНДІПБ. Технічні науки*. Київ, 2008. №1 (17). С. 155-159.
15. Баланюк В.М. Залежність вогнегасної ефективності аерозолі на основі солей калію від значень концентраційних меж поширення полум'я. *Пожжежна безпека. Технічні науки*. Львів, 2009. №14. С. 122-126.
16. Баланюк В.М. Явища та процеси, що виникають під дією звукової хвилі в аерозолі. *Пожжежна безпека. Технічні науки*. Львів, 2010. №16. С. 129 -136.
17. Баланюк В.М., Лавренюк О.І., Копистинський Ю.О. Вплив звукових ударних хвиль на дисперсні системи. *Зб. наук. праць «Пожжежна безпека». Технічні науки*. Львів, 2010. №17. С.180-183.
18. Цапко О.Ю., Цапко Ю.В., Баланюк В.М. Визначення вогнегасної та флегматизувальної здатності вогнегасних озонеруйнівних газових речовин. *Зб. наук. праць «Пожжежна безпека». Технічні науки*. Львів, 2010. №19. С.159-163.
19. Баланюк В.М. Явища та процеси, що виникають під дією звукової хвилі в аерозолі. *Пожжежна безпека: Зб. наук. праць. Технічні науки*. Львів, 2010. №16. С. 129-136.
20. Копистинський Ю.О. Лавренюк О.І. Взаємодія полум'я і вогнегасного аерозолі речовини під впливом ударної хвилі. *Пожжежна безпека: зб. наук. праць. Технічні науки*. Львів, 2011. №18. С.71-75.
21. Баланюк В.М., Копистинський Ю. О., Лавренюк О.І. Визначення ефективності гасіння вогнегасною аерозольною речовиною в умовах застосування газових ударних хвиль. *Пожжежна безпека: зб. наук. праць. Технічні науки*. Львів, 2012. №21. С.23-28.
22. Баланюк В.М., к.т.н., доц., Копистинський Ю.О., к.т.н., Бойко Т.Б., к.т.н., Журбинський Д.А. Використання ударних хвиль при гасінні дифузійного полум'я вогнегасними аерозолями. *Пожжежна безпека: теорія і практика. Технічні науки*. Львів, 2014. №18. 32-37.

23. Журбинський Д.А., Баланюк В.М., Лин А.С. Вплив виду аерозольотворювальних сполук на основі солей калію та добавок інертних газів на флегматизувальну ефективність аерозолі. *Пожежна безпека. Технічні науки*. Львів, 2013. №21. С 19-23.
24. Баланюк В.М., Гарасимюк О.І., Пастухов П.В. Визначення вогнегасної ефективності деяких аерозольотворювальних сполук . *Пожежна безпека. Технічні науки*. Львів, 2013. №23. С. 14-19.
25. Баланюк В.М., Журбинський Д.А. Флегматизувальна ефективність аерозолі на основі солей калію. *Збірник наукових праць: Пожежна безпека: теорія і практика. Технічні науки*. Черкаси, 2013. №13. С.32-37.
26. Баланюк В.М., Мельник К. В., Копистинський Ю.О., Гарасим'юк О.І. Полуменевогасні добавки до аерозольотворювальних сумішей для придушення полум'я. *Пожежна безпека. Технічні науки*. Львів, 2014. №24.С. 124-128.
27. Баланюк В.М. Способи та умови гасіння та флегматизування горючих середовищ газовими вогнегасними речовинами. *Вісник ЛДУ БЖД. Технічні науки*. Львів, 2014. №10. С. 173-178.
28. Баланюк В.М., Гарасим'юк О.І. Комбіноване аерозольно-порошкове пожежогасіння. *Пожежна безпека : зб. наук. пр. Техн. науки*. Львів, 2015. – №26. С. 7-12.
29. В.М. Баланюк, А.Т. Лозинський, Гарасим'юк О.І. Визначення вогнегасної ефективності аерозольотворювальних сумішей з добавкою амоній гідроген фосфату. *Пожежна безпека. Технічні науки*. Львів, 2015. №27. С. 6-11.
30. Баланюк В.М., Козяр Н.М., Гарасим'юк О.І., Лозинський А.Т. Вплив добавок CO_2 на вогнегасну ефективність бінарної аерозольно-газової суміші. *Пожежна безпека : зб. наук. пр. Технічні науки*. Львів, 2016. №28. С. 6-12.
31. Баланюк В.М. Пожежогасіння серіями ударних хвиль. *Збірник наукових праць. Проблеми пожежної безпеки. Техн. науки*. Харків, 2016. Вип. 40, С. 26-34.

32. Баланюк В.М. Комбіновані вогнегасні системи на основі ударної хвилі та газової об'ємної вогнегасної речовини. *Пожежна безпека. Технічні науки*. Львів, 2016. №29. С. 7-12.

33. Баланюк В.М. Вогнегасна ефективність та флегматизувальна дія поєднання вогнегасного аерозолі, газової вогнегасної речовини і ударних хвиль. *Пожежна безпека. Технічні науки*. Львів, 2016. №29. С. 6-12.

Особистий внесок здобувача у роботах, які опубліковані у співавторстві:

[1, 3] – сформулював ідею, предмет та методики досліджень вогнегасних аерозолів та комбінованих газоаерозольних систем, узагальнив результати досліджень та сформулював висновки;

[4-7] – сформулював об'єкт, предмет та методики досліджень, особисто провів експериментальні дослідження з визначення вогнегасних концентрацій вогнегасних аерозолів та їх сумішей з газовими вогнегасними речовинами, узагальнив результати експериментальних досліджень, взяв участь у формулюванні висновків;

[12-14] – сформулював ідею, проблему та методику досліджень, узагальнив результати досліджень, сформулював висновки.

[17, 19, 21] – сформулював ідею, об'єкт, предмет, мету та методики проведення досліджень, здійснив загальне наукове і методичне керівництво, узагальнив результати досліджень, взяв участь у формулюванні висновків;

[18] – узагальнив результати досліджень, взяв участь у формулюванні висновків.

[22] – сформулював ідею, визначив об'єкт, предмет і мету проведення досліджень з визначення флегматизувальної властивості аерозолів, узагальнив результати експериментальних досліджень, сформулював висновки;

[23 – 30] – сформулював ідею, здійснив наукове керівництво, обґрунтував мету, об'єкт, предмет досліджень з визначення впливу добавок CO₂ на вогнегасну

ефективність бінарної аерозольно-газової суміші, узагальнив результати, сформулював висновки;

Опубліковано в інших виданнях:

34. Лавренюк О.І., Баланюк В.М. Матеріальний та тепловий баланс процесу горіння. Методичні вказівки та завдання для виконання розрахункової роботи курсантами та студентами напрямів підготовки 6.170203 “Пожежна безпека”, 6.170201 “Цивільний захист”. – Львів: ЛДУ БЖД, 2012 р. – 18 с.

35. Лавренюк О.І., Баланюк В.М. Теорія розвитку та припинення горіння. Збірник вправ і задач. Частина I. Навчальний посібник. – Львів: ВОНДРВР ЛДУ БЖД, 2013. – 132 с.

36. Баланюк В.М., Квашук В.П. Юрим М.Ф., Степова К.В., Ференц Н.О., Петрова М.А., та інш., Під загальною редакцією Балогі В.І., Довідник рятувальника на випадок виникнення надзвичайних ситуацій з небезпечними хімічними речовинами. Довідник. – Львів. ЛДУБЖД, 2012. –2012. –700 с.

37. Визначення кольору дифузійно-го полум'я та температури горіння органічних речовин. Методичні вказівки та завдання для виконання розрахункової роботи курсантами та студентами напрямів підготовки 6.170203 “Пожежна безпека”, 6.170201 “Цивільний захист”. – Львів: ЛДУ БЖД, 2012 р. – 16 с.

38. Лавренюк О.І., Баланюк В.М., Михалічко Б.М. Теорія горіння та вибуху. Навчальний посібник. – Львів: ВОНДРВР ЛДУ БЖД, 2014. – 130 с.

39. Баланюк В.М. Михалічко Б.М. Щербина О.М. Термінологічний словник Львів: ЛДУ БЖД. 2010.

Патенти та авторські свідоцтва:

40. Аерозольний генератор з акустично-ударною активацією аерозолі: пат. 67867 Україна: МПК А62С 35/00. № 201109276; заявл. 25.07.2011; опубл. 12.03.2012, Бюл. № 5. 4 с.

41. Автономна установка аерозольного пожежогасіння : пат 107100 Україна: МПК А62С 35/00, А62С 37/00. №201510409; заявл. 25.05.2016; опубл. 25.05.2016, бюл. № 10. 4 с.
42. Спосіб комбінованого гасіння пожежі вогнегасним аерозолем, газовою вогнегасною речовиною і ударними хвилями та пристрій для його здійснення: пат. 115080 Україна: МПК: А62С 3/06, А62С 35/00, А62С 37/00, А62С 13/22, А62С 3/16. а62с 35/00. №201506267; заявл. 26.12.2016; опубл. 11.09.2017, бюл. № 17. 6 с.
43. Аерозольний вогнегасник (варіанти): пат. 115578 Україна. МПК: а62с 13/00, А62С 35/02 № 201507130; заявл. 16.07.2015; опубл. 27.11.2017, бюл. № 22. 14 с.

Annotation content

The dissertation is devoted to the solution of the actual scientific problem - to reduce the negative impact of fire effects on the environment by combined usage of extinguishing substances, as well as shock waves to stop combustion of gas combustible media.

In the introduction it is substantiated the relevance of the topic of dissertation work and the importance of reducing the negative impact fire effects on the environment through the combined usage of extinguishing substances, as well as shock waves to stop combustion of gas combustible media. The idea, purpose and defined task of research were formulated, the scientific novelty of work and the practical value of the obtained results are reflected. Information was provided on the approbation and publication of the main results of the study.

The first section presents the results of the analysis of the world and national statistics of fires and their negative consequences and the impact of their dangerous factors on the environment and human life, also it is formulated the methodology of conducting dissertation research. According to the State Emergency Service of Ukraine, in Ukraine the number of fires each year is increasing and reaching more than 70 thousand fires, in particular, over the past three years their number has

increased by 18 thousand fires. A significant proportion of large-scale fires and deaths are attributed to industrial facilities with the storage and rotation of flammable liquids and gases in large quantities. Existing extinguishers have been analyzed and their advantages and disadvantages are established. It is substantiated that fires that arise at industrial facilities with a significant fire load is not possible to put out quickly, and the quenching of most of the fire occurs at a time when the fire developed and caused significant material damage, which leads to the stop of the production process in 95% cases, as well as significant emissions in the environment of combustion products, and in the case of prolonged extinguishing, and fire extinguishing means - gases, foaming agents, powders, and others. The fire extinguishing factors of fire extinguishing influence are shown. It is compared the extinguishing concentrations of extinguishers of volumetric activity, it has been established that extinguishing aerosols possess high fire-extinguishing efficiency, simplicity of manufacture, long-term preservation of ecological purity and high reliability, which allows us to conclude that they can be further improved and create highly effective combined systems on their basis warning and extinguishing of gas combustible environments of quick action. . As a result, on the basis of the review, identified deficiencies and advantages, the ecological danger of fire extinguishers was established, as well as the degree of their hazard for the atmosphere, soils, water resources, groundwater.

In the second section An analysis of existing methods and installations for determining the fire-extinguishing efficiency of fire extinguishers of volumetric activity is carried out. It has been established that in order to determine the fire-extinguishing efficiency of an aerosol, it is necessary to determine the change of temperature during its introduction into the combustion zone directly with the gas flow.

In the third section An analysis of existing methods and installations for determining the fire-extinguishing efficiency of extinguishing agents of volumetric action is carried out. It has been established that in order to determine the fire-

extinguishing efficiency of an aerosol, it is necessary to determine the change of temperature during its giving into the combustion zone directly with the gas flow. Experimental method and installation "Camera" for the determination of fire extinguishing efficiency of aerosol and binary aerosol - gas mixtures was developed, in which two types of flame - diffusion and kinetic - were used for investigation of extinguishing efficiency of binary aerosol-nitrogen mixture. The experimental method and installation for determining the extinguishing efficiency of single and shock waves series was developed, in which the diffusion flame of n-heptane was used to investigate their fire-extinguishing efficiency. To measure the pressure, the BOSH pressure sensor BMP-180 was used. In this case, the Nikon 1J4 camera, capable of shooting at 1200 frames per second, was used for video recording. To obtain results from the sensor for the Arduino UNO controller, a program for displaying sensor data in the CoolTerm._0.stk interface was used. The method of determining the extinguishing efficiency of combined extinguishing by shock waves and a volume extinguishing agent for diffusion flame of n-heptane C_7H_{16} has been developed. To do this, aerosol forming compound is selected based on iodotol and potassium nitrate. The method of determination of fire extinguishing efficiency of combined extinguishing by shock waves and gas extinguishing agent of diffusion flame of n-heptane, where chemically pure CO_2 and N_2 were used as gas extinguishants, was developed.

In the fourth section the fire-extinguishing efficiency of the binary aerosol-carbonic mixture (hereinafter - BACM) is determined and it is established that the addition of CO_2 to the aerosol of inorganic potassium salts leads to a significant increase in its extinguishing efficiency due to the synergism between its components. The result of the addition of nitrogen to aerosol was the reduction of extinguishing concentration of binary mixture components to 30%. It has been determined that the optimal proportions of components in the aerosol-nitrogen mixture are: aerosol - 10 g/m³, nitrogen - 12.1%, aerosol - carbon dioxide, aerosol - 10 g/m³, CO_2 - 6%, in which the mixture is extinguishing, for the diffusion flame of n-heptane and ensures

the preservation of liveable oxygen concentration. It is established that the quenching of the diffusion flame of n-heptane does not occur due to its separation, but because of its reduction in size and pulsation at frequencies of 24-35 Hz. It was found that the giving of kinetic flame of n-heptane in a binary aerosol-nitrogen mixture at concentrations that are significantly superior to the extinguishers for the diffusion flame of n-heptane did not lead to quenching. The intensity and significant decrease of the temperature of the diffusion and kinetic flame during its presence in the binary aerosol - nitrogen mixture are determined. The temperature difference between the initial temperature value and the action of the binary aerosol-nitrogen mixture is max. 230 °C. The decrease in temperature happens due to the fact that the addition of a binary aerosol-nitrogen mixture is likely to reduce the heat of the reaction of combustion and, as a consequence, reduce the temperature of the flame. It has been determined that binary mixtures of extinguishing aerosol and dilute gases provide a reduction of CO₂ emissions to the atmosphere up to 3 times as compared with its individual extinguishing concentrations. It is determined that the binary fire extinguishing aerosol from CO₂, N₂ are safe for a person. It has been established the optimal fire extinguishing concentrations of aerosol in a mixture with CO₂ or N₂, which have lower concentrations, due to the synergy of the components. The mathematical planning of experimental studies was carried out to determine the duration of the fire suppression time by the shock wave method. It is fulfilled the coding of the factors of the experiment plan-matrix. The randomization of experiments was carried out and the experimental plan was implemented. In this case, the value of the pressure of the shock wave by using a fire extinguishing system based on CO₂ gas is determined by the dependence, which for the CO₂ has the form

$$P = \frac{1,59q^{3,56} \tilde{A}^{0,29}}{A^{1,62}}, \text{ Pa.}$$

When conducting an experiment on the basis of N₂, the value of shock wave pressure

$$P = \frac{5,41q^{3,17} \tilde{A}^{0,44}}{A^{1,62}}$$

with the use of N₂-based extinguishing system is of the form,

Pa.

It has been experimentally determined that the impact on the flame of n-heptane, a shock wave with a pressure at the front of about 215 Pa in a chamber at a distance of up to 2 meters, will lead to its attenuation due to separation and fragmentation. The moments that confirmed the extinguishing effect of the shock wave as well as the transition states of instability were recorded on videos with a frequency of 1200 frames per second, from which the storyboard was obtained at the appropriate stages of the flame instability moments at different pressures and shock wave frequency frequencies for the heat flame power from 4 kW/m² to 18 kW/m². Also, for single shock waves, the extinction time is determined and depends on the shock wave power and is approximately 100-200 ms to complete flame decay. It has been experimentally established that the fire-extinguishing performance of a series of shock waves with a frequency of about 8-12 Hz increases from about 20% in comparison with the extinguishing efficiency of single shock waves. According to the results of the storytelling, it was found that under the pressure of a single shock wave in a series of 3 shock waves with their frequency of formation of 8-12 Hz around 200 Pa, the fragmentation of the flame directly above the burning surface is almost without flame separation, after which, as a result of passing the next shock wave extinguishing occurs due to further fragmentation of the flame. It was established that at the power of a shock wave in 180 Pa, the extinguishing concentration for CO₂ is reduced up to 2.5 times and up to 2 times for N₂ by extinguishing the diffusion flame of n-heptane. It is confirmed that the general result of the shock wave and extinguishing gas will be a significant reduction in the quenching time of the diffusion flame of n-heptane, which in the case of CO₂ decreases to 7 times, and for N₂ - up to 4.2 times, when compared with the time of extinction by the shock wave itself, the firing time of which is about 350 milliseconds. It has been experimentally

established that the combined use of triple shock waves with a frequency of 8-12 Hz and volumetric extinguishants results in a decrease in the power of shock waves to 1.25-1.5 times and the extinguishing concentration of gas extinguishants. In this case, the extinguishing CO₂ concentration is reduced to 7 times, and nitrogen is up to 4.5 times, and accordingly, at a pressure of shock waves in 170 Pa 4.8% CO₂ and 10.2% N₂ at a thermal power of flame of 4 kW/m². It has been experimentally established that the combined use of extinguishing aerosol and single shock waves with a pressure of 240 Pa results in a decrease in the extinguishing concentration of aerosol under experimental chamber conditions up to 2-3.5 times. It is confirmed that the overall result of the shock wave and extinguishing aerosol will be the reduction of the quenching time of the diffusion flame of n-heptane to 4.2 times, comparing with the time of extinction by the shock wave itself. In the case of a combined application of a series of shock waves and an extinguishing aerosol, the shock wave power is reduced to 240 Pa and the fire extinguishing concentration of the aerosol is reduced to 2 times. It has been experimentally determined that the combined use of a fire extinguishing aerosol, extinguishing gas substance and single shock waves with a pressure of 240 Pa results in a reduction of fire extinguishing concentrations for an extinguishing aerosol up to 4.8 g/m³ and 5.8 CO₂, or for a fire extinguishing aerosol to 6.5 g/m³ and 8.2 N₂, which is significantly lower than their individual values, probably due to the synergy between their components. It has been established that the action of a series of shock waves with a pressure of 240 Pa for a binary mixture of extinguishing aerosol and gases leads to an even greater increase in the fire-extinguishing efficiency of the binary mixture of aerosol and gases. Extinguishing concentrations are for aerosol - 3.5 g/m³ and CO₂ - 2.8%. For a binary mixture of aerosol and nitrogen, these ratios are for aerosol to 4.1 g / m³ and N₂ to 5.2% at shock pressure in all cases at 240 Pa. Significant increase in fire-extinguishing efficiency can be explained by the synergy between components of combined extinguishing systems based on shock waves. It has been established that the specified method of extinguishing will provide reduction of CO₂ emissions up to 5 times in comparison

with the individual extinguishing concentration, and in combination with extinguishing aerosols up to 10 times. Regarding the fire extinguishing time, it decreases to several seconds from the moment when the series of shock waves and extinguishants are supplied, which will significantly limit the emissions of combustion products and by-products that are formed during the combustion and interaction with extinguishing agents.

In the fifth section Based on the experimental dependences and features of extinguishing by combined systems on the basis of shock wave generators, combined extinguishing devices have been developed, which ensure implementation of the use of the combined extinguishing method. In this case, shock wave generators can be included in the device and installed separately and used together with separate standing shock wave generators. The technical solutions of constructions of the fire extinguisher aerosol generator and combined extinguishing devices are provided, which provide simultaneous feeding in the protected volume, extinguishing aerosol, gas extinguishing substances and shock waves. On the indicated devices and methods received 2 patents of Ukraine invention and 2 patents for utility model. Specifications have been developed for fire extinguishing aerosol generators and autonomous extinguishing system, certification tests have been carried out and conformity certificates have been obtained. Polygon tests have been carried out, which showed a predicted high extinguishing efficiency of generators of extinguishing aerosol and combined extinguishing devices. In these methods and devices test protocols have been obtained, in which it is stated that the extinguishing efficiency of the developed methods and devices corresponds to the declared parameters. At the same time, the extinguishing concentration of fire extinguishing components with combined action in large-sized premises is reduced up to 3 times for fire extinguishers and for gas extinguishing substances (CO₂, N₂) up to 6 times in comparison with their individual values under the influence on the environment of series of shock waves with the capacity up to 2500 Pa and a frequency of about 8-12 Hz.

In the sixth section, a draft design specification for the experimental batch for the production of "Fire Extinguishing Generators" and "Combined Extinguishing Devices" was developed that meet the current operational requirements. Taking into account the results of field tests, the conditions of use of developed fire-fighting devices on the basis of bulk extinguishers and shock waves have been determined. The feasibility study of the production of high efficiency generators is presented. It has been established that the cost per unit volume protection is competitive compared to existing devices, systems and fire extinguishing agents. Accordingly, the cost per unit is the following: for the fire extinguishing aerosol generator from 65 g/m³, for combined extinguishing systems (FEA-60G + GSW-334, FEA-60V + GSW-334) on the basis of extinguishing aerosol and shock waves - from 75 g/m³. For the combined extinguishing device 2-60 Shock extinguishing and CED 2-60 shock vertical from 92 UAH/m³. And for the combined extinguishing systems CED 3-60 shock binary combined extinguishing BKG, CED 3-60 shock binary combined carbon dioxide extinguishing from 208.33 UAH/m³.

Keywords: ecological safety, fire safety, fire extinguishing aerosol, carbon dioxide, nitrogen, synergism, new extinguishing technologies, shock waves, combined extinguishing systems, binary systems, environment, fire extinguishing concentration, fire extinguishing aerosol generators, autonomous systems of aerosol extinguishing.

1. Zhurbinskiy D.A., Balanyuk V.M., NuyanzIn V.M., KulItsa O.S. GasInnya gazovih goryuchih seredovisch sumIshami vognegasnih aerazolIv ta gazovih vognegasnih rechovin : monografIya. Cherkasi : ChIPB Im. GeroYiv Chornobilya NUTsZ UkraYini, 2015. 120 s.

U vidannyah, yakI vbodyat v naukovo-metricnu bazu «Scopus».

2 . Balanyuk V.M. Opredelenie effektivnosti tusheniya ogetushaschimi aerozolyami goryuchih zhidkostey na otkrytom prostranstve. Vostochno-Evropeyskiy zhurnal

peredoviyh tehnologiy. Tehn. nauki. Harkov, 2015 No5/10 (77). S–4-11. DOI: 10.15587/1729-4061.2015.51399.

3. Balanyuk V. M., Kozyar N. M., Garasymuyk O. I. Study of fire–extinguishing efficiency of environmentally friendly binary aerosol-nitrogen mixtures. Eastern-european journal of enterprise technologies. Technical science. Kharkiv, 2016. No3/10 (71). C. 4-12.

4. Balanyuk V. M., Kovalyshyn V.V., Kozyar N.M. Effect of ecologically safe gas-aerosol mixtures on the velocity of explosive combustion of n-heptane. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. Technical science. Kharkiv, 2017 No4/10 (88). P. 12-18.

U vidannyah, yakI v hodyat v Inozemni fahovi vidannya ta naukovo-metrichni bazi IndexCopernicus, CrossRef, RINTs, WorldCat, Ulrich's Periodicals Directory, BASE, ResearchBib, Directory Indexing of International Research ta Insh.

5. Balanyuk V.M., Zhurbinskiy D.A. Phlegmatisation of flammable gas mixtures by aerosol sprays. (Flegmatizatsiya gazo-aerolnoy smesy goryuchih sistem). BiTP. Technical science. Kyiv, 2013. Vol. 32, No Issue 4. PP. 53-58 DOI:10.12845/bitp.32.4.2013.6.

6. Garasim'yuk O.I., Balanyuk V.M., Kozyar N.M. Zastosuvannya gazo-aerolno-poroshkovih vognegasnih sumishey dlya zahistu vId zapalyuvalnih sumishey. ScienceRise. Tehn. nauki. Harkiv, 2016. Vol. 5, No 2 S.10-14.

7. Garasyimyuk O.I., Balanyuk V.M., Pastuhov P.V. Nekotoryie aspektyi povyisheniya effektivnosti aerolno-poroshkovogo pozharotusheniya. Vestnik Kokshetauskogo tehniicheskogo instituta. Tehniicheskije nauki. Kokshetausk, 2016. No 2 (22). S. 39-49.

8. Balanyuk V.M. Extinguishment of n-heptane diffusion flames with the shock wave. BiTP. Technical science. Kyiv, 2016. Vol. 42, No 2. R. 103-111.

9. Balanyuk V.M. Improving the efficiency of gas fire extinguishing shock wave. BiTP. Technical science. Kyiv, 2016. Vol. 43, No 3. R. 81-95.

10. Balanyuk V.M. Specific Nature of Phlegmatizing Air-Heptan Mixture using aerosol and Nitrogen Binary Mixture. *BiTP. Technical science*. Kyiv, 2016. Vol. 44, No 4. R. 139-149. DOI:10.12845/bitp.44.4.2016.11.
11. Balanyuk V.M.. The Increase of Fire Extinguishing Efficiency of Gas-Aerosol Binary Mixture Using Shock Waves. *BiTP. Technical science*. Kyiv, 2017. Vol. 46, No 2. PP. 72–86, doi: 10.12845/
12. Balanyuk V.M., Kovalishin V.V., Kozyar N.M. Zapobigannya zaymannya gazovih sumishey n-heptanu kombinovanimi sistemami udarnih hvil ta ob'emnih vognegasnih rechovin. *ScienceRise. Tehn. nauki*. Harkiv, 2017. No 11(40). S.21-24.
U naukovih fahovih vidannyah:
13. Balanyuk V.M., Lavrenyuk O.I., Garasim'yuk O.I., Golonko O.Ya. Osoblivosti gasinnya tverdih ta riddkih goryuchih rechovin vognegasnim aerezolem na osnovi soley kallyu. *Pozhezhna bezpeka: Zb. nauk. prats. Tehnichni nauki*. Lviv, 2008. No12. S. 60-64.
14. Balanyuk V.M., Kopistinskiy Yu.O., Lavrenyuk O.I., Zhurbinskiy D.A. Perebig okremih vnutrishnih protsesiv u vognegasnih aerezolyah pid chas gasinnya difuzijnogo polum'ya. *Naukoviy visnik UkrNDIPB. Tehnichni nauki*. Kyiv, 2008. No1 (17). S. 155-159.
15. Balanyuk V.M. Zalezhnist vognegasnoyi effektivnosti aerezolyu na osnovi soley kallyu vid znachen kontsentratsijnih mezh poshirennya polum'ya. *Pozhezhna bezpeka. Tehnichni nauki*. Lviv, 2009. No14. S. 122-126.
16. Balanyuk V.M. Yavischa ta protsesi, scho vinikayut pid dieyu zvukovo yi hviliv v aerezoli. *Pozhezhna bezpeka. Tehnichni nauki*. Lviv, 2010. No16. S. 129 -136.
17. Balanyuk V.M., Lavrenyuk O.I., Kopistinskiy Yu.O. Vpliv zvukovih udarnih hvil na dispersni sistemi. *Zb. nauk. prats «Pozhezhna bezpeka»*. *Tehnichni nauki*. Lviv, 2010. No17. S.180-183.
18. Tsapko O.Yu., Tsapko Yu.V., Balanyuk V.M. Vznachennya vognegasnoyi ta flegmatizovalnoyi zdatnosti vognegasnih ozoneruyivnih gazovih rechovin. *Zb. nauk. prats «Pozhezhna bezpeka»*. *Tehnichni nauki*. Lviv, 2010. No19. S.159-163.

19. Tsapko O.Yu., Tsapko Yu.V., Balanyuk V.M. Vyznachennya vognegasnoyi ta flegmatyzovalnoyi zdatnosti vognegasnih ozoneruyivnih gazovih rechovin. Zb. nauk. prats «Pozhezhna bezpeka». Tehnichni nauki. Lviv, 2010. No19. S.159-163.
20. Kopistinskiy Yu.O. Lavrenyuk O.I. Vzaemodiya polum'ya i vognegasnogo aerolyu rechovinii pidi vplivom udarnoii hvili. Pozhezhna bezpeka: zb. nauk. prats. Tehnichni nauki. Lviv, 2011. No18. S.71-75.
21. Balanyuk V.M., Kopistinskiy Yu. O., Lavrenyuk O.I. Vyznachennya effektivnosti gasnnoyi vognegasnoyi aerolyu rechovinoyu v umovah zastosuvannya gazovih udarnih hvil. Pozhezhna bezpeka: zb. nauk. prats. Tehnichni nauki. Lviv, 2012. No21. S.23-28.
22. Balanyuk V.M., k.t.n., dots., Kopistinskiy Yu.O., k.t.n., Boyko T.B., k.t.n., Zhurbinskiy D.A. Viktoristannya udarnih hvil pri gasnii difuzynogo polum'ya vognegasnimi aerolyami. Pozhezhna bezpeka: teoriya i praktika. Tehnichni nauki. Lviv, 2014. No18. 32-37.
23. Zhurbinskiy D.A., Balanyuk V.M., Lin A.S. Vpliv vidu aerolyutvoryvalnih spoluk na osnovi soley kaliyu ta dobavok inertnih gaziv na flegmatyzovalnu effektivnist aerolyu. Pozhezhna bezpeka. Tehnichni nauki. Lviv, 2013. No21. S 19-23.
24. Balanyuk V.M., Garasimyuk O.I., Pastuhov P.V. Vyznachennya vognegasnoyi effektivnosti deyakih aerolyutvoryuyvalnih spoluk . Pozhezhna bezpeka. Tehnichni nauki. Lviv, 2013. No23. S. 14-19.
25. Balanyuk V.M., Zhurbinskiy D.A. Flegmatyzovalna effektivnist aerolyu na osnovi soley kaliyu. Zbirnik naukovih prats: Pozhezhna bezpeka: teoriya i praktika. Tehnichni nauki. Cherkasi, 2013. No13. S.32-37.
26. Balanyuk V.M., Melnik K. V., Kopistinskiy Yu.O., Garasim'yuk O.I. Polumenevogasni dobavki do aerolyutvoryvalnih sumishey dlya pridushennya polum'ya. Pozhezhna bezpeka. Tehnichni nauki. Lviv, 2014. No24.C. 124-128.
27. Balanyuk V.M. Sposobi ta umovi gasnnoyi ta flegmatyzuvannya goryuchih seredovisch gazovimi vognegasnimi rechovinami. Visnik LDU BZhd. Tehnichni nauki. Lviv, 2014. No10. S. 173-178.

28. Balanyuk V.M., Garasim'yuk O.I. Kombinovane aerosolno-poroshkove pozhezhogasInnya. Pozhezhna bezpeka : zb. nauk. pr. Tehn. nauki. LvIv, 2015. – No26. S. 7-12.
29. V.M. Balanyuk, A.T. Lozinskiy, Garasim'yuk O.I. Viznachennya vognegasnoYi effektivnostI aerosolutvoryuvalnih sumIshey z dobavkoyu amonIy gIdrogen fosfatu. Pozhezhna bezpeka. TehnIchnI nauki. LvIv, 2015. No27. S. 6-11.
30. Balanyuk V.M., Kozyar N.M., Garasim'yuk O.I., Lozinskiy A.T. Vpliv dobavok SO₂ na vognegasnu effektivnIst bInarnoYi aerosolno-gazovoYi sumIshI. Pozhezhna bezpeka : zb. nauk. pr. TehnIchnI nauki. LvIv, 2016. No28. C. 6-12.
31. Balanyuk V.M. PozhezhogasInnya serIlyami udarnih hvil. ZbIrnik naukovih prats. Problemi pozhezhnoYi bezpeki. Tehn. nauki. HarkIv, 2016. Vip. 40, S. 26-34.
32. Balanyuk V.M. KombInovanI vognegasnI sistemi na osnovI udarnoYi hvilI ta gazovoYi ob'EmnoYi vognegasnoYi rehovini. Pozhezhna bezpeka. TehnIchnI nauki. LvIv, 2016. No29. S. 7-12.
33. Balanyuk V.M. Vognegasna effektivnIst ta flegmatizuvalna dIya poEdnannya vognegasnogo aerosolyu, gazovoYi vognegasnoYi rehovini I udarnih hvil. Pozhezhna bezpeka. TehnIchnI nauki. LvIv, 2016. No29. S. 6-12.
- Osobistiy vnesok zdobuvacha u robotah, yakI opublIkovanI u spIvavtorstvI:
34. Lavrenyuk O.I., Balanyuk V.M. MaterIalnyi ta teploviy balans protsesu gorInnya. MetodichnI vkaZivki ta zavdannya dlya vikonan-nya rozrahunkovoYi roboti kursantami ta studentami napryamIv pIdgotovki 6.170203 “Pozhezhna bezpeka”, 6.170201 “TsivIlniy zahist”. – LvIv: LDU BZhD, 2012 r. – 18 c.
35. Lavrenyuk O.I., Balanyuk V.M. TeorIya rozvitku ta pripinennya gorInnya. ZbIrnik vprav I zadach. Chastina I. Navchalniy posIbnik. – LvIv: VONDRVR LDU BZhD, 2013. – 132 s.
36. Balanyuk V.M., Kvashuk V.P. Yurim M.F., Stepova K.V., Ferents N.O., Petrova M.A., ta Insh., Pid zagalnoyu redaktsIEyu Balogi V.I., DovIdnik ryatuvalnika na vipado viniknennya nadzvichaynih situatsIy z nebezpechnimi hImIchnimi rehovinami. DovIdnik. – LvIv. LDUBZhD, 2012. –2012. –700 s.

37. Vyznachennya koloru difuziyno-go polum'ya ta temperaturi gorInnya organIchnih rechovin. MetodichnI vkaZivki ta zavdannya dlya vikonan-nya rozrahunkovoYi roboti kursantami ta studentami napryamIv pIdgotovki 6.170203 "Pozhezhna bezpeka", 6.170201 "Tsivilniy zahist". – LvIv: LDU BZhD, 2012 r. – 16 c.

38. Lavrenyuk O.I., Balanyuk V.M., MihalIchko B.M. TeorIya gorInnya ta vibuhu. Navchalniy posIbnik. – LvIv: VONDRVR LDU BZhD, 2014. – 130 s.

39. Balanyuk V.M. MihalIchko B.M. Scherbina O.M. TerminologIchniy slovnik LvIv: LDU BZhD. 2010.

Patenti ta avtorski svIdotstva:

40. Aerozolniy generator z akustichno-udarnoyu aktivatsIEyu aerozolyu No67867. a62c 35/00. Balanyuk Volodimir MIrchovich.

41. Avtonomna ustanovka aerzolnogo pozhezhogasInnya. 107100. a62c 35/00. Balanyuk Volodimir MIrchovich, Garasim'yuk Oleksandr Ivanovich.

42. SposIb kombinovanogo gasInnya pozhezhI vognegasnim aerzolem, gazovoyu vognegasnoyu rechovinoyu I udarnimi hvilyami ta pristrIy dlya yogo zdIysnennya. 115080. a62c 35/00. Balanyuk Volodimir MIrchovich.

43. Aerozolniy vognegasnik (varIanti) No115578. a62c 13/00 Balanyuk Volodimir MIrchovich.

Зміст	
РОЗДІЛ 1. Аналіз статистики пожеж, їх негативного впливу на довкілля та сучасних засобів пожежогасіння	44
1.1 Світова та національна статистика пожеж та їх негативних наслідків	44
1.2 Сучасне трактування процесів припинення горіння	61
1.2.1 Застосування води та водних вогнегасних речовин для пожежогасіння	61
1.2.2 Сучасний стан розроблення і умови застосування вогнегасних порошків та автоматичних систем порошкового пожежогасіння	67
1.2.3. Сучасний стан розроблення і умови застосування газових вогнегасних речовин і систем газового пожежогасіння.	71
1.3. Сучасний стан розроблення систем пожежогасіння на основі вогнегасних речовин об'ємної вогнегасної дії	78
1.3.1. Застосування газових вогнегасних речовин в системах протипожежного захисту об'єктів	86
1.3.2. Аналіз наукової літератури і нормативних документів щодо вогнегасної ефективності газових та аерозольних вогнегасних речовин	90
1.4. Вогнегасна ефективність та екологічна прийнятність аерозольних вогнегасних речовин	101
1.5. Фізико-хімічний вплив вогнегасного аерозолю на дифузійне полум'я	126
РОЗДІЛ 2 Методологія і методи проведення досліджень	131
2.1. Аналіз методик експериментального визначення вогнегасної ефективності суміші вогнегасних речовин	131
2.2. Методика визначення вогнегасної ефективності суміші вогнегасної речовини «Камера»	133
2.3. Методика визначення вогнегасної ефективності комбінованого гасіння ударними хвилями та об'ємною вогнегасною речовиною для дифузійного полум'я n-гептану C ₇ H ₁₆	135
2.4. Методика визначення вогнегасної ефективності комбінованого	138

гасіння ударними хвилями та газовою вогнегасною речовиною дифузійного полум'я n-гептану	
2.5. Методика визначення вогнегасної ефективності комбінованого гасіння ударними хвилями та бінарною сумішшю вогнегасного аерозолю та газової вогнегасної речовини дифузійного полум'я n-гептану	140
2.6. Методологія проведення досліджень	142
Висновки за розділом	144
Розділ 3. Теоретичне обґрунтування застосування ударних хвиль та їх комбінацій з газовими та аерозольними вогнегасними речовинами для припинення горіння	145
3.1. Теоретичні основи гасіння дифузійного полум'я ударними хвилями	146
3.1.1. Вогнегасні чинники ударних хвиль	156
3.1.3 Процес проходження ударної хвилі через газоаерозольне середовище	166
3.2. Механізм комбінованого пожежогасіння ударними хвилями та вогнегасними речовинами об'ємної дії	177
3.3. Підвищення ефективності гасіння бінарних газоаерозольних сумішей ударними хвилями.	184
3.4. Визначення параметрів заряду необхідного для створення ударної хвилі заданої потужності на визначеній відстані	188
Висновки за розділом	195
Розділ 4. Експериментальні дослідження з визначення ефективності припинення горіння ударними хвилями у комбінації з газовими вогнегасними речовинами-розріджувачами та вогнегасними аерозолями	197
4.1. Експериментальні дослідження з визначення вогнегасної здатності бінарних сумішей вогнегасних аерозолів та газових вогнегасних речовин - розріджувачів	197
4.1.1. Визначення ефективності рецептури АУС для гасіння комбінованим способом	197
4.1.2. Особливості впливу бінарних сумішей вогнегасного аерозолю та	199

газів розріджувачів на дифузійне полум'я n-гептану	
4.1.2.1. Вплив добавок CO ₂ на температуру дифузійного n-гептанового полум'я	205
4.1.2.2. Вплив співвідношення аерозолю та азоту на вогнегасну ефективність бінарної аерозольно-азотної суміші при гасінні дифузійного полум'я n-гептану	208
4.1.2.3. Залежність вогнегасної ефективності БААС при гасінні кінетичного полум'я n-гептану, від зміни концентрації N ₂ при сталій концентрації аерозолю 45 г/м ³	209
4.1.2.4. Обговорення результатів дослідження впливу добавок азоту на вогнегасну ефективність та особливості гасіння БААС кінетичного та дифузійного полум'я n-гептану	213
4.1.2.5. Встановлення ефективних рецептур бінарних газоаерозольних сумішей з високою вогнегасною ефективністю	217
4.2. Застосування ударних хвиль для припинення та запобігання горінню газових горючих середовищ	218
4.2.1. Математичне планування експерименту для визначення тривалості часу гасіння пожежі ударними хвилями	218
4.2.1.1. Складання план-матриці експерименту	220
4.2.1.2. Реалізація плану експерименту	221
4.2.1.3 Перевірка адекватності лінійної моделі	224
4.3. Визначення вогнегасної ефективності одинарних ударних хвиль	234
4.4. Визначення вогнегасної ефективності серій ударних хвиль	241
4.5. Визначення вогнегасної ефективності комбінованих систем одинарних ударних хвиль та вогнегасних газів	245
4.6. Визначення вогнегасної ефективності комбінованих систем гасіння серій ударних хвиль та вогнегасних газів	252
4.7. Визначення вогнегасної ефективності комбінованих систем на основі ударних хвиль та бінарних сумішей вогнегасного аерозолю та вогнегасних	256

газів CO ₂ , N ₂	
4.8. Обговорення результатів експериментів з визначення вогнегасної ефективності комбінованої тернарної системи на основі УХ	263
Висновки за розділом	269
Розділ 5. Обґрунтування схемних рішень та розробка технічних засобів, які реалізують технологію пожежогасіння із застосуванням ударних хвиль	273
5.1. Розроблення пристроїв комбінованого гасіння	273
5.1.1. Розроблення пристроїв комбінованого гасіння (ПКГ) на основі об'ємних вогнегасних речовин об'ємної дії та УХ	277
5.1.2. Пристрої комбінованого гасіння вогнегасним аерозолем та ударними хвилями	279
5.1.3. Пристрій комбінованого гасіння бінарною газоаерозольною сумішшю	281
5.1.4. Пристрій комбінованого гасіння та попередження пожежі швидкої дії бінарною газоаерозольною сумішшю та ударних хвиль	583
5.1.5. Розроблення автономної установки аерозольного пожежогасіння для малих об'ємів	289
5.1.6. Пристрій подачі серій електричних імпульсів з заданою частотою. Багр – ПП100 та генератори ударних хвиль	294
5.2. Полігонні випробування ПКГ	296
Висновки за розділом	302
Розділ 6. Впровадження результатів досліджень	304
6.1. Рекомендації з використання та особливості забезпечення умов вогнегасної ефективності ПКГПП та ГВА	304
6.2. Умови ефективного застосування пристроїв комбінованого гасіння вогнегасними речовинами об'ємної дії та ударними хвилями	307
6.3. Техніко-економічне обґрунтування результатів роботи	311
Висновки за розділом	315
Висновки	316

Список використаних джерел	319
Додатки	
Додаток А. Акти впровадження	357
Додаток Б Акти виготовлення	362
Додаток В Протоколи випробувань, сертифікати відповідності	369
Додаток Г Акти впровадження на об'єктах	382
Додаток Д Сертифікат відповідності	387
Додаток Ж Патенти на винахід та корисну модель, технічні умови	390

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Підвищення ефективності гасіння та запобігання пожежам та вибухам є актуальним зважаючи на тенденцію постійного зростання пожежного навантаження та розширення спектра горючих речовин, які є вибухопожежонебезпечними. До сучасних засобів пожежогасіння відносять газові, порошкові, пінні, водяні, аерозольні системи пожежогасіння та флегматизації, але їх ефективність та швидкість дії є недостатньою для забезпечення відповідного рівня екологічної та пожежної безпеки. Використання газоаерозольних сумішей та їх поєднання з ударними хвилями дасть змогу суттєво підвищити вогнегасну ефективність, швидкість гасіння такими засобами та відповідно значно зменшити кількість викидів продуктів горіння та засобів пожежогасіння.

Хотілось би відзначити ряд наукових робіт, які проводились та проводяться науковцями щодо створення й удосконалення систем гасіння об'ємним способом. Це зокрема роботи А.М. Баратова, А.В. Антонова, В.М., Агафонова, М.П. Копилова, В.М. Алікіна, Д.А., Корольченко, В.Д. Захматова, О.М. Тищенко, В.М. Жартовського, В.Г. Коростильова, Рєви Г.В., Куценко Л. М., Гришина А.М., Пермінова В.А., Голованова А.Н., Копистинського Ю.О. В їх роботах основна увага приділяється вирішенню питань гасіння горючих середовищ інертними розріджувачами, інгібіторами, їх сумішами та ударними хвилями, вибору оптимальних рецептур аерозольутворювальних складів для забезпечення ефективного гасіння горючого середовища в приміщенні та на відкритому просторі. Також розглядалися питання удосконалення характеристик вогнегасних речовин об'ємної дії, які забезпечують високу вогнепригнічувальну ефективність та інші позитивні характеристики, в тому числі і екологічну безпеку зазначених засобів. Поряд з цим відсутність експериментальних даних про вогнегасну ефективність різних комбінацій вогнегасних речовин, зокрема бінарних сумішей вогнегасного аерозолю з добавками газів - розріджувачів та про залежність їх мінімальних вогнегасних

концентрацій від їх співвідношень, є перепорою на шляху створення нових поколінь вогнегасних засобів з можливістю ефективного та швидкого гасіння горючих газових середовищ. А питання вогнегасної дії та екологічної безпеки ударних хвиль та їх комбінацій з об'ємними вогнегасними речовинами взагалі не розглядалось та є недослідженим. Вогнегасний вплив ударної хвилі не передбачає використання хімічних засобів пожежогасіння і відповідно можна говорити про екологічно чистий спосіб пожежогасіння з відсутністю або мінімумом вогнегасних засобів

Таким чином, з позиції екологічної прийнятності питання взаємодії та сумісного впливу компонентів газоаерозольної суміші та ударних хвиль на їх вогнегасну ефективність та час гасіння ними є особливо актуальним, оскільки застосування ударних хвиль значно зменшує час гасіння, а при комбінованому застосуванні і кількість вогнегасної речовини (вогнегасні аерозолі, порошки вогнегасні гази їх комбінації). Ударні хвилі можуть гасити пожежу взагалі без хімічних компонентів, що вказує на їх особливу екологічну цінність при гасінні пожеж.

Розкриття особливостей впливу чинників на процеси гасіння у випадку одночасного застосування вогнегасних речовин об'ємної дії разом з ударними хвилями є актуальною науково технічною задачею, розв'язання якої є науковим підґрунтям підвищення вогнегасної ефективності комбінованих систем вогнегасних речовин об'ємної дії та ударних хвиль та підвищення протипожежного захисту об'єктів різного призначення з можливістю виникнення на них пожеж класів А, В, С, Е.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами

Роботу виконано у рамках реалізації «Програми забезпечення пожежної безпеки на період до 2010 року, затвердженої постановою Кабінету Міністрів України від 01.07.2002 року № 870», та Державної цільової соціальної програми забезпечення пожежної безпеки на 2012 – 2015 роки за перспективним планом науково-дослідної роботи Львівського державного університету безпеки

життєдіяльності МНС України за темою: «Підвищення ефективності вогнегасного аерозолю на основі неорганічних солей калію імпульсною акустичною ударною хвилею» (№ ДР 0111 У 008548), в якій здобувач був відповідальним виконавцем, а також науково-дослідної роботи УкрНДЦЗ «Провести дослідження з розкриття особливостей процесів припинення горіння горючих речовин під час застосування сучасних вогнегасних речовин та технологій їх подавання» («Припинення горіння») (№ ДР 0111 У 006565), в якій здобувач був виконавцем.

Ідея роботи полягає у зменшенні негативного впливу на довкілля наслідків пожеж шляхом комбінованого застосування вогнегасних речовин, а також ударних хвиль для припинення горіння газових горючих середовищ.

Мета роботи: розробка наукових основ припинення горіння газових горючих середовищ комбінованою дією вогнегасних речовин, та ударних хвиль з урахуванням впливу чинників на ефективність їх застосування та зменшення негативного впливу небезпечних чинників пожеж на довкілля і життєдіяльність людини. Для досягнення поставленої мети було передбачено вирішення таких задач:

- провести аналіз сучасного стану розробок у сфері застосування комбінованих газоаерозольних вогнегасних речовин, їх екологічної прийнятності для протипожежного захисту об'єктів і технологічних процесів в практиці пожежогасіння, виявити шляхи підвищення їх ефективності;
- розробити методики проведення експериментальних досліджень з виявлення впливу концентрацій вогнегасного аерозолю, газових вогнегасних речовин, їх бінарних сумішей та потужності і частоти впливу ударних хвиль на ефективність процесів припинення горіння горючих середовищ;
- провести аналіз сучасного стану наукових досліджень про розроблення та застосування аерозольних систем пожежогасіння, а також ударних хвиль в практиці пожежогасіння і виявити шляхи підвищення їх ефективності;

- провести експериментальні дослідження з виявлення залежності вогнегасної ефективності від зміни концентрацій аерозолю та газових вогнегасних речовин CO_2 та N_2 в їх бінарних сумішах;
- теоретично обґрунтувати можливість підвищення ефективності систем аерозольного пожежогасіння шляхом комбінованого послідовного застосування вогнегасних засобів об'ємної дії та ударних хвиль;
- розробити методики проведення експериментальних досліджень з виявлення впливу чинників на ефективність процесів припинення горіння у разі застосування вогнегасного аерозолю з послідовною дією серії ударних хвиль;
- провести експериментальні дослідження з виявлення впливу потужності ударних хвиль на вогнегасну концентрацію вогнегасних речовин об'ємної дії;
- обґрунтувати технічні рішення щодо конструкцій генераторів вогнегасного аерозолю та ударних хвиль, пристроїв комбінованого гасіння та запобігання пожежі, які забезпечують одночасне подавання в захищений об'єм вогнегасних речовин об'ємної дії (вогнегасний аерозоль, газова вогнегасна речовина, їх бінарна суміш) та ударних хвиль. Розробити відповідні технічні документи на конструкції генератора вогнегасного аерозолю, пристроїв комбінованого гасіння та запобігання пожежі, виготовити дослідну партію генераторів та пристроїв, провести апробацію в полігонних умовах, а також розробити рекомендації щодо їх застосування для протипожежного захисту об'єктів з можливістю виникнення вибухів та пожеж класів А, В, С, Е.

Об'єкт дослідження – процеси припинення горіння газових горючих середовищ вогнегасними речовинами, ударними хвилями, а також комбінованим їх застосуванням.

Предмет дослідження – вплив чинників на ефективність припинення горіння газових горючих середовищ ударними хвилями, у тому числі за комбінованого їх застосування.

Методи дослідження. У роботі використано комплексний метод досліджень, який включав аналіз і узагальнення даних світової та національної

статистики пожеж, розроблення сучасних технологій та засобів пожежогасіння та виявлення шляхів зменшення їх негативного впливу на довкілля

Вогнегасну концентрацію вогнегасних речовин об'ємної дії, їх бінарних та тернарних сумішей, та їх комбінованих систем з ударними хвилями визначали за розробленими методиками на основі установки «Камера». Полігонні випробування з визначення вогнегасної ефективності пристроїв комбінованого гасіння, які були розроблені за теоретично обґрунтованими та експериментально отриманими параметрами, було проведено за розробленою методикою в приміщенні об'ємом 65 м³ на модельному вогнищі 13 В, де було використано у якості палива суміш дизельного пального та бензину. При цьому було використано метрологічно атестоване обладнання і повірені засоби вимірювання. В роботі використовували методи планування повнофакторного експерименту. Результати теоретичних і експериментальних досліджень обробляли з використанням статистичних методів на основі додатку Microsoft Office Excel із залученням комп'ютерної техніки, при цьому було отримано графіки залежності, згідно з експериментальними даними.

Експериментальне дослідження процесу вибухового горіння, гасіння проводили з застосуванням швидкісної камери Nikon 1j4 з можливістю зйомки 1200 кадрів на секунду, надлишковий тиск визначали з допомогою датчика тиску та температури BOSH «BMP – 180» з часом реакції 7,5 мс, сигнали з датчика оцифровували з допомогою електронного інтерфейсу та комп'ютерної програми для отримання сигналів датчика «BMP – 180». Електричні імпульси струму для підпалювання піротехнічних запалів подавали з допомогою пристрою на базі плати та процесора Arduino для формування електричних імпульсів з частотою від 1 до 100 Гц. Інтенсивність теплового випромінювання полум'я визначали пристроєм ПТП- 1 з автономним живленням. Концентрацію газів визначали мобільним газоаналізатором «Protégé» та газовим хроматографом ХРОМ - 5.

Наукова новизна роботи полягає у створенні наукових основ зменшення впливу на довкілля продуктів горіння завдяки гасінню пожеж на початковій стадії дією ударних хвиль або їх комбінацій з екологічно прийнятними вогнегасними речовинами.

При цьому вперше:

- встановлено, що дія на дифузійне полум'я серій ударних хвиль у діапазоні частот від 10 до 15 Гц, критичний тиск гасіння яких порівняно з одинарною ударною хвилею менший за 30 %, призводить до припинення його горіння, при цьому у всіх випадках відбувається фрагментація полум'я;
- виявлено синергічний ефект інтенсифікації процесу припинення горіння газового горючого середовища внаслідок одночасної дії на нього середовища вогнегасних речовин та ударних хвиль, який проявляється у зменшенні проміжку часу припинення горіння та зменшенні їх вогнегасної концентрації порівняно з їх індивідуальними значеннями. При цьому вогнегасна концентрація аерозолу зменшується до 5 разів, вогнегасна концентрація газових вогнегасних речовин зменшується до 6 разів, а вогнегасна концентрація компонентів бінарних газоаерозольних систем зменшується до 10 разів за одночасної дії на дифузійне гомогенне полум'я ударних хвиль з тиском у фронті від 360 Па до 5 кПа та частотою в діапазоні від 8 до 12 Гц;
- створені способи гасіння, виходячи з результатів роботи, забезпечують припинення горіння газових горючих середовищ без екологічно небезпечних вогнегасних речовин або з їх мінімальним вмістом до 10 разів. Час гасіння пожежі при цьому значно скорочується та приводить до створення умов надійної безпеки життя та діяльності людини, враховуючи критичні ситуації, що можуть виникати під час пожеж;
- обґрунтовано схемні рішення технічних засобів пожежогасіння, які реалізують спосіб припинення горіння шляхом одночасної комбінованої дії на

полум'я фізичних (ударні хвилі з визначеними параметрами) та хімічних (вогнегасні газові речовини, вогнегасні аерозолі та їх бінарні суміші) чинників, які забезпечують виключення або мінімізацію створення екологічно неприйнятних умов під час гасіння пожежі.

Набули подальшого розвитку;

- спосіб нехімічного гасіння пожежі екологічно прийнятними системами на основі ударних хвиль та їх комбінацій з об'ємними вогнегасними речовинами;
- елементи теплової теорії припинення горіння, які дають нові пояснення щодо зменшення температури в зоні горіння внаслідок дії на дифузійне полум'я ударних хвиль, яка відбувається внаслідок раптового зменшення тиску в зоні релаксації ударної хвилі, що приводить до обриву ланцюгових реакцій та потухання полум'я;
- способи припинення горіння технічними засобами пожежогасіння, які реалізують комбінований спосіб припинення горіння шляхом одночасної дії на полум'я екологічно прийнятних фізичних та хімічних чинників;
- уявлення щодо підвищеної вогнегасної ефективності комбінованого застосування об'ємних засобів припинення горіння, порівняно з їх індивідуальними значеннями;
- методи дослідження процесів припинення горіння в частині застосування ударних хвиль, а також їх комбінацій з вогнегасними речовинами.

Удосконалено:

- номенклатуру технічних засобів пожежогасіння, методи досліджень та випробувань, а також довідкові дані щодо їх застосування;
- системи протипожежного захисту об'єктів з можливістю виникнення пожеж класів А, В, С, Е, шляхом застосування технічних засобів пожежогасіння, які реалізують комбінований спосіб припинення горіння з використанням ударних хвиль та вогнегасних засобів об'ємної дії;

- практичне значення одержаних результатів полягає в розробленні нормативно-правових документів та впровадженні результатів досліджень на об'єктах значної протяжності і у підрозділах пожежно-рятувальної служби.

Практичне значення одержаних результатів полягає в розробленні нормативно-правових документів на виготовлення дослідних партій технічних пристроїв комбінованого гасіння та запобігання пожежі, отриманні на окремі зразки розроблених модельних рядів сертифікатів відповідності органів сертифікації України, впровадженні результатів досліджень в науково-навчальних процесах вищих навчальних закладів ДСНС. З розробленими за результатами дисертаційних досліджень пристроями комбінованого гасіння та запобігання пожежі було проведено полігонні випробування та встановлено їх високу вогнегасну ефективність що відображено в протоколах випробувань «Науково-дослідного центру «Пожежна безпека» Українського науково-дослідного інституту цивільного захисту ДСНС України та науково-дослідної лабораторії Львівського державного університету безпеки життєдіяльності.

Особистий внесок здобувача полягає в самостійному аналізі літературних джерел з питань розроблення та застосування флегматизаторів, розроблення пристрою одночасної подачі вогнегасного газу та аерозолю, формулюванні задач та виборі методик досліджень, обґрунтуванні та формуванні висновків за їх результатами.

Особистий внесок здобувача в роботах, написаних у співавторстві:

[1, 3] – сформулював ідею, предмет та методики досліджень вогнегасних аерозолів та комбінованих газоаерозольних систем, узагальнив результати досліджень та сформулював висновки;

[4-7] – сформулював об'єкт, предмет та методики досліджень, особисто провів експериментальні дослідження з визначення вогнегасних концентрацій вогнегасних аерозолів та їх сумішей з газовими вогнегасними речовинами, узагальнив результати експериментальних досліджень, взяв участь у формулюванні висновків;

[12-14] – сформулював ідею, проблему та методику досліджень, узагальнив результати досліджень, сформулював висновки.

[17, 19, 21] – сформулював ідею, об'єкт, предмет, мету та методики проведення досліджень, здійснив загальне наукове і методичне керівництво, узагальнив результати досліджень, взяв участь у формулюванні висновків;

[18] – узагальнив результати досліджень, взяв участь у формулюванні висновків.

[22] – сформулював ідею, визначив об'єкт, предмет і мету проведення досліджень з визначення флегматизувальної властивості аерозолів, узагальнив результати експериментальних досліджень, сформулював висновки;

[23 – 30] – сформулював ідею, здійснив наукове керівництво, обґрунтував мету, об'єкт, предмет досліджень з визначення впливу добавок CO₂ на вогнегасну ефективність бінарної аерозольно-газової суміші, узагальнив результати, сформулював висновки;

Апробація результатів дисертації. Основні результати дисертаційної роботи доповідались на:

- Міжнародній науково-практичній конференції «Техногенна безпека», Львів, 2008;
- Міжнародній науково-практичній конференції «Пожежна безпека», м. Львів, 2009;
- II Міжнародній науково-практичній конференції «Техногенна безпека: Теорія, практика, інновації», м. Львів, 2011;
- XIII Всеукр. наук.-практ. конф. рятувальників «Технології захисту – 2011», м. Київ, 2011;
- X Міжнародній науково-практичній конференції «Пожежна безпека – 2011», м. Харків.
- Всеукраїнській конференції рятувальників, Київ, 23-24 вересня 2014 року;
- Всеукраїнській науково-практичній конференції з міжнародною участю «Надзвичайні ситуації: безпека та захист». м. Київ, 9 – 10 жовтня 2015 року;
- XXXXI Міжнародній науково-практичній конференції «Актуальні проблеми у сфері науки», м. Чернівці, 30-31 травня 2016 року;
- Міжнародній науково-практичній конференції «Актуальні наукові проблеми. розгляд, рішення, практика», м. Одеса, 27–28 травня 2016 р.;

- Міжнародній науково-практичній конференції «Актуальні проблеми моделювання ризиків і загроз виникнення надзвичайних ситуацій на об'єктах критичної інфраструктури», м.Київ, 26-28 травня 2016 року;
- Міжнародній науково-практичній конференції «Пожежна та техногенна безпека. Теорія, практика, інновації». м.Львів, 2016;
- Всеукраїнській науково-практичній конференції рятувальників. «Сучасний стан цивільного захисту України перспективи та шляхи до європейського простору», 11-12 жовтня 2016 року;
- Міжнародній конференції «Теорія і практика гасіння пожеж та ліквідації надзвичайних ситуацій», м.Черкаси, 18-19 травня 2017 р.;
- 19 Всеукраїнській науково-практичній конференції «Сучасний стан цивільного захисту України та перспективи розвитку» м.Київ, 10-11 жовтня 2017 року.

Публікації. Основні результати дисертаційних досліджень опубліковані в 43 наукових роботах, з яких 1 монографія, 3 статті у виданнях, що входять в науково-метричну базу Scopus, 7 статей виданнях в іноземні фахові видання, які входять у наукометричні базах IndexCopernicus, CrossRef, РІНЦ, WorldCat, Ulrich's Periodicals Directory, BASE, ResearchBib, Directory Indexing of International Research та інші. 21 статтю у виданнях, які входять до переліку фахових видань, 6 праць у інших виданнях, 2 патенти України на винахід та 2 патенти України на корисну модель, 14 тез доповідей на міжнародних та національних науково-практичних конференціях.

Структура та обсяг роботи. Дисертація складається із вступу, шести розділів, загальних висновків, списку використаних літературних джерел та 7 додатків. Роботу викладено на **356** сторінках друкованого тексту, що містить 55 таблиць та 92 рисунки. Список використаних джерел містить 372 найменування. Додатки викладено на 40 сторінках.

РОЗДІЛ 1

Аналіз статистики пожеж, їх негативного впливу на довкілля та сучасних засобів пожежогасіння

1.1. Світова та національна статистика пожеж та їх негативних наслідків

За даними ДСНС України [1-5] щороку кількість пожеж в Україні збільшується і сягає вже понад 70 тис., зокрема, за останні три роки ця кількість зросла на 18 тис.: у 2013 році їх було 61114, у 2014 році – 68879, у 2015 році – 79581, у 2016 році – 74221, у 2017 році – 83116. Значна частка масштабних пожеж та загиблих припадає на промислові об'єкти зі зберіганням та обертанням горючих рідин та газів у великих кількостях.

Наймасштабнішою пожежею за часів незалежності України, що призвела до значних людських і матеріальних втрат, була пожежа, яка виникла 8 червня 2015 року на одному з резервуарів з паливом на території нафтобази групи компаній БРДСМ” у Васильківському районі Київської області [5], внаслідок



Рисунок 1.1 – Пожежа на нафтобазі БРДСМ

якої загинуло п'ятеро людей, у тому числі троє рятувальників, та 16 – отримали травми різного ступеня важкості.

Пожежа тривала майже два тижні, на її ліквідацію було задіяно значну кількість особового складу та техніки Державної служби України з надзвичайних ситуацій з декількох областей.

Причиною пожежі став недолік конструкції електроустановок внаслідок чого відбулось коротке замикання електромережі. Витрати на гасіння пожежі оцінили у 50 мільйонів гривень [6].

Пожежі на нафтопереробних заводах виникають по всьому світу і зазвичай характеризуються великими масштабами розповсюдження пожежі та значними матеріальними збитками. Ось, наприклад, у травні 2001 року відбулася велика пожежа в нафтовій компанії "ЛУКОЙЛ" на території нафтопереробного заводу "Петротел-ЛУКОЙЛ" біля міста Плоешті (Румунія). Вогонь охопив один з резервуарів з бензином, в безпосередній близькості від вогнища загоряння перебували ще п'ять стаціонарних ємностей з паливом, технологічні установки, селище працівників підприємства. Пожежа була ліквідована через 10 годин після її початку.

У серпні 2003 р. в м. Пуертольяно (провінція Сьюдад-Реаль, Іспанія) на нафтопереробному заводі компанії "Repsol YPF SA" стався вибух з подальшим горінням ємностей з нафтопродуктами. Пожежа, тривала близько трьох діб.

У грудні 2005 року сталося три вибухи з подальшим горінням на нафтосховищі Bansfield, яке розташоване за 40 км на північ від Лондона і забезпечує нафтопродуктами південний схід Англії, в тому числі аеропорт Хітроу. Bansfield – 5-е за величиною нафтосховище Великобританії, в якому міститься до 5% всіх нафтопродуктів країни. Пожежа виникла на 20-тих основних резервуарах з паливом, її ліквідували більше 60 годин.

У березні 2009 року в м.Мозирі (Білорусь) на території парку світлих нафтопродуктів ВАТ "Мозирський нафтопереробний завод концерну "Белнефтехим" сталася пожежа в сталевому резервуарі об'ємом 10 тис. м³ для

зберігання бензину. В резервуарі зберігалось 3 тис. літрів бензину марки АІ-92. Гасіння тривало більше доби.

В серпні 2009 року в Ханті-Мансійському автономному окрузі на нафтобазі «Конда», яка належить підприємству ВАТ «Сибнефтепровод», сталася велика пожежа: горіли кілька резервуарів з нафтою площею близько 23 гектарів. У резервуарному парку станції розміщені вісім резервуарів типу РВС-20000. На момент виникнення пожежі загальний обсяг нафти, який зберігався на базі, дорівнював 160 тис. м³. Гасіння тривало дві доби.

У жовтні 2009 року на нафтопереробному заводі Caribbean Petroleum поблизу міста Катано (Пуерто-Ріко) вибухнули кілька ємностей для зберігання нафти, що призвело до пожежі. Початковий вибух знищив 11 резервуарів, пожежа, що виникла швидко поширилася на прилеглі резервуари з бензином, авіаційним і дизельним паливом. З 40 резервуарів нафтопереробного заводу було повністю зруйновано 21. Пожежа тривала кілька діб.

У вересні 2010 року на території ВАТ «Ново-Уфимський нафтопереробний завод» в м.Уфа (один з найбільших в Росії за потужністю первинної переробки нафти) стався вибух і виникла пожежа.

В лютому 2011 року на нафтопереробному заводі в місті Байджі в 200 км від Багдада прогрімів вибух, який призвів до припинення роботи найбільшого іракського НПЗ. Нафтопереробний завод міста Байджі (приблизно 180 км північніше від Багдада) щодня виробляє 11 млн. літрів бензину, 7 млн літрів бензолу і 4,5 млн літрів гасу. На заводі була сильна пожежа, яка тривала кілька днів.

Що стосується стану безпеки на об'єктах нафтогазового комплексу (підприємства НАК «Нафтогаз України»), то вони експлуатують газотранспортну систему, компресорні станції, газорозподільні станції, підземні сховища газу, систему магістральних нафтопроводів, до яких входять нафтоперекачувальні станції та резервуарні парки, об'єкти буріння, видобування, переробки вуглеводнів та автозаправні станції.

Що стосується газотранспортної системи України, то до неї входять: магістральні газопроводи – 22,2 тис. км; газопроводи-відгалуження та газопроводи з тиском не більше 1,2 МПа – 14,9 тис. км, 74 компресорні станції, понад 1 600 газорозподільних станцій, 13 підземних сховищ газу та об'єкти інфраструктури, які забезпечують функціонування системи. ПАТ «Укртранснафта», включає в себе 4767 км нафтопроводів, 51 нафтоперекачувальну станцію, 11 резервуарних парків з 79 резервуарами загальною номінальною ємністю 1083 тис. м³, системи електропостачання, захисту від корозії, автоматики, телемеханіки, технологічного зв'язку, протипожежні споруди.

Протягом 2014 року на об'єктах ПАТ [6] «Укртрансгаз» зареєстрована 1 аварія, яка виникла в результаті стороннього втручання, що спричинило вибух з подальшим загорянням посівів пшениці та витік газу за межі охоронної зони магістрального газопроводу «Уренгой – Помари – Ужгород» та призвело до руйнування лінійної частини магістрального газопроводу. Обсяг витікання природного газу в навколишнє середовище – близько 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 наступним загорянням газу. Причина пожежі – порушення правил техніки безпеки під час проведення ремонтних робіт.

Що стосується зріджених вуглеводних газів (далі – ЗВГ), то у роботі [7] відзначається, що хоча при їх транспортуванні, як правило, в аварії бере участь менша кількість небезпечних речовин, ніж на об'єктах, пов'язаних з їх зберіганням, наслідки таких інцидентів, зокрема людські жертви, не менші. Тому особливу пожежну небезпеку представляють зріджені гази, які миттєво утворюють вибухову газоповітряну суміш, або внаслідок порушення умов зберігання можуть утворювати вибухонебезпечні перекисні сполуки.

В роботі [8] наводиться опис пожежі на сировинному парку ЗВГ АТ «Синтезкаучук» м. Тольятті, яка сталася 4.05.1995 р. Слід зазначити, що вказана пожежа практично аналогічна події в м. Фейзен (Франція). Аварія сталася приблизно в 21 год 25 хв внаслідок витоку ЗВГ (ізобутилен-ізопентанова фракція).

В результаті витоку ЗВГ через запірну арматуру з наступним його займанням і факельним горінням імовірно сталося вигорання прокладки на фланцевому з'єднанні, через яке почався бурхливий витік палаючого ЗВГ під тиском 0,38 МПа. Полум'ям охопило нижню частину аварійного резервуара і стінку сусіднього з ним резервуара на висоті 5 м.

До моменту прибуття перших пожежних підрозділів площа горіння уже становила приблизно 120 м². Струмінь палаючого факела виходив за межі обвалування з північної його частини приблизно на 40-45 м. Горіння супроводжувалося сильним гулом і тепловим випромінюванням в північному напрямку від складу. Існувала реальна загроза розриву стінки сусіднього резервуара, в якому зберігалися залишки ЗВГ. У палаючому резервуарі було приблизно 390 м³ ЗВГ. Пожежа була локалізована о 23 год 00 хв і ліквідована о 7 год 15 хв 5 травня 1995 р. У ліквідації пожежі брало участь 130 пожежників.

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, 20266 тис. тон аміаку та 101,33 тис. тон інших небезпечних хімічних речовин. Ці об'єкти розподілені за ступенями хімічної безпеки таким чином: I ступінь хімічної безпеки – 65 об'єктів; II ступінь хімічної безпеки – 128 об'єктів; III ступінь хімічної безпеки – 178 об'єктів; IV ступінь хімічної безпеки – 567 об'єктів.

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 та вичерпали встановлений ресурс експлуатації.

На підприємствах хімічного комплексу значна кількість будівель і споруд потребують капітального ремонту, не всі будівлі і споруди відповідають вимогам будівельних норм. До зниження рівня безпеки хімічних виробництв приводить недосконалість нормативно-правової бази, яка не забезпечує в нових економічних умовах стимулювання заходів щодо зменшення ризику виникнення 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 як ХНО, так і держави загалом.

Ще одними із складних є пожежі на трансформаторних підстанціях через високу напругу і наявність трансформаторного мастила. Так, 1 лютого 2015 року на території заводу ВАТ «Турбоатом» (м. Харків) [5] сталося загорання трансформаторної підстанції з подальшим розповсюдженням вогню на покрівлю ливарного цеху площею 200 м². На місці пожежі евакуйовано 111 людей. До гасіння пожежі залучалося 18 одиниць техніки та 90 чоловік особового складу ГТУ ДСНС України в Харківській області.

На Черкащині [9] 11 жовтня 2015 року на трансформаторній підстанції виникла пожежа, без світла залишилися частина міста Сміла та кілька населених пунктів. Внаслідок загорання на підстанції, яка перебувала під високою напругою, із трансформатора витекло близько 100 літрів мастила, яке

також загорілося на площі 100 м². Причиною виникнення пожежі стало коротке замкнення у трансформаторі.

У селі Кінецьпіль Первомайського району Миколаївської області на автозаправці загорілися три бензовози. Щоб запобігти вибуху, рятувальники подали два водяних стволи на охолодження цистерн, в яких був бензин. За допомогою пінного та двох водяних стволів ліквідували загоряння на машинах [10].

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 2014 року на 14,9 %, та 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 [4], що становить 14,3% від загальної кількості пожеж; 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. Внаслідок пожеж на об'єктах загальнодержавної власності загинуло 10 осіб (за 2013 рік – 5 осіб).

Найбільш масштабною пожежею у 2014 році на підприємствах, організаціях та закладах загальнодержавної власності, була пожежа, яка виникла 25 березня 2014 року в Полтаві [4], на вул. Жовтневій, 23, у чотирьохповерховій будівлі академічного обласного українського музично-драматичного театру ім. М. Гоголя. Сталося загоряння сценічного комплексу театру площею 200 м². У гасінні пожежі було задіяно 8 одиниць техніки та 32 чоловіка особового складу Управління ДСНС України у Полтавській області. Травмованих та загиблих немає. Внаслідок пожежі вогнем знищені декорації,

колосники, освітлювальні прилади, пошкоджене покриття сцени. Прямий збиток від пожежі склав 5 млн 643 тис. грн; побічний – 8 млн 332 тис. грн.

Аналіз причин виникнення пожеж (табл. 1.1) у 2015 році на підприємствах, організаціях та закладах загальнодержавної власності показав, 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%) [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 %) [5].

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.

На одному з об'єктів транспорту [4] 30 травня 2014 року в місті Дніпропетровськ виникла пожежа на території гаража автотранспортного підприємства. Вогнем були охоплені автобуси на території гаража. Для ліквідації пожежі були направлені 5 одиниць пожежно-рятувальної техніки та 22 чоловіки особового складу. Внаслідок пожежі було знищено вогнем 18 транспортних засобів, а саме – 15 автобусів марки «Антон-3250», 1 автобус «Івеко», 1 мікроавтобус «Форд-транзит» та 1 автобус «ПАЗ». Два автобуси марки «Хазар» було врятовано від знищення. Причину пожежі кваліфіковано як підпал.

Таблиця 1.1**Аналіз статистики пожеж на промислових підприємствах
та будівлях і спорудах громадського призначення [1-6]**

Об'єкти /рік	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Споруди виробничого призначення	508	466	449	517	462	485	502
Торговельно-складські споруди	816	916	839	987	828	798	806
Соціально-культурні, громадські та адміністративні споруди	453	491	395	703	522	514	469

Прямі збитки від пожеж на цих об'єктах у 2015 році [5] склали 544 млн 568 тис. грн (+6,6 %), 37,4 % від загальної суми прямих збитків; побічні збитки склали 1 млрд 104 млн 813 тис. грн (-69,6 %) або 26,2 % від загальної суми побічних збитків.

Відповідно через невиконані заходи пожежної профілактики, особливості технологічних процесів, неякісне виконання цих заходів та з інших причин, кожного року виникає близько 2000 пожеж на промислових об'єктах, які завдають лише прямих збитків на понад 500 млн грн..

Відповідно статистика свідчить про динаміку зростання кількості пожеж на заправних станціях, компресорних, трансформаторних підстанціях, резервуарах, електропідстанціях, а також вибухів як результатів, так і внаслідок пожеж. 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, об'єкти нафтогазової промисловості та ін.).

Згідно з оприлюдненими на сайтах Державної служби з надзвичайних ситуацій України та Українського науково-дослідного інституту цивільного захисту даними (рис. 1.2), в Україні за період з 2003 по 2016 рік щороку

траплялось до 60 000 пожеж, а найбільше їх значення, без урахування окупованих територій Донбасу та АР Крим, а також лісових пожеж, досягнуло у 2015 році – близько 80 000. У 2015 та 2016 роках на пожежах загинуло 1948 та 1872 осіб, а тільки прямі збитки сягнули значень 1458141 та 1626531 тис. грн відповідно.

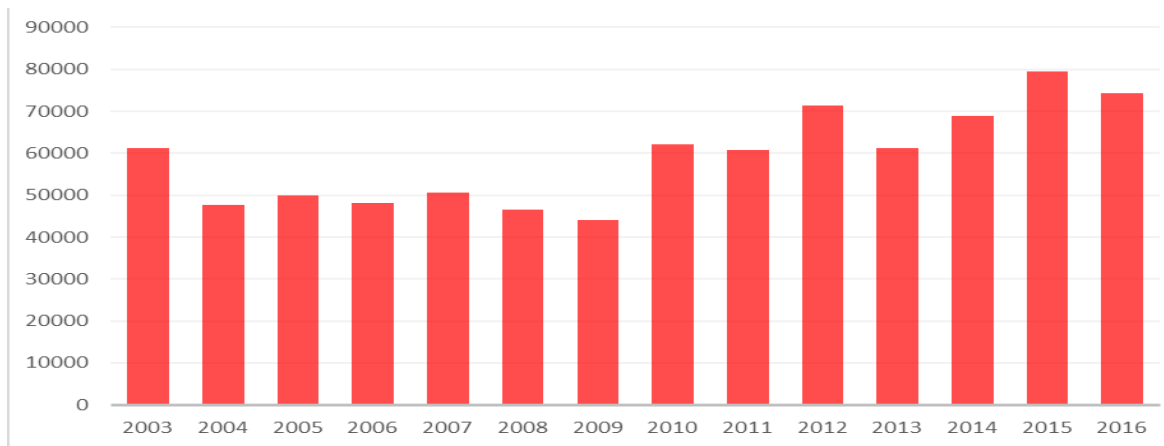


Рисунок 1.2 - Динаміка пожеж в Україні за період з 2003 по 2016 рік за даними сайту УкрНДІЦЗ

Аналіз наведених статистичних даних (табл. 1.2) свідчить, що боротьба з пожежами є світовою проблемою, яка за масштабами втрат може бути порівняна з воєнними діями.

Таблиця 1.2

Динаміка кількості пожеж у деяких країнах світу за 2012-2014 рр. [11]

Країна	Населення, тис. чол.	Кількість пожеж					в рік
		2010	2011	2012	2013	2014	
США	318 907	1331 500	1 389 500	1 375 000	1 240 000	1 298 000	1 326 800
РФ	144 000	179 500	168 205	162 900	152 959	150 437	162 800
Німеччина	82 218	189 400	205 386	-	-	-	197 393
Франція	66 030	336 867	317 909	306 871	281 908	270 900	302 891
Велика Британія	61 370	299 300	288 000	272 800	192 700	212 500	253 060

Італія	61 000	197 166	230 244	241 232	196 196	189 375	210 843
Україна	43 001	62 207	60 790	2 443	61 144	68 879	64 893
Польща	38 492	135 555	171 839	183 888	125 425	145 237	152 389
Казахстан	17 000	19 058	15 194	16 145	13 926	14 477	15 760
Угорщина	9 877	16 756	29 920	37 106	20 177	19 536	24 699
Швеція	9 556	-	24 806	22 657	25 392	-	24 285
Білорусь	9 481	10 023	35 322	34 505	7 151	7 489	18 898
Австрія	8 544	34 363	57 994	42 213	40 395	43 336	43 660
Швейцарія	8 238	-	13 523	14 304	12 893	11 658	13 095
Болгарія	7 245	25 030	41 890	44 939	32 903	23 199	33 592
Фінляндія	5 398	15 208	14 737	11 803	13 421	14 027	13 839
Норвегія	5 109	9 480	8 146	7 369	7 318	8 672	8 197
Литва	2 943	13 411	-	11 257	11 333	13 324	12 331
Словенія	2 063	3 770	5 198	5 570	4 175	5 917	4 926
Латвія	2 001	8 175	8 812	8 536	9 821	12 873	9 643
Естонія	1 313	6 439	6 321	4 973	5 745	6 871	6 070

Всього в світі (табл.1.2) трапилось у 2010-2015 рр., 18,3 млн пожеж, при цьому загинуло 178,8 тис. осіб. Щодо розподілу, то близько 24 % пожеж трапляються в житловому секторі, на решті об'єктів та місць – 54,4 %. Причому Україна займає верхні позиції списку щодо кількості пожеж. Так, у 2010 році трапилось 62207 пожеж, а в 2014 – 68879 пожеж. Загалом кількість пожеж як в Україні, так і в світі загалом, коливається і спостерігається невелика тенденція до їх збільшення.

Аналіз причин більшості аварій і пожеж на промислових об'єктах з зберіганням та обертанням горючих рідин та газів показав, що основними з них є: порушення правил техніки безпеки та пожежної безпеки, неякісний монтаж і ремонт електрообладнання, порушення технологічного режиму. З таких причин виникає близько 77% пожеж і вибухів.

При цьому основними причинами виникнення пожеж у 2015 році на промислових об'єктах, були: порушення правил пожежної безпеки при влаштуванні та експлуатації електроустановок – 914 пожеж, що становить

36,2% від загальної кількості пожеж на підприємствах, в організаціях, закладах. Необережне поводження з вогнем – 428 пожеж, підпали – 604, що становить 23,9% від загальної кількості пожеж на підприємствах.

В роботі [12] виділено такі статистичні дані про аварійні ситуації (в %), що викликають пожежі, вибухи і аварійну загазованість:

1. Використання несправного обладнання – 59,1%;
2. Порухення технологічного режиму – 26,8%;
3. Пуск несправної технологічної лінії – 7,5%;
4. Порухення правил ремонтних робіт – 4,7%;
5. Недотримання правил зупинки технологічної установки – 1,9%.

Під час пожеж та вибухів за участю горючих газів (ГГ) можуть відбуватися вибухи, закипання, викиди палаючого продукту, розливи рідкої фази ЗВГ, деформація ємностей, аварії комунікацій.

Опис і аналіз характерних пожеж на об'єктах з газобалонним обладнанням, що сталися як у нас в країні, так і за кордоном, дає загальну картину розвитку можливих аварійних ситуацій на об'єктах з газобалонним обладнанням. У статті [13] повідомляється про вибух автоцистерни із зрідженим газом, що стався під час перекачування газу в стаціонарний резервуар. Причиною вибуху став витік газу і його загоряння від працюючого двигуна. Через п'ять хвилин після початку пожежі автоцистерна вибухнула. Дослідження показало, що руйнування сталося при підвищенні температури стінки автоцистерни до 600-650 °С, при цьому тиск досягав 2,9 МПа. Над місцем вибуху протягом 10 с спостерігалася «вогняна куля» діаметром 40 м. Отже, зважаючи на причини аварій, розглянуті вище та у роботі [12], можна сформулювати основні з них:

1. Механічні пошкодження захисного покриття зовнішніх поверхонь металевих стінок ємностей і подальша електрохімічна корозія, або небезпечний вплив блукаючих струмів.
2. Наявність наскрізних шпар в зварних з'єднаннях.

3. Неякісне затягування фланцевих з'єднань, забоїни і подряпини на ущільнюючих поверхнях.
4. Невідповідність типу, недовговічність і неякісне виготовлення ущільнюючих матеріалів.
5. Неякісна набивка і затяжка сальникових ущільнювачів.
6. Викривлення штоків або забоїни і подряпини на їх поверхні.
7. Невідповідність типу, недовговічність і неякісне виготовлення сальникових ущільнювачів.

Питання пожежної безпеки об'єктів визначаються їх геометричними параметрами, величиною пожежного навантаження, технічним оснащенням системами протипожежного захисту, які повинні забезпечувати швидке виявлення пожежі, увімкнення сигналізації та ліквідацію пожежі в найкоротші терміни з мінімальними матеріальними втратами. Для гасіння пожеж у важкодоступних місцях, наприклад, в кабельних тунелях, зазвичай використовують повітряно-механічну піну, розпилену воду, водяну пару, порошки, інертні гази (азот, діоксид вуглецю, хладон) [7]. Останнім часом почали широко використовувати вогнегасні аерозолі завдяки їхній високій ефективності [14].

Опис випадків пожеж у важкодоступних місцях на промислових об'єктах, реалізовані інженерні підходи щодо протипожежного захисту на них, зроблено у [15-20]. В цих же роботах наведено рекомендації та практичні приклади захисту трансформаторів, від виникнення промислових пожеж та вибухів технологічних установок.

В роботах [21 - 24, 12] зроблено аналіз джерел займання на промислових об'єктах та реалізацію найбільш ефективних заходів для зниження горючості та основних характеристик вогненебезпечності. Наведено найбільш дієві методи гасіння та вогнегасні речовини для гасіння пожеж промислових підприємств різних галузей.

Для гасіння пожеж в гірничих копальнях і тунелях як правило застосовують хладон, азот, двоокис вуглецю [25] та ін. При цьому виникають такі питання, як час і інтенсивність подачі залежно від протяжності та поперечних розмірів пожежного об'єкта, тривалість гасіння і режим вентиляції. Поява високих концентрацій метану поблизу вогнища горіння створює загрозу вибуху і значно ускладнює ліквідацію подібного виду аварій.

Протягом останніх п'ятнадцяти років у шахтах України щорічно реєструється від 6 до 36 ендегенних пожеж [26]. Активним способом було погашено 36%, ізолювальним – 59%, комбінованим способом ліквідовано 5% пожеж. Вони стабільно залишаються на другому місці за кількістю, після екзогенних пожеж і на першому за розмірами заподіяних збитків. Вони завдали від 12 до 40% від втрат, в результаті аварій у вугільній промисловості (наприклад, в 1999 році втрати склали близько 21,4% (8 млн. гривень)). Ендегенні пожежі виникають через самонагрівання вугілля в важкодоступних місцях, таких як вироблений простір, в ціліках, за кріпленням підготовчих виробок. Придушення осередків горіння в таких умовах дуже складне, чим і обумовлена найвища тривалість ліквідації цього виду підземних аварій. Визначилася тенденція до збільшення тривалості і трудомісткості їх гасіння. У цій ситуації запобігання або обмеження до безпечних параметрів самонагрівання вугілля – найперспективніший шлях боротьби з ендегенними пожежами.

Також необхідно виділити серед пожежонебезпечних об'єктів ті, де може бути ускладнене гасіння пожеж, об'єкти видобутку нафти і газу, які традиційно характеризуються високим рівнем пожежної небезпеки, що залежить від ряду факторів, з певними параметрами [27]. Ці фактори необхідно враховувати під час розробки заходів ефективного захисту сусідніх об'єктів і особового складу, задіяного на ліквідації палаючих аварійних фонтанів. Процес розвитку пожеж на подібних об'єктах визначається умовами виникнення горіння, які мають імовірнісний характер. Оперативно-тактична обстановка на пожежах газових і

нафтових фонтанів обумовлюється інтенсивністю проявів небезпечних факторів, що виникають при аварійному фонтануванні свердловини. Пожежна небезпека бурових майданчиків обумовлена несприятливими метеорологічними умовами, сейсмічними і геотехнічними умовами районів розташування бурових майданчиків, значною концентрацією технологічного і бурового обладнання, застосуванням бурових розчинів на нафтовій основі, важкодоступністю розташування бурових майданчиків, у зв'язку з чим на бурових майданчиках перебуває значна кількість палива, хімреактивів, обладнання і.т.д.

Одними з складних аварій є пожежі в резервуарах, в більшості випадків вони починаються з вибуху пароповітряної суміші [28]. На утворення вибухонебезпечних концентрацій всередині резервуарів істотно впливають фізико-хімічні властивості нафти і нафтопродуктів, конструкція резервуара, технологічні режими експлуатації, а також кліматичні і метеорологічні умови. Вибух в резервуарі призводить до підриву (рідше зриву) даху з наступним горінням всієї поверхні горючої рідини. При цьому, навіть в початковій стадії, горіння нафти і нафтопродуктів в резервуарі може супроводжуватися потужним тепловим випромінюванням в навколишнє середовище, а висота частини полум'я становить 1-2 діаметра палаючого резервуара. Відхилення факела полум'я від вертикальної осі при швидкості вітру близько 4 м/с становить 60-70 °С.

Таким чином гасити пожежі горючих рідин, особливо їх розливів, газів та газорідних сумішей проблематично, а процес підготовки потребує тривалого часу, сил та засобів. Щодо екологічних наслідків для біосфери від викидів продуктів горіння, то можна зазначити таке. Вплив на людину відбувається в основному від продуктів горіння Основні чинники впливу на людину показано в табл.1.3.

Таблиця 1.3

Небезпека для людини та навколишнього середовища
наслідків гасіння пожеж

Вид вогнегасних речовин	Горіння та гасіння горючих рідин	Горіння та гасіння твердих горючих речовин	Горіння / гасіння газових речовин	Горіння та гасіння пожеж А,В,С,Е комбінованими системами на основі УХ
1	2	3	4	5
Забруднення атмосфери	CO ₂ , CO, N _x O _x , C, H ₂ S, SO ₂ , HCN, HCHO, CH ₃ COOH, H ₂ SO ₄ , Хладонів, CL ₂ Br ₂ , F ₂ .	Викид CO ₂ , CO, N _x O _x , C, H ₂ S, SO ₂ , HCN, HCHO, CH ₃ COOH, тверді мінеральні аерозольні частинки.	Викид CO ₂ , CO, N _x O _x , C, H ₂ S, SO ₂ , HCN, HCHO, CH ₃ COOH, / Хладонів, CL ₂ Br ₂ , F ₂ .	В невеликих кількостях викид CO ₂ , N ₂ , H ₂ O та менші в 5-10 разів концентрації вогнегасних речовин.
Забруднення ґрунтів	ПАР Продукти взаємодії вогнегасних речовин та продуктів горіння	ПАР	ПАР Органічні продукти взаємодії, невикористана вогнегасна речовина	ПАР Органічні продукти взаємодії Невикористана вогнегасна речовина
Забруднення ґрунтових	ПАР	ПАР	ПАР	ПАР

вод	Органічні забрудники продукти взаємодії вогнегасних речовин та продуктів горіння		Органічні продукти взаємодії, невикористана вогнегасна речовина	Органічні продукти взаємодії, невикористана вогнегасна речовина
Забруднення водних ресурсів	ПАР	ПАР	ПАР	ПАР Органічні продукти взаємодії, невикористана вогнегасна речовина

В таблиці 1.3 наведено дані щодо питомих викидів шкідливих речовин в атмосферне повітря у разі згоряння нафти та нафтопродуктів на поверхні згідно з методичними вказівками «Розрахунок викидів шкідливих речовин в атмосферу у разі вільного горіння нафти і нафтопродуктів», розробленими до практичних робіт за курсом «Промислова екологія для всіх спеціальностей Тюменського державного університету нафти і газу» (упорядники Г.В. Старикова, Є.В. Налобіна, Л.Б. Хайруліна).

Таблиця 1.4

Питомі викиди шкідливих речовин у разі горіння нафти і нафтопродуктів на поверхні [29]

Забруднювач атмосфери	Хімічна формула	Питомі викиди шкідливої речовини, кг/кг ⁻¹		
		нафта	дизельне паливо	бензин
Діоксид	CO ₂	1,0000	1,0000	1,0000

вуглецю				
Оксид вуглецю	CO	0,0840	0,0071	0,3110
Сажа	C	0,1700	0,0129	0,0015
Оксиди азоту (у перерахунку на NO ₂)	NO ₂	0,0069	0,0261	0,0151
Сірководень	H ₂ S	0,0010	0,0010	0,0010
Оксиди сірки (у перерахунку на SO ₂)	SO ₂ , SO ₃	0,0278	0,0047	0,0012
Синильна кислота	HCN	0,0010	0,0010	0,0010
Формальдегід	HCHO	0,0010	0,0011	0,0005
Органічні кислоти в перерахунку на CH ₃ COOH	CH ₃ COOH	0,0150	0,0036	0,0005

З урахуванням наведених питомих викидів шкідливих речовин у разі горіння нафти і нафтопродуктів на поверхні та беручи до уваги, що під час пожежі на нафтобазі ТОВ «БРСМ-нафта» 8-20 червня 2015 р за оприлюдненими даними згоріло приблизно 18000 т нафтопродуктів, можна зробити висновок, що в атмосферне повітря при цьому було емітовано орієнтовно 18 000 тон CO₂; 126 тон CO; 234 тон сажі; 468 тон NO₂, 18 тон H₂S, 84,6 тон SO₂, 18 тон HCN, 20 тон HCHO, 84,6 тон CHCOOH.

1.2. Сучасне трактування процесів припинення горіння

1.2.1. Застосування води та водних вогнегасних речовин для пожежогасіння

На сьогодні найчастіше для гасіння твердих горючих матеріалів, горючих рідин та газів використовують воду, її розчини, та пінні системи на її основі. Це

пов'язано з її доступністю, значною теплоємністю, високою теплотою випаровування, нетоксичністю та відносно високою вогнегасною ефективністю. Аналіз науково-технічної та патентної літератури свідчить про те, що постійно ведуться дослідження, спрямовані на отримання альтернативної воді вогнегасної речовини, яка б не поступалася в універсальності, дешевизні, зручності у використанні та транспортуванні і була відносно екологічною та безпечною.

Відомі установки газоводяного пожежогасіння типу АГВТ досить позитивно себе зарекомендували під час гасіння газових фонтанів, але вони не придатні як генератори інертного середовища для замкнених технологічних об'ємів різного призначення, віддалених від установки більше ніж на 15-25 м [30].

На даний час в підрозділах ДСНС України відсутні мобільні високопродуктивні установки дистанційного гасіння пожежі в закритих та напівзакритих приміщеннях. Використання такої технології гасіння пожежі газоводяними сумішами стримувалося через відсутність визначення необхідних параметрів їх утворення та подачі, які забезпечували б ефективність припинення горіння.

Вода стала найбільш широко використовуваною вогнегасною речовиною [31], оскільки її ефективність під час гасіння пожеж важко перевершити. Теплові характеристики води роблять її ідеальною вогнегасною речовиною. Зміна фази з рідкої на пару може додатково сприяти гасінню пожежі завдяки зниженню концентрації кисню в навколишній атмосфері, зокрема, коли вогонь є в закритому об'ємі.

Прогрес в області досліджень і застосування систем водяної пари для гасіння пожеж значно пришвидшився за останнє десятиліття. Огляд вогнегасних механізмів і чинників, що впливають на продуктивність водяної пари [32], таких як дисперсні характеристики, вплив на корпус, динамічне

змішування, використання добавок і методів генерації водяної пари, проведений в роботі [32].

Огляд [32] показує, що вогнегасні механізми і роль аерозольних характеристик у гасінні пожеж є добре зрозумілі і визначені. Водяна пара не поводитья як газоподібний агент в гасінні пожеж. Ефективність системи водяної пари в гасінні пожеж залежить від характеристик розпилення (розподілу та розміру крапель).

Підвищення ефективності гасіння за допомогою води може бути досягнуто як завдяки поліпшенню диспергування води, так і шляхом введення в неї різних добавок [33]. Як добавки для досліджень використовують такі сполуки: NaCl, KCl, LiI, CH₃COOK, COCl₂, NiCl₂, NaOH, NaHCO₃, MgCl₂, CaCl₂, MnCl₂, FeCl₂ і інші. Встановлено, що деякі із сполук є більш ефективними інгібіторами горіння, ніж фреони, зокрема CF₃Br. Тому вони розглядаються як перспективні добавки до води для збільшення ефективності при гасінні полум'я. Як показали результати лабораторних експериментів, найбільш ефективними є комплексні сполуки калію і заліза [32]. Однак, ефективність лабораторних експериментів, не завжди відповідає ефективності при гасінні великомасштабних вогнищ пожеж.

Вогнегасна ефективність води як правило залежить від довжини струменя, дисперсності, концентрації добавок неорганічних солей у воді в якості добавок. Та основне при гасінні водою – це необхідність забезпечення так званої вогнегасної витрати, яка однакова для більшості горючих матеріалів, які перебувають на об'єктах – 0,05 л·с/м²-0,3 л·с/м² [34]. А при гасінні легкозаймистих та горючих рідин становить навіть 0,5 л·с/м² і більше.

При гасінні стволами пожеж в резервуарних парках ефективно можна використовувати воду лише для охолодження стінок резервуарів, загасити полум'я струменями води при цьому не вийде, але їх можна використовувати для захисту і охолодження сусідніх резервуарів та особового складу, використовуючи розпилені струмені води.

Також для формування захисних завес під час проведення оперативних дій на технологічних установках хімічної, нафтохімічної, нафтопереробної промисловості та на деяких інших підприємствах, застосовують турбінні та щілинні розпилювачі НРТ-5, НРТ-10, НРТ-20, РВ-12, а також стволи Protec 366. Насадки-розпилювачі НРТ-5, НРТ-10 та РВ-12 встановлюють на ручні стволи РС-70 замість стандартної насадки. Насадку-розпилювач НРТ-20 встановлюють замість стандартної на лафетний ствол ПЛС-П20.

Дисперсна вода може подаватись і через насадки – розприскувачі, які забезпечують утворення крапель мікронних розмірів.

Характеристики дисперсних водних систем наведено в таблиці 1.5.

Таблиця 1.5

Загальні характеристики вогнепригнічувальної ефективності вогнегасних речовин [35-37]

Вид вогнегасних речовин	Хімічна основа	Приклади	Вогнегасна концентрація Час гасіння	Клас безпеки
Твердофазові (вогнегасні порошки) АВС ВС АВСD ЦП	ФАС ГН, СК, ССК ФАС+ХК Спец. композиції	П-2АПМ; Р-11-24; Вексон АВС; Пірант-А; Пірант-АН Фактор АВС-40 ПСБ-3; Вексон ВС; Монпех; Карате П-2АК ПГС; МГС; СаF ₂ ; СІВК; ПС-1; ПХ; ПМГС; РС; Си-2; СаО	100-200 г/м ³ При досягненні вогнегасної концентрації	3-4
Рідиннофазові неводні	C ₂ F ₄ Br ₂ C ₆ F ₁₂ O	Хладон2402 NOVEC1230 (хладон ФК-5-1-12, «СВ»)	5-20%	1-3

Рідиннофазові водні H ₂ O+ПАР	H ₂ O+ПАР	Дослідні зразки Вода зі змочувальниками	500 -900 г/м ³	3-4
Рідиннофазові водопінні	H ₂ O+піноутворювачі	Пірена 1; Пірена2; Пірена 3; Альпен; Альпен М; Пегас; Сніжок; Пайрокул; ПО-63РЗ; ПО-63М (Морпен); ПО-РЗФ; ПО-РЗП «Заполярий»	50 - 200 г/м ³	2-3

Деякі резервуари обладнують сухотрубками, через які подають розчин піноутворювача. Але пожежа в резервуарі з горючою рідиною як правило починається з вибуху, при якому ці сухотруби нерідко руйнуються. При цьому пожежу загасити стає ще складніше. Також нерідко при тривалому зберіганні піноутворювача він втрачає свої робочі характеристики через протермінування та відсутність заміни. При подачі на гасіння такий піноутворювач не забезпечує потрібної вогнегасної ефективності. Таким чином, для забезпечення надійного гасіння пінними засобами існує так званий момент пінної атаки, коли піна подається з декількох пристроїв одночасно щоб випередити її руйнування в результаті дії вище перелічених факторів.

При цьому ситуація з прийомами та засобами гасіння резервуарів з горючими рідинами могла би бути кращою, оскільки існує ряд факторів, які на даний час заважають досягненню таких параметрів гасіння цих пожеж, як швидкість, надійність, дешевизна, відсутність супутніх втрат та збитків. Крім цього, процес гасіння потребує постійного дієвого контролю за цими процесами, а тут основну роль відіграє людський фактор, оскільки пожежні підрозділи забезпечують гасіння у відповідних місцях, створюючи відповідну інтенсивність подачі вогнегасного засобу.

Час початку гасіння водою або піною, як правило, становить в кращому випадку від 10 хвилин і більше – що складає час прибуття та бойового розгортання пожежних підрозділів. За цей час деякі пожежі значно збільшують свою площу і гасіння подеколи потрібно проводити більшою кількістю підрозділів.

Засоби та прийоми гасіння при цьому є незручними, трудомісткими, потребують присутності людей в небезпечних зонах пожежі – горіння, теплового випромінювання, задимлення. При цьому гасіння відбувається особовим складом в умовах, коли для людей необхідний захист органів дихання, обмеження дії теплової радіації. Такі умови майже завжди межують з небезпекою отримання травм різноманітного походження, особливо коли гасіння проводиться за наявності токсичних продуктів горіння, сильного теплового випромінювання або елементів під електричною напругою.

Гасіння пожеж горючих рідин, струменів газів, твердих горючих речовин на відкритому просторі є ще проблематичнішим, оскільки жоден із сучасних вогнегасних засобів не забезпечує швидкого та ефективного гасіння. Деякі винятки щодо швидкості подачі, а відповідно і гасіння, можна зробити для порошкових, газових, пінних та водних вогнегасних засобів, для невеликих об'ємів та площ. При цьому в більшості випадків, вода використовується в дисперсному стані та також потребує досягнення необхідної інтенсивності витрати, яка б забезпечила необхідну ефективність гасіння. Негативними властивостями води є її мала в'язкість і високий поверхневий натяг. Тому на практиці для пожежогасіння широкого застосування набувають порошки і піни.

Зокрема для гасіння пожеж на промислових, торгових підприємствах, складах, транспортних засобах та у житловому секторі широко застосовують піноутворювачі загального призначення.

Піноутворювачі загального призначення придатні для отримання піни низької, середньої та високої кратності, а також змочувальних розчинів. Такі піноутворювачі призначені для гасіння пожеж класів А (підкласи А1, А2) та В

(підклас В1) [35], тобто твердих горючих речовин і матеріалів (за винятком тих, які вступають у хімічну взаємодію з водою) та водорозчинних горючих рідин.

Згідно зі стандартами [36, 37] встановлюється номенклатура показників якості піноутворювачів, а також технічні вимоги до них та методи їх випробувань. Основою піноутворювачів є поверхнево активні речовини (ПАР), які забезпечують можливість генерування піни і зниження поверхневого натягу водних розчинів, а також можуть забезпечувати здатність утворювати плівку на поверхні горючої рідини, яка зменшує дифузію горючих парів з неї. За хімічним складом піноутворювачі поділяються на такі, що виготовлені із синтетичної сировини, і такі, що виготовлені переважно із сировини природного походження (з добавками синтетичних ПАР та інших речовин чи без них) [38]. На етапі гасіння вогнегасну ефективність піни можна покращувати шляхом підвищення її кратності. Практика підрозділів ДСНС [39] свідчить, що вогнегасна ефективність піни середньої кратності в 2–5 разів більша від вогнегасної ефективності піни низької кратності.

Але у більшості випадків піноутворювачі мають слабку морозостійкість і досить малий термін експлуатаційних властивостей при значній вартості.

Вогнегасну піну застосовують для гасіння великих займань, а в решті випадків переважно для малих об'єктів чи технологічних устаткувань використовується порошок.

1.2.2. Сучасний стан розроблення і умови застосування вогнегасних порошоків та автоматичних систем порошкового пожежогасіння

В забезпеченні пожежної безпеки промислових [40] об'єктів помітне місце займають установки порошкового пожежогасіння. Незважаючи на те, що вони мають високу ефективність дії, їх застосування є обмеженим, тому що існує ймовірність відмови в роботі, яка сягає 30%. Відмови установок з збереженням газу під тиском відбуваються через його витікання з балона чи

резервуара установки. Наявність газу під тиском накладає особливі вимоги щодо монтажу, обслуговування і температурного режиму під час експлуатації установок. Це у певних випадках обмежує їхні функціональні можливості і область застосування. Існуючі схеми підготовки порошку не завжди забезпечують необхідну якість відновлення його текучості, тому що після підготовки в ньому містяться включення газових бульбашок і грудок порошку. Це призводить до порушення параметрів його витиснення з резервуара і транспортування по трубопроводу, знижує надійність і ефективність дії установки.

В роботі [41] зроблено цікаве порівняння вогнегасної дії надтонких порошоків гідроксиду магнію і комерційних сухих порошоків та їх ефективностей під час гасіння пожеж. Аналізуючи результати, можна зробити висновок про те, що тиск, розмір часток, і мікроскопічна структура поверхні порошоків – саме ці фактори беруться до уваги під час гасіння пожежі. Порівнюючи дисперсні порошки з гідроксиду магнію із комерційними вогнегасними порошками можна вказати на їх кращі вогнегасні властивості під час засіння пожеж, при цьому час гасіння становить менш ніж 10 секунд.

Засоби пожежогасіння на основі порошоків є універсальними за своїм активним впливом на різні матеріали: електрообладнання (навіть під напругою), мінеральні масла, вугілля, дерево, шахтну конвеєрну стрічку і т.д. Крім того, дрібнодисперсний порошок при високій температурі розплавляється і спікається, утворюючи тверде склоподібне покриття типу плівки, що перешкоджає проникненню кисню до осередку горіння. Як встановлено [42], частки порошку, перебуваючи в потоці повітря в завислому аерозольному стані, утворюють хмару з вмістом порошку $70-150 \text{ г/м}^3$, при якому не можливе горіння полум'я. На сьогодні ще не сформовано єдиної думки щодо механізму вогнегасної дії порошоків. Автори роботи [43] 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 порошків (сульфати, галогеніди лужних металів та ін.) діє значно ефективніше завдяки значній інгібувальній здатності.

В роботі [44] при визначенні ефективності гасіння полум'я метану порошками солей лужних металів виявлено, що дія порошків проявляється в охолодженні палаючих газів завдяки відведенню тепла. Але цієї кількості відведеного тепла недостатньо для того, щоб повністю припинилося горіння. Часто недостатнє ознайомлення з основними факторами дії порошків на вогнища пожеж різних класів часто призводить до неправильного застосування тих чи інших марок порошків в умовах реальних пожеж [45]. Зокрема низька охолоджувальна здатність більшості порошків є одним із основних недоліків, що унеможлиблює їх використання для успішного гасіння пожеж класу А 1. Реальний охолоджувальний ефект порошку становить не більше 10-20% від загальної кількості тепла, що виділяється при горінні [46]. 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 [47]. 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 [48].

Досвід експлуатації та випробувань показує, що одним із суттєвих недоліків конструкції порошкових вогнегасників є, що офіційно закріплено нормативним документом, неповнота виходу вогнегасної порошкового складу (ВПС), на рівні не більше 15% [49]. Є підтверджені факти, коли залишок ВПС в

корпусі вогнегасника досягав у середньому близько 30% [49]. На жаль, це не поодинокі випадки, тому вони потребують самостійного вивчення, оскільки підривають довіру споживача до первинних засобів пожежогасіння, покликаних захищати людину і його майно на початковому етапі загоряння.

Оскільки, як зазначалося вище, однією з необхідних умов припинення гетерогенного безполуменевого 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 [31,41,44,45] найкращими показниками у цьому відношенні характеризуються фосфати та формиати амонію. Результати проведених розрахунків показали, що охолоджувальна дія порошоків визначається в основному теплотою, яка поглинається при ендотермічному розкладі компонентів вогнегасних порошоків. Вклад теплоємності невеликий і становить всього 11,6-18,1%.

В таблиці 2.1 представлені результати розрахунків теплопоглинальної здатності цих речовин в діапазоні температур 25-600°C [31,40,43,44].

Таблиця 1.6

Теплопоглинання вогнегасних порошоків при 25-600°C

[31,40,43,44,45]

Вогнегасний порошок	Теплопоглинання в результаті фізико-хімічних перетворень, кДж/кг	Сумарне теплопоглинання при нагріванні до 600°C, кДж/кг	Вклад в теплопоглинання завдяки теплоємності, %	Вогнегасна концентрація г/м ³	Екологічна небезпека
ПСБ-3	750	890*	15,0	До 150	Помірна

П-1А	1420	1620	12,6	До 150	Помірна
Пирант-А	1450	1770	18,1	До 150	Помірна
ПФ	1500	1700	11,6	До 150	Помірна

* нагрівання до 230°

Отже, для забезпечення високого рівня гасіння в компонентах вогнегасних порошків необхідно використовувати речовини, які мають не лише високу теплоємність, а й схильні в інтервалі температур 26-600°С 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. Сучасні вогнегасні порошки містять такі компоненти.

1.2.3. Сучасний стан розроблення і умови застосування газових вогнегасних речовин і систем газового пожежогасіння

Набагато вищу вогнегасну ефективність та тривалість захисту проявляють вогнегасні гази – CO₂, N₂, Ar, He та їх суміші.

Ефективність застосування автоматичних систем газового пожежогасіння загально відома [50]. Сучасні газові вогнегасні речовини, які набули широкого застосування, сааме: в автоматичних системах газового пожежогасіння об'ємним способом, розподіляються за своїм агрегатним станом на зріджені, рідинні та стиснені. До першої групи належать: хладон 125 (C₂F₅H); хладон 227ea (C₃F₇H), хладон 23 (CF₃H), хладон 218 (C₃F₈), хладон ТФМ-І (хладон 23, CF₃H – 90 % (мас.) + йодистий метил, CH₃I – 10 % (мас.)), хладон 1311 (CF₃I), шестифториста сірка (SF₆), діоксид карбону (CO₂). До другої групи належать:

хладон 2402 ($C_2F_4Br_2$), хладон 21711 (C_3F_7I), ФК-5-1-12 ($CF_3CF_2C(O)CF(CF_3)_2$) (торгова назва Noves 1230). До групи стиснених газових вогнегасних речовин належать: галон 1301 (CF_3Br); азот (N_2), аргон (Ar), аргоніт (азот-50 % (об.)+аргон – 50 % (об.)), інерген (азот – 52 % (об.)+аргон – 40 % (об.)+8 % (об.) CO_2).

Наприкінці 20 сторіччя було виявлено, що такі ефективні за вогнегасною та флегматизувальною здатністю хладони, як галон 1301 (CF_3Br), хладон 2402 ($C_2F_4Br_2$), мають високий озоноруйнівний потенціал, що призводить до руйнування озонового шару Землі у разі їх проникнення до верхніх шарів атмосфери [51-53]. У зв'язку з цим, у всьому світі поширились дослідження стосовно пошуку альтернативних екологічно прийнятних вогнегасних речовин.

На даний час накопичено як позитивний, так і негативний досвід застосування таких засобів пожежогасіння. Практика висвітлила специфічні особливості аерозольного пожежогасіння, які слід враховувати, щоб не отримати протилежний до бажаного результату. З метою розширення сфери застосування таких засобів пожежогасіння та кваліфікованого їх застосування на ринку України актуальними залишаються дослідження з поглиблення знань щодо флегматизувальних та вогнегасних властивостей аерозольних вогнегасних речовин.

Як відомо, однією з переваг такого виду вогнегасної речовини над іншими є досить тривалий проміжок часу, протягом якого в об'ємі, який є об'єктом протипожежного захисту, концентрація вогнегасного аерозолу суттєво не змінюється. Ця особливість відкриває перспективу використання такої дисперсної системи як «газ – тверда фаза» для перетворення горючих газових середовищ на негорючі, тобто їх флегматизування. Поряд із високою економічною ефективністю, яка полягає в значному зниженні матеріальних збитків від пожеж на захищених об'єктах, збільшуються витрати на технічне обслуговування систем протипожежного захисту.

На сьогодні важливе місце в дослідженнях і розробках у сфері протипожежного захисту займає напрямок, пов'язаний з вдосконаленням об'ємного способу пожежогасіння. В індустріально розвинених країнах об'ємний спосіб гасіння з використанням газів, хладонів домінує у захисті обчислювальних центрів, машинних залів, транспортних засобів, багатьох промислових об'єктів. Об'ємний спосіб гасіння пожеж забезпечує не тільки швидке припинення процесу горіння в будь-якій точці об'єму, що захищається, але і розбавлення його горючого газового середовища. В роботі [54] запропоновано підвищення рівня протипожежного захисту технологічних процесів шляхом розбавлення горючих середовищ азотом, отриманим з повітря методом його розділення мембранними установками. Але такий спосіб отримання азоту є дорогим і має обмежене застосування. В роботі [24] запропоновано запобігати займанню горючих середовищ, які можуть виникнути на компресорних станціях, газотурбінними приводами – газовими вогнегасними речовинами. Також автор вказує, що застосування газів-розріджувачів підвищує температуру самозаймання, що робить процес безпечнішим. Автор [55] пропонує створювати інертне середовище в приміщеннях кораблів видаленням із приміщень частини газового середовища, яке містить кисень, працюючими енергетичними установками, включеними в режим забору повітря.

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

Вищенаведені способи гасіння та запобігання горінню є досить складними та вартісними і потребують на об'єктах запасів газів-флегматизаторів.

Поряд з тим, на теперішній час набули широкого застосування аерозольні системи пожежогасіння, застосування вогнегасного аерозолю в

якості флегматизатора розглядається переважно на рівні експериментальних досліджень.

Як відомо, горіння більшості вуглеводневих речовин припиняється у разі зниження вмісту кисню у горючому середовищі до 12-15 %, а для речовин, які характеризуються широкою областю займання (водень, ацетилен), металів (калій, натрій та ін.), деяких гідридів металів і металоорганічних з'єднань, тліючих матеріалів – до 5 % і менше. У табл. 1.6 наведено граничний вміст кисню, за якого ще підтримується горіння горючих речовин при розбавленні середовища інертними розріджувачами.

Таблиця 1.7

Граничний вміст O₂ при розбавленні газоповітряного середовища (%) [56]

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

У хімічних перетвореннях, що супроводжують горіння органічних речовин, інертні розріджувачі участі не беруть. Вогнегасна ефективність їх тому невисока. Для більшості горючих речовин і матеріалів вогнегасна концентрація газових вогнегасних речовин- розріджувачів за об'ємного способу гасіння становить 0,6-0,8 кг/м³ [23]. У разі застосування діоксиду карбону летальна концентрація його становить близько 10 %. Разом з тим, вогнегасні

концентрації азоту і діоксиду карбону становлять відповідно 33 % (від.) і 22 % (від.), тобто виявляються вище небезпечних для людей концентрацій [21].

Усім вогнегасним речовинам, у тому числі газовим вогнегасним речовинам-розріджувачам, притаманні як переваги, так і недоліки.

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

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

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

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

Для більшості горючих речовин вогнегасна концентрація двоокису вуглецю становить 20-30 % (об.), при практичному гасінні пожежі вона приймається не менше 30% по об'єму або 0,637 кг/м³ для приміщень категорії В та 0,768 кг/м³ для категорій А і Б [57]. Випадки застосування твердого СО₂ для охолодження горючої речовини до температури, нижчої за температуру запалювання, настільки рідкісні, що враховуючи ефективність гасіння, ними можна знехтувати [58, 59].

Одним із поширених флегматизаторів-розріджувачів є азот, на базі якого створено сучасні системи пожежогасіння. Це обладнання ефективно для

запобігання і ліквідації вибухів, пожеж на об'єктах нафтогазового комплексу, на хімічних, нафтохімічних і інших підприємствах. У багатьох випадках вони являють собою єдиний тип обладнання, що застосовується для гасіння важкодоступних вогнищ пожежі, як наприклад, в шахтах [58].

Азот використовується для гасіння горючих парів та газів, для продувки і осушення ємностей і апаратів від залишків газоподібних або рідких горючих речовин. Балони зі стисненим азотом в умовах розвиненої пожежі становлять небезпеку, оскільки можливий їх вибух внаслідок зниження міцності стінок за високої температури і підвищення тиску газу в балоні при нагріванні. Азот не можна застосовувати для гасіння магнію, алюмінію, літію, цирконію та інших матеріалів, які утворюють нітриди, що здатні вибухати. У цих випадках в якості інертного розріджувача застосовують аргон, значно рідше – гелій [59].

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

Аргон не чинить руйнівного впливу на озоновий шар і не сприяє процесу глобального потепління. Аргон застосовується для гасіння пожеж класу А, В, С та Е і вважається одним з найбільш екологічно прийнятних газів для гасіння. Цей газ відносять до чистих речовин, які не залишають слідів і не призводить до утворення шкідливих продуктів розкладання при контакті з полум'ям [60,61].

Аргон усуває горіння шляхом зниження концентрації кисню в повітрі. Принцип роботи інертних газових систем полягає у зниженні концентрації кисню в атмосфері до рівня, який не підтримує горіння (нижче 14%). Кількість цієї речовини завжди точно розраховується, щоб не перевищити допустимі норми при зниженні кисню, бо це може призвести до загибелі персоналу. Використовують газ в закритих приміщеннях. Аргон звільняється і рівномірно розподіляється по всьому простору. Для того, щоб аргон подіяв ефективно, необхідний точний розрахунок необхідних кількостей, при якому враховують

площу приміщення та інші чинники; для рівномірного розподілу газу використовують систему труб. За розподіл газу відповідає спеціальне обладнання, яке виступає в ролі не лише регулювальника пожежогасіння, але і як системи виявлення вогню [62].

На основі позитивних результатів досліджень в Україні, для застосування в шахтах був виготовлений експериментальний зразок генератора інертних газів ПГ-1, згодом було розроблено генератори інертних газів з продуктивністю від 340 м³/хв інертного газу до 1500 м³/хв [63].

Такі генератори призначені для продукування газової вогнегасної суміші у будь-які замкнені приміщення (шахти, склади, тунелі, житлові приміщення, телевежі і т.ін.) [63].

Існує ряд проблемних моментів, які не дозволяють повною мірою використовувати вогнегасну ефективність вогнегасної газоаерозольної суміші, як засобу пожежогасіння об'ємним способом. До них належать: недостатня концентрація аерозолу в так званих «мертвих зонах»; гасіння у важкодоступних, для проникнення вогнегасного аерозолу зонах; нерівномірний його розподіл [64].

Таблиця 1.8

Вогнегасна ефективність об'ємних вогнегасних речовин

Вогнегасна речовина	Вогнегасна концентрація	Флегматизувальна концентрація	Небезпечна концентрація для людини
АУС, г/м ³	22	65	Від 30
ВП П-2АПМ, г/м ³	65	200	Від 50
СО ₂ , % об.	22	33	Від 4
N ₂ , % об.	33	43	Від 30
Інерген	52	-	-

Гази CO_2 , N_2 та інші вперше набули широкого використання в галузі газового пожежогасіння у 60-х роках минулого століття завдяки їх виключній вогнегасній здатності і відповідним фізичним властивостям. Але потім була виявлена їх причетність до руйнування стратосферного озону – після вивільнення деякі хладони вступають в реакції каталітичного руйнування озону, при цьому самі не витрачаються. Загалом про токсичну небезпеку хладонів написано багато наукових праць.

1.3. Сучасний стан розроблення систем пожежогасіння на основі вогнегасних речовин об'ємної вогнегасної дії

Темпи обладнання об'єктів народного господарства автоматичними установками протипожежного захисту залишаються ще невисокими. Поряд із високою економічною ефективністю, яка полягає в значному зниженні матеріальних збитків від пожеж на захищуваних об'єктах, збільшуються витрати на технічне обслуговування систем протипожежного захисту. Залишаються невирішеними екологічні питання, які пов'язані з застосуванням у цих системах озоноруйнівних фреонів. Тому пошук рішень наукових задач, спрямованих на підвищення ефективності протипожежного захисту об'єктів, є актуальним. Це підтверджується прийняттям державної концепції експлуатації об'єктів [65], яка передбачає розвиток наукових напрямків із запобігання пожежам, яка передбачає вивчення можливих аварій, їх кількості та тривалості, можливих наслідків та причини ускладнення пожеж через наявність важкодоступних місць.

При цьому пожежі та аварії, які стаються останнім часом, характеризуються постійною тенденцією до збільшення їх масштабів та збитків. Особливо ця проблема стосується пожеж, які виникають на промислових об'єктах із зберіганням легкозаймистих горючих рідин та твердих речовин. Так наприклад, пожежі, які виникають на автозаправних станціях, коли горить

паливо в розливі чи в резервуарі, характеризуються високою динамікою зростання температури та максимальною швидкістю поширення полум'я вже з перших секунд пожежі. Інколи такі пожежі починаються або супроводжуються вибухами газопароповітряних сумішей, а наявні засоби для первинного пожежогасіння (вогнегасники) на об'єктах можуть припинити горіння лише на початковій стадії і зазвичай не є дієвими під час розливу горючих рідин. Найефективнішими для гасіння на початковій стадії пожежі є аерозольні системи гасіння [66], через що їх використовують в якості складової цілої системи протипожежної безпеки. Часто цей тип вогнегасників встановлюють на промислових об'єктах, різних виробничих цехах або складах. Основна перевага аерозольних генераторів – їх автоматизація, своєчасне реагування на загоряння і їх невелика ціна. Наприклад, «Огнетушитель аэрозольный ОВ-1» – вогнегасник використовується для гасіння джерел загоряння з твердих горючих матеріалів (пожежі класу А), включаючи електрообладнання під напругою до 1000 В (клас Е), а також рідких матеріалів (клас В). Його часто використовують для гасіння комп'ютерів, загоряння в автомобілі або електродвигунах, паперу, текстилю, дерева, пластику. За допомогою такого вогнегасника на поверхні матеріалу, який гасять, створюється захисний вогнеперешкоджуючий шар, який запобігає подальшій можливості повторного займання горючого матеріалу.

Переваги аерозольного вогнегасника:

- нові технології, що застосовуються для гасіння локальних пожеж;
- інтенсивне охолодження джерела займання і зони горіння;
- висока димоосаджувальна здатність в зоні гасіння пожежі;
- не створює непридатного для дихання середовища;
- екологічно чистий вогнегасний склад.

Одним з вогнегасників аерозольного типу є «PFE-1» [67]. Вогнегасники «PFE» не бояться вологи, корпус з діелектричного матеріалу. Вогнегасна речовина

безпечна для електрообладнання, для людей і тварин, для навколишнього середовища.



Рисунок 1.3 – Вогнегасник «PFE-1»

У 2014 році в Україні продукція пройшла випробування і сертифікована згідно з НАПБ А.01.001-2004 та ДСТУ 3675-98 (Сертифікат № UA1.166.0004865-14).

Основні параметри PFE-1:

1. Дистанція гасіння: 1-3 м;
2. Час роботи: менше 12 с;
3. Висота вогнегасника: 242 мм;
4. Діаметр вогнегасника: 53 мм;
5. Вага: 500 г +/- 20 г.

Сфера застосування:

1. Розподільні електромережі – захист трансформаторів, підстанцій, електрощитових, кабельних тунелів, апаратних, електростанцій, генераторів та ін.

2. Телекомунікації – захист апаратних, серверних, сховищ і центрів даних та ін.

3. Морська галузь – захист машинних відділень суден, компресорних, вантажних відсіків, катерів, яхт, вітрильників, великих комерційних суден і причалів.

4. Будівництво – захист машинного обладнання, складів, гаражів, кухонних приміщень, офісів, висотних будівель та ін.

5. Нафтогазова галузь – захист пунктів управління, електрощитових, насосних станцій, енергосистем і розподільних систем, нафтохімічних і трубопровідних систем та ін.

Якщо розглядати інші види сучасних вогнегасних засобів для гасіння складних пожеж, то серед них необхідно відмітити «ViZone 5000» [68] – установка газопорошкового пожежогасіння (УГПП) «ViZone», яка призначена для захисту резервуарів з легкозаймистими речовинами в якості альтернативи традиційним системам пінного пожежогасіння. Нова технологія для гасіння пожеж на початкових етапах в резервуарах з нафтопродуктами, що використовує при цьому стаціонарну установку масою 1 т порошкової суміші.



Рисунок 1.4 – Стаціонарна установка «ViZone 5000»

Перевагою цієї установки перед стаціонарними установками пінного гасіння є мала інерційність (близько 15 с), що дає змогу за 3-4 с локалізувати та ліквідувати пожежу, а спрацювання стаціонарних установок пінного гасіння становить біля 3 хв. Також установка «ViZone 5000» може використовуватися в сховищах з артилерійськими бойовими снарядами, для захисту архівних приміщень та для захисту установок нафтової промисловості.

Одним з сучасних методів гасіння є «Натиск» [69] – високоефективна технологія гасіння пожеж з використанням технології компресування піни. Переваги компресійної піни над іншими установками подачі піни:

- зменшує час гасіння до семи разів;
- дальність струменя піни – до 30 м;
- час затримки компресійної піни на поверхні 1-1,5 год,
- екологічність компресійної піни (піноутворювач м'який та розкладається на 100%).

Використовується для гасіння пожеж в багатоквартирних будинках будь-якої поверховості, будівлях громадського призначення та на промислових підприємствах, зокрема нафтової-газової галузі.

Також одним з ефективних методів гасіння, який поширений в країнах Європи, є «Кобра». В даний час існує вже понад 700 установок пожежогасіння з гідро-абразивною різкою «Кобра» [70], встановлених як на невеликих оперативних машинах, так і на великих вантажопідйомних пожежних машинах (автоцистернах) більш ніж в 30 країнах світу.

Метод гідроабразивного різання полягає в змішуванні води і абразиву, що викидається через спеціальний вихідний отвір під високим тиском (> 250 бар) і здатного пробити всі типи стандартних будівельних матеріалів і конструкцій з них, включаючи бетон, цеглу, цемент, дерево, метал, покрівельні матеріали, скло, композитні матеріали і їх похідні. Застосування установки «Кобра» дозволяє знизити ризики роботи рятувальників, оскільки гасіння ведеться з безпечної позиції, ззовні будівлі. Таким чином, знижується ризик травми через вплив теплового випромінювання та вибуху горючих газів.



Рисунок 1.5 – Автономна установка гасіння ШАР-1

-Також заслуговує на увагу порошковий самоспрацюючий вогнегасник «ШАР-1» [71], який виготовляється компанією Siam Safety Premier Co. Ltd (Тайланд). Пристрій використовується для протипожежного захисту промислових і с/г об'єктів і споруд, для квартир житлових будинків і приватних будинків, транспорту, гаражів, автомайстерень та важкодоступних місць.

Принцип спрацювання пристрою полягає в його активації, під впливом полум'я. У цьому – абсолютна унікальність даного вогнегасника. Склад – порошок Furex770, основним компонентом якого (91%) є фосфат моноамонію в тонкодисперсному стані (не менше 60% часток не перевищує 40 мкм).

Подібним способом гасіння характеризується «Спасатель-1» – вогнегасник, призначений для ефективного гасіння вогнища пожежі на початковій стадії людиною шляхом вкидання капсули в осередок пожежі. Об'єм, який захищається однією капсулою – 8-15 м³. Діапазон температур зберігання становить від -20 С° до +80 С°. Маса капсули – 630 г. Гарантійний термін зберігання – 5 років.

«Спасатель-1» [72] – призначений для гасіння пожеж класів – А, В, С, Е та може використовуватися в житлових, офісних, виробничих і складських приміщеннях в якості первинного засобу пожежогасіння. Вогнегасний склад, для вогнегасника «Спасатель-1» – розроблений і виробляється японською компанією Bonex.

«Спасатель-1» складається з травмобезпечної циліндричної капсули для зберігання вогнегасної речовини. При руйнуванні контейнера виділяються гази і вода. Вода випаровується і охолоджує поверхню горіння. Вуглекислий газ перекриває доступ кисню до вогнища пожежі. Пари амонію зупиняють реакцію горіння. На палаючій поверхні створюється захисна плівка з поверхнево-активних речовин – що запобігає повторному загорянню.

Аналогом «Спасатель-1» є «Bonex FR911» [73] (виробник США) – призначений для гасіння пожеж класу А, В і С. За ефективністю «FR911» є покращеною технологією свого попередника SAT119.

Принцип роботи «FR911»: вогнегасна речовина викидається в атмосферу, при попаданні ампули у вогонь. Від тепла вогню буде випаровуватися вогнегасна речовина, що призведе до хімічної реакції. Речовина вивільняє певну кількість вуглекислого газу, який придушить вогонь, тим самим загасить його. В результаті хімічної реакції охолоджуючий агент покриває плівкою горючий матеріал, охолоджує температуру горіння матеріалу, що запобігає повторному загоранню. Хімічна реакція триває всього кілька секунд. «FR911» є дуже ефективним для гасіння початкових загорянь.

Аналізуючи масштабні пожежі на газових та нафтових родовищах, можна прийти до висновку що на теперішній час немає ефективних засобів для їх гасіння. Цікава програма для гасіння масштабних пожеж на газових та нафтових родовищах була реалізована ще в СРСР починаючи з 1965 року. Вона полягала у використанні ядерних вибухів в інтересах народного господарства. З 124 мирних ядерних вибухів 117 технологічних вибухів було проведено поза межами ядерних полігонів (Семіпалатинського і на Новій Землі) [74-79].

Загалом за результатами робіт науковців вогнегасну дію, притаманну поширеним на даний час вогнегасним засобам, можна звести в одну таблицю.

Таблиця 1.9

Вогнегасні чинники впливу засобів пожежогасіння [80]

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
BC	1	4	1	0	1	(E,F)
ABCD	1	3	0	3	0	B,C (E,F)
D	1	1-2	0	1-2	0	A,B,C,D
ЦП (цільового призначення)	1-2	1-3	0-2	0-3	0-1	(E) D

						ЦП
Рідиннофазові неводні	1-2	4	2	0	2	В,С (Е)
Вода	2	0	1	0	0	А
Рідиннофазові водні (вода+ПАР)	3	0	1	0	0	А,В,С (Е,Ф)
Рідиннофазові водопінні	1	0-1	0-1	3-4	0-1	В,А
Рідиннофазові водоємільсійні	2	0-2	0-2	0	0-2	В,С
Рідиннофазові гелеутворювальні	3	0	0	2	0	А
Рідиннофазові комбіновані	2-3	1-4	1-4	1-4	1-4	А,В,С
Підігріта вода	2	0	2	0	2	А,В,С
Газофазові розріджувачі	1	0	4	0	4	В,С (Е, Ф)
Газофазові інгібітори горіння	1	4	2	0	4	В,С (Е, Ф)
Вогнегасні аерозолі (тверда та газова фази)	1	4	2	0	4	В,С (Е, Ф)

Отже, навіть враховуючи різноманітність застосовуваних вогнегасних речовин, достатню їх кількість, широкий спектр та велику кількість застосовуваних технічних засобів пожежогасіння та постійну готовність пожежно-аварійних підрозділів до гасіння пожеж, ліквідація таких пожеж залишається великовитратним та небезпечним процесом. І при цьому жоден вогнегасний засіб, навіть комбіновані, не забезпечують «повноцінного» гасіння (табл. 1.7). Причини цього ми вбачаємо в постійному погіршенні економічних та організаційних умов для профілактики та гасіння пожеж, а також в постійному ускладненні ситуації в зв'язку з застарілим аварійно-рятувальним обладнанням, яке потребує заміни. При цьому інтенсивність його використання постійно зростає.

1.3.1. Застосування газових вогнегасних речовин в системах протипожежного захисту об'єктів

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

Дослідження рецептур сучасних зарядів АУС і властивостей одержуваних із них вогнегасних аерозолів, показало, що сучасні аерозоль утворювальні сполуки мають високі експлуатаційні характеристики, наприклад, вогнегасна концентрація у 3-5 разів нижча за концентрацію хладону 13В1, а коефіцієнт озоноруйнівної дії аерозолу при вогнегасних концентраціях дорівнює нулю. Також продукти згоряння АУС безпечні для людей, не руйнують обладнання, що захищається. Разом з тим температура продуктів згоряння має достатньо високі значення.

Вивчення особливостей побудови та функціонування сучасних систем об'ємного пожежогасіння показало, що найперспективнішими є автоматичні системи аерозольного пожежогасіння, основним елементом яких є генератор вогнегасного аерозолу.

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 металоємність системи, простота технічного обслуговування та тривалий строк експлуатації системи. Час роботи системи аерозольного пожежогасіння, порівняно з аналогічною характеристикою систем об'ємного гасіння, залишається досить великим. Значною мірою на це впливає тривалість роботи ГВА.

Наукові результати з питань розроблення таких систем та їхніх елементів, а також дослідження механізму дії вогнегасних аерозолів та вогнегасних газових речовин висвітлено у А.М. Баратова [81] В.М. Баланюка [82], з яких можна

зробити висновок, що вогнегасні суміші мають дещо вищі вогнегасні властивості ніж окремі їх елементи.

У роботах В.В. Агафонова та М.П. Копилова [83-85] відмічено, що вогнегасна ефективність аерозолів напряду залежить від їх дисперсності та відповідно від складу гетерогенної фази.

Що стосується аерозольних та порошкових засобів гасіння, то в роботах В.В. Азатяна Л.П. Вогмана [86, 87], Беликова А.С. [88, 89], А.В. Антонова [90-92], В.І. Горшкова [93], Ю.М. Шебеко [94] висвітлено та проаналізовано рецептури вогнегасних порошкових сумішей, експериментально встановлено їх вогнегасну ефективність. Проаналізовано їх переваги та недоліки а також способи їх використання. Автор праці С.М. Бондаренко [95, 96] обґрунтував позитивні та негативні сторони використання аерозольних вогнегасних генераторів та встановив конструктивні особливості їх використання. Автори праць – В.М. Алікін [97], О.В. Тарахно [98] О.А., О.О. Сізіков [99-104], В.О. Дунюшкін [105, 106], В.П. Тарадайка [64], Ю.А. Мишак, С.О. Радченко [107, 108], А.Я. Корольченко та Д.А. Корольченко [108, 109] досліджували взаємодії дифузійного полум'я з вогнегасними речовинами та визначали їх вогнегасні концентрації.

Праці С.Г. Цариченка, М.Н. Мешмана [110, 111], Вайсмана М.Н., [112], Д.А. Журбинського [113, Ю.О. Копистинського [114, 115] та ін., [116-120] присвячені розробці комбінованих систем пожежогасіння. В працях [12 -129] описано технологічні особливості виготовлення піротехнічних зарядів.

В роботах [130-135] висвітлено загальні фізико-хімічні основи розвитку та припинення горіння, умови матеріального та теплового балансу процесу горіння, описано фізико-хімічні властивості та засоби гасіння для найбільш поширених хімічних речовин, процесів горіння, які взаємопов'язані з науковими дослідженнями, щодо способів та засобів гасіння комбінованими системами вогнегасного аерозолу газів та ударних хвиль.

В цих роботах [130 - 135] основна увага приділяється вирішенню таких проблем: зниження пожежної небезпеки процесу отримання вогнегасної речовини, вибору оптимальних схем розміщення ГВА для забезпечення рівномірного розподілу аерозолі в захищеному приміщенні. Питанням удосконалення таких характеристик ГВА, як тривалість роботи, швидкодія, інтенсивність аерозолеутворення, практично не приділяється уваги.

Протягом останніх десятиліть зросла потреба у змінах вимог щодо контролю за безпекою в переробній промисловості. Існує потреба у ідентифікації потенційних небезпек за наявними небезпечними матеріалами, які обертаються в технологічних установках. Нові аварійні ситуації все більше спонукають до створення нових методів захисту, в основному для технічного аналізу. В даний час пожежі майже завжди є результатом поєднання організаційних питань, відсутності або слабкої компетентності та технічних збоїв (старіння) обладнання. Тому існує необхідність в удосконаленні характеристик вогнегасних засобів, швидкодії, інтенсивності подачі вогнегасних засобів ефективності аерозолеутворення та ін.

Аерозолі [136-140] мають більш низькі об'ємні концентрації, низьку токсичність, відсутність відомих глобальних атмосферних впливів на навколишнє середовище, а також потенціал для широкого спектра застосувань. Використання твердої суміші, гелю або порошку в якості відправної точки для генерування аерозолі усуває необхідність трубопроводів і циліндрів під тиском та створює потенціал для широкого спектра застосувань для пожежогасіння на різноманітних об'єктах, літаках, вантажних контейнерах, мобільних притулках швидкого розгортання, резервуарах для зберігання палива, батареях, необслуговуваних телекомунікаційних засобах, а також броньованих відсіках двигунів транспортних засобів.

В Україні над створенням систем аерозольного пожежогасіння працюють, ТзОВ «Експерт 112» (м. Київ), СП "Паралакс", НВФ "Бранд-

Майстер" (м. Київ), ТОВ "Крайз" (м. Полтава), 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. Виробник Fire Pro розробив та випускає лінійку генераторів вогнегасного аерозолу, які володіють високою екологічною чистотою вогнегасних продуктів, та не утворюють форсу полум'я при гасінні.



Рисунок 1.6 – Генератори вогнегасного аерозолу Fire Pro [141]

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) [67] являє собою новий тип хімічної вогнегасної речовини, що складається з надзвичайно малих твердих частинок ($<1\mu$), які створюються від хімічної реакції окиснення і випускаються у вигляді аерозолу. Цей високоефективний аерозоль містить до 40% твердих частинок і 60% газоподібних молекул, має характеристики потоку газу, який легший за повітря, а гетерогенні частинки є стійкими у повітрі протягом тривалого часу. Через високе об'ємне розширення і малий розмір 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 [67].

Виходячи з проведеного аналізу можна зробити висновок, що в світі активно ведеться пошук ефективних рецептур та засобів пожежогасіння і запобігання горінню на початкових і не тільки етапах його виникнення.

1.3.2. Аналіз наукової літератури і нормативних документів щодо вогнегасної ефективності газових та аерозольних вогнегасних речовин

За нормальних умов аерозольутворювальні сполуки (АУС) характеризуються високою хімічною стабільністю, але здатні інтенсивно 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 АУС із елементів горючих речовин і кисню мінерального окисника утворюються газоподібні

продукти, а із 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 в газовому просторі. Відбувається їх конденсація з утворенням у потоці газу твердих частинок мікронних і субмікронних розмірів – аерозолію.

Ефективність дії вогнегасного аерозолію залежить насамперед від складу твердопаливних композицій, а також умов їх згоряння. При виборі окисника враховують в першу чергу здатність його підтримувати горіння завдяку кисню, який вивільняється при термічному розкладі цього окисника. Окрім того окисники, які використовуються в АУС, мають бути мінімально гігроскопічними і токсичними, стійкими при температурах 50-70°C і до дії води, а їх розкладання не повинно 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.

Горючі компоненти потрібно обирати враховуючи можливість легкого окислення їх киснем повітря чи окисника, здатність виділяти при згорянні достатню кількість газів. Горючою основою АУС здебільшого є такі органічні синтетичні речовини, як фенолформальдегідна новолачна смола (ідітол), епоксидіанові та поліефірні смоли, синтетичні каучуки та нітроцелюлоза з різноманітними пластифікаторами. Окрім згаданих характеристик ці речовини володіють одночасно властивостями притаманними як горючій речовині, так і зв'язному-цементатору, що забезпечує високу міцність вогнегасних зарядів [14, 64, 120-126]. Найпоширенішими на сьогодні є нестехіометричні аерозольутворювальні композиції, тобто з надлишком горючого. Повнота згоряння 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 значній віддалі від поверхні горіння, оскільки залучене повітря не є ефективним охолоджувачем. Для зменшення температури таких факелів запропоновано використовувати спеціальні охолоджувачі, що призводить до зростання як ваги усієї конструкції генератора, так і його габаритів. До того ж, як показує практика, спостерігається зниження вогнегасної ефективності аерозолю та екологічної чистоти АУС [137].

Загалом, основною перевагою таких складів є висока ефективність гасіння полум'я. Це пов'язано, насамперед, зі збільшенням ступеня розбавлення зони горіння інертними газами, зокрема N_2 з повітрям, яке відбувається в дифузійному факелі [138]. В роботі [139] 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%. Крім цього відбувається розбавлення горючої суміші негорючими газами (CO_2 , N_2 , пари H_2O), які утворюються при згорянні твердопаливної композиції, що викликає деяке зниження швидкості окиснення в полуменевій зоні і, як наслідок, зниження швидкості і температури горіння. Однак автори роботи [136, 137] висловлюють думку, що впливом розбавлення зони горіння варто знехтувати, оскільки фактична концентрація інертних газів при гасінні аерозолем приблизно дорівнює $0,025 \text{ кг/м}^3$, що в 16 разів менше, ніж потрібно для гасіння методом розбавлення горючого середовища. Але попри те добавляння інертних газів приводить до суттєвого підвищення вогнегасної ефективності бінарних систем [137]. Не зважаючи на суттєві переваги таких складів при гасінні пожеж об'ємним способом, вони неефективні при гасінні тління.

Згоряння нестехіометричних складів, яке відбувається без доступу повітря, супроводжується виділенням метану, вуглекислого газу, вуглеводнів та надлишкового власного кисню [140]. Перевагою таких складів, як зазначено в роботі [143], є їх можливість придушувати тління. Проте для повного окиснення

продуктів згоряння таких складів власного кисню недостатньо. Велика кількість горючих газів в продуктах згоряння є легшими за повітря, що очевидно призводить до поступового зменшення їх концентрації внизу приміщення. Спливаючи вгору, вони захоплюють з собою найдисперсніший 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, і високою температурою горіння.

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

Умови практичного застосування аерозольних 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.

Одним з перспективних засобів, які використовують для гасіння пожеж на нафтоховищах та під час розливів легкозаймистих рідин, є імпульсна аерозольна система, яка спрацьовує при запаленні твердопаливного заряду газогенератора, продукти його згоряння створюють досить високий тиск, під впливом якого відбувається компактування і рух частинок вогнегасної суміші всередині корпусу [144]. Після їх виходу з приладу, продукти згоряння

формують балістичну хвилю низької інтенсивності, котра збиває полум'я, а також розпорошує і диспергує вогнегасну суміш, яка у вигляді аерозольної хмари дрібнодисперсних частинок, утворює пару, що витісняє кисень повітря з вогнища горіння, оскільки продукти згоряння газогенератора його не містять. Поєднання всіх цих факторів (дія балістичної хвилі, охолодження газу в зоні хмари частинок, наявність парів і витіснення з цієї зони кисню повітря), а також підбір потрібного співвідношення маси заряду газогенератора і вогнегасної суміші, дозволяють гасити різні типи масштабних пожеж великої інтенсивності.

Системи пожежогасіння об'ємним способом, у яких використовують газові вогнегасні речовини, можна застосовувати для гасіння пожеж певних класів з урахуванням обмежень, описаних у нормативних документах [145-148]. Цими стандартами передбачено необхідні концентрації вогнегасних речовин, виходячи з розрахунку на одиницю об'єму захищуваних приміщень. Такі концентрації визначаються за методами, описаними у 7.6 ISO 14520-1. В Україні чинний ДСТУ 4466-1:2008 Системи газового пожежогасіння. Проектування, монтування, випробування, технічне обслуговування та безпека. Частина 1. Загальні вимоги (ISO 14520-1:2006 MOD), який встановлює альтернативний метод визначення мінімальної вогнегасної концентрації.

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

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

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

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

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

Визначення нормативної концентрації газової вогнегасної речовини для пожежогасіння об'ємним способом проводять за результатами лабораторних випробувань.

В науковій літературі крім зазначених вище застосовуються дослідні методики, які можна умовно поділити на методи «камери» та «циліндра» [115-117, 146-151].

Результати досліджень ефективності вогнегасного аерозолю за розробленими методиками опубліковано у роботах [149-151]. Установки автоматичні аерозольного пожежогасіння, їх проектування, монтування та експлуатація [152].

Оскільки основний склад АУС – це такі солі, як K_2CO_3 , KOH , KCl та інші, то деякі дослідники [81-83, 88, 82], схильні вважати, що механізм дії аерозолю подібний до механізму дії вогнегасних порошоків, а підвищити ефективність аерозолю можна шляхом збільшення газифікації вихідних компонентів рецептур АУС з максимально можливим вмістом інертних газових розріджувачів (азот, CO_2 , водяна пара) причому збільшення газифікації аерозолю [150- 55] сприяє підвищенню його вогнегасної ефективності.

Основним загальним недоліком для більшості аерозольотворювальних сумішей є їх порівняно високі вогнегасні концентрації та досить високі температури горіння. Більшість з цих складів являють собою багатокомпонентні суміші, що збільшує собівартість складу, та ускладнює їх виготовлення і зберігання. Наприклад, відомий склад [156], який містить в основі нітрат калію (38 – 80 %), перхлорат калію (30 – 45 %), в якості горючого – сажу (10 – 19,5 %), ідітол (0,5 – 1,5 %), гіпс (5 – 13 %), портландцемент (10,5 %), рідке скло (17 – 45 %), натрію бутилнафталін, КМЦ (0,6 – 0,1 %), оксид міді (2 %), оксид цинку (4 %), оксид заліза (0,5 – 1 %). Вогнегасна концентрація аерозолю, отриманого з таких АУС, становить 59 –

133 г/м³, що є на рівні деяких вогнегасних порошкових засобів. Зараз паралельно з вогнегасними аерозолями для об'ємного гасіння застосовують інертні розріджувачі. Інертні розріджувачі – група газових вогнегасних речовин, до яких, зокрема, входять діоксид вуглецю, азот, аргон та їх суміші, – нетоксичні, які не утворюють токсичних продуктів термічного розкладу, не руйнують озоновий шар та є більш доступними і дешевими, ніж хладони та деякі інгібітори горіння. Оскільки в рамках Монреальського протоколу [157] виробництво хладонів було припинено у всіх розвинених країнах, питання заміни їх постало в багатьох дослідних центрах та інститутах світу. Однією з перших газових вогнегасних речовин, яку було запропоновано, як альтернативу хладонам, – був діоксид вуглецю (CO₂).

Але згідно з Монреальським та Кіотським протоколом [158, 159], CO₂ відноситься до парникових газів, викид яких регламентується, а дослідження щодо інноваційних екологічно безпечних технологій є пріоритетними та відповідають пункту 4 статті 2 протоколу. Тому, з метою зменшення викиду цього газу в атмосферу, для забезпечення вогнегасної ефективності газоаерозолів доцільно використовувати азот N₂, який широко використовується в якості екологічно чистого флегматизувального та вогнегасного агента. Треба зазначити, що на даний час створено досить велику кількість альтернативних хладонам засобів гасіння [151-161]. Однак, більшість з них все ж не дають можливості говорити про абсолютну простоту експлуатації, дешевизну, а головне екологічну чистоту гасіння, а також значне зменшення часу та, як наслідок, і викидів продуктів горіння пожежі. 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 N₂ для n-гептану (C₇H₁₆) становить 33 %, [162]. Азот широко застосовується, для різноманітних систем пожежогасіння. Зокрема, існують установки як на території України, так і за кордоном, в яких цей газ

покладений в основу за принципом витіснення кисню. В роботі [163] автори пропонують використовувати азот в суміші з хладоном, для гасіння пожеж при катастрофах літаків, а в роботі [160] – для продувки внутрішніх технологічних об'ємів. Розробники [162] використовували для пожежогасіння азоту разом з дисперсною водою, так само як і в роботі [163], де автори пропонують сумісно подавати азот з водою в спринклерних системах. У роботі [164] також пропонують спільно подавати азот і воду, але вже у вигляді водяного туману. У всіх випадках азот використовували для зменшення концентрації кисню, що приводить до підвищення ефективності гасіння другим компонентом, як правило інгібітором.

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 горіння. Таким чином, негорючі газоподібні компоненти додатково розбавляють горючу систему, знижують концентрацію кисню і тим самим різко підвищують ефективність вогнегасної дії інгібітора. 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 % [162].

Крім цього, при добавлянні теплових флегматизаторів до хімічних інгібіторів вогнегасна ефективність останніх різко збільшується, як заявляють автори робіт [165 - 167]. Подібний ефект спостерігається і при використанні CO_2 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 [168]. 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.

Аналіз щодо сумісної дії газових розріджувачів та твердих дисперсних інгібіторів, які утворюють аерозоль, підтверджує сумарну синергетичну дію компонентів бінарної газоаерозольної системи. Таким чином, вплив азоту на вогнегасну ефективність аерозолів є відкритим питанням, яке потребує теоретичного аналізу характеристик аерозолу та експериментального визначення вогнегасної ефективності бінарних сумішей аерозолу та азоту.

Азот, як вогнегасний компонент, досліджено багатьма вченими зокрема авторами роботи [169, 170]. Вони перевірили ефективність придушення вогню газоподібним азотом за допомогою різних повномасштабних вогневих випробувань. Об'єм випробувальної камери становив 102 м³. Випробування проводилися за концентрації азоту $C_{\text{гас}} = 33,6$ 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. В табл. 1.9 представлені дані з гасіння класу С – на кабелях з поліетиленовою ізоляцією.

Таблиця 1.10

Результати тесту гасіння [167]

Агент	$C_{\text{гас}}$, % об.	Час, с	Фіксація повторного загоряння	Час догорання, с
Nitrogen IG-100	39,1	11	Так	3
IG-541	40,2	13	Так	6
m-200	1,6	6	Так	Кілька сек.
HFC-23	15,9	6	Так	Кілька сек.

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 життебезпечну концентрацію кисню може застосування

комбінованих аерозольно–газових систем, концентрація газу та аерозолу в яких має бути на порядок меншою за необхідну вогнегасну.

Відомо [168], що при спалюванні АУС з кожного його грама утворюється 0,3 – 0,5 л аерозолу, який складається з дисперсних частинок неорганічних солей калію, натрію, кальцію та інш., та суміші інертних газів-флегматизаторів – CO_2 , N_2 , водяної пари та інш. При взаємодії цих частинок утворюється складна система, структура і склад якої постійно змінюється в часі. Так, в момент утворення газоаерозольної системи вона складається з ультрадисперсних часточок солей калію, які можуть формувати структури з вмістом води та CO_2 . Такі структури будуть чинити набагато ефективнішу вогнепригнічувальну дію завдяки комбінованій дії інгібіторів та флегматизаторів.

В роботі [155] 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 [158] про те, що наявність інертних газових розріджувачів значно підвищує ефективність аерозолу. Результати дослідів [149, 155] 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 .

Питання пошуку нових вогнегасних речовин та синергізму між хімічними та фізичними вогнегасними агентами також вивчалось, які шукали нову екологічно чисту вогнегасну речовину, в якій хотіли зберегти всі «корисні властивості» Галона –1301 [171], але цей пошук не був успішним, оскільки отриманий вогнегасний агент 1–бром–3,3,3–трифторпропан не відповідав заявленим вимогам – мав низьку вогнегасну концентрацію, низьку температуру кипіння, високу вартість, і т. д. З метою отримання «екологічно» чистих вогнегасних агентів дослідники пропонують використовувати зріджений азот [172, 173], який, як вони вказують, може використовуватись для гасіння будівель та пожеж в резервуарах. Щодо вогнегасної ефективності азоту, то його необхідно використовувати як газ, що знижує концентрацію кисню, причому подавати його можна різними способами, але загалом необхідно, щоб газ потрапляв в зону горіння. Так, автори [174] 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.

Таким чином, вплив добавок N_2 та CO_2 на вогнегасну ефективність аерозолів на основі неорганічних солей калію, особливості гасіння та характеристики бінарних аерозольно-азотних сумішей є недостатньо вивченим питанням, яке підтверджує необхідність проведення досліджень у вказаному напрямку.

Відомо, що вогнегасна концентрація становить близько 22 % для CO_2 і 33 %р – для N_2 для гасіння n-гептану [175, 176]. Для створення вогнегасної концентрації цих газів потрібна досить велика кількість резервуарів і трубопроводів для їх зберігання та подачі на гасіння. Відповідно, це призводить до значного подорожчання самої установки і її монтажу, і як правило потребує окремих приміщень, і значних додаткових витрат. При цьому гасіння і

флегматизація забезпечується тільки завдяки заповненню об'єму та тепловідведенню від полум'я газами-флегматизаторами і при більш низьких концентраціях гасіння неможливе. Враховуючи зазначене, для підвищення вогнегасної ефективності вуглекислого газу і азоту дослідники пропонують різні способи, але в основному вони полягають у змішуванні газу з іншими газами, хладами або дисперсними вогнегасними речовинами, зокрема аерозолями

[82]. При цьому вогнегасна концентрація вихідного газу зменшується, але загальний обсяг газової суміші залишається майже таким же, або незначно зменшується, що не забезпечує підтримання достатньої концентрації O_2 .

1.4. Вогнегасна ефективність та екологічна прийнятність аерозольних вогнегасних речовин

Тактико-технічні характеристики деяких типових серійних генераторів вогнегасних аерозолів (ГВА) та мінімальну питому масову вогнегасну витрату АУС наведено у таблицях 1.3.1-1.3.2 [64, 84, 96, 137, 141, 168, 177], а у таблицях 1.3.4 – 1.3.5 наведено характеристики аерозольотворювальних складів (АУС) та їх рецептур на основі органічних палив.

Таблиця 1.11

Тактико-технічні характеристики деяких типових серійних ГВА [84]

Позначення ГВА	Вага АУС, кг	Σ Вага ГВА, кг	Розміри ГВА, мм	Захищувальний об'єм при гасінні пожеж класу А2, В*, м ³	Час роботи ГВА, с	Розміри зон аерозолю, м, з температурою, °С, більше		
						75	200	400
1	2	3	4	5	6	7	8	9
МАГ-3	0,19	0,8	D=75; L=151	1,5...2,2	5...9	1	0,4	0,2
МАГ-14	5,4	25	D=402; L=260	40...60	7...12	4	1,5	0,3

АГАТ-2**	9 2,5	82 75,5	D=181; L=1250	До 180 До 50	30	1,6	0,5	0
АГС-6	3,4	12,5	D=167; L=420	52	35±6	0,5	0,25	0,05
АГС-8/2	6,7	18	D=220; L=350	124	140±21	1,5	0,25	0,1
ОСАМ-20/40	2,7 4,8	9,1 11,2	D=200; L=260	31 57	35...100	0,32	0,12	0,04
ОСАМ-60	6,9 9,2	22,7 25	D=260; L=290	81 108	35...100	0,32	0,12	0,04
Пурга-К002	0,02	0,1	D=28; L=140	0,15	7...10	0,2	0,1	0
Пурга-МХ	1	5,6	D=100; L=623	8,5	20...25	0,9	0,2	0
СПТС-80Х	4,5	20	D=220; L=350	80	185±15	0,5	0	0
ФП-200	0,20	1,45	D=80; L=110	2	13...20	0,5	0,3	0,05
ФП-6300	6,3	18,5 +1,5	a=315; b=250; l=195	70	31...41	3	1,5	0

Примітка *Класифікація пожеж за ДСТУ 27331

Таблиця 1.12

Мінімальна питома масова вогнегасна витрата АУС [64, 84, 96, 137, 141, 168, 177]

Пальне	Сто АУС, г/м ³					
	СТК – 5 – 1	СТК – 2 МД	СБК	Л	ТЧ	Хладон 114В2
Ацетон	48	28-32	28-30	34-38	28-30	238
Гептан	65	38-42	36-40	48-56	33-39	278
Толуол	44	28	26-27	32-34	26	162
Етанол	46	33-35	30-32	36-38	32-34	267
Бензин А-76	48	35-36	34-36	42-44	35-37	215

Гас	58	36	30-32	40-42	33-36	220
CH ₄	70	38-40	38	52	37	320
H ₂	220	150-160	140-150	165-170	-	1600
ПММА	54-60	30-36	28-36	44-48	27-35	283
Гума	54	30-31	30	38-40	29	270
Деревина	63	42-45	36-39	48-49	36-41	340

В таблицях 1.8 та 1.9 наведено результати випробувань автоматичних систем аерозольного пожежогасіння в умовах, максимально наближених до реальних, а також результати оцінки працездатності електротехнічної і радіоелектронної апаратури та виробів після впливу на них вогнегасних аерозолів. Результати вказаних робіт свідчать про ефективність застосування засобів пожежогасіння об'ємної дії для протипожежного захисту та відсутність шкідливого впливу вогнегасних аерозолів з вмістом неорганічних солей-інгібіторів горіння на працездатність електрообладнання та мінімальний вплив на навколишнє середовище зазначених компонентів аерозольних вогнегасних речовин [84, 97, 177].

Розроблена сьогодні велика кількість аерозолеутворювальних сумішей для гасіння пожеж в більшості випадків складається з типових компонентів. В якості окисників використовуються: нітрат калію, перхлорат калію, хлорноокислий калій (40-80%); в якості палива та одночасно зв'язуючого в більшості випадків виступають: епоксидні та фенол-формальдегідні смоли, каучуки, та інші органічні та неорганічні горючі компоненти; як додаткові компоненти-газоутворювачі: вуглець, диціандіамід, дифеніламін, гуанідин, сечовина, органічні полімери та інші речовини, а також спецдобавки, каталізатори та інгібітори горіння, які призначені для усунення форсу полум'я, прискорення чи гальмування процесу горіння аерозольотворювальних складів.

За результатами аналізу патентної інформації слід зазначити таке. Композиційно аерозольні склади схожі на порохоподібні тверді матеріали, які

готують шляхом змішування горючого зв'язувального, окисників, каталізаторів (регуляторів) горіння, пластифікаторів, які сумішам надають пластичних властивостей, наповнювачів, технологічних добавок, затверджувачів і охолоджувачів.

Горюче зв'язувальне з однієї сторони виконує роль горючої речовини, яка згоряє і при цьому утворюється висока температура, а з іншої сторони – це речовина, що полімеризується і утворює монолітну масу, яка зв'язує усі компоненти аерозольного складу і дає можливість проводити технологічну обробку – формувати вироби різної форми і маси.

Окисник є джерелом кисню для реакції горіння, а продукти розкладу окиснювача є інгібіторами реакцій горіння.

Каталізатор, або регулятор горіння, регулює швидкість згоряння горючого зв'язувального, щоб не виникло вибухового горіння та зменшилось виділення токсичних продуктів горіння.

Пластифікатори надають суміші пластичних властивостей, що дає змогу формувати вироби різної форми і розмірів.

Затверджувачі сприяють затвердінню горючого зв'язувального у сформованому виробі під час його термічної обробки, після затвердіння виріб можна різати, свердлити, шліфувати і т.п.

Технологічні добавки сприяють формуванню більш щільного виробу, а з іншої сторони вони є горючими речовинами і сприяють додатковому газоутворенню.

Вогнегасні аерозолі отримують здебільшого шляхом розкладання 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 – утворювати вогнегасні аерозолі з прийнятними для ефективності пожежогасіння властивостями [178].

Горіння аерозольутворювальних сполук являє собою окисно-відновний процес. Як відновники зазвичай використовують горючі органічні або неорганічні речовини (метали, неметали, комплексні сполуки тощо), а окисниками є солі неорганічних кислот (наприклад, перхлорат або нітрат калію), оксиди металів, а також кисень повітря (або їх комбінації). Горіння твердопаливних композицій відбувається за високої температури (800-1000 °C і вище).

У результаті горіння можуть утворюватись такі продукти: суміші твердих і газоподібних речовин (наприклад, під час горіння сумішей фенолформальдегідної смоли з перхлоратом калію): $15\text{KClO}_4 + 2\text{C}_{13}\text{H}_{12}\text{O}_2 = 15\text{KCl}_{(\text{ТВ})} + 26\text{CO}_{2(\text{газ})} + 12\text{H}_2\text{O}_{(\text{пара})}$; тверді речовини (наприклад, під час горіння терміту) $\text{Fe}_2\text{O}_3 + 2\text{Al} \rightarrow \text{Al}_2\text{O}_{3(\text{ТВ})} + 2\text{Fe}_{(\text{ТВ})}$; газоподібні речовини (наприклад, під час горіння сумішей нітрату амонію з вуглецем або органічними речовинами): $4\text{NH}_4\text{NO}_3 + \text{C} = 3\text{N}_{2(\text{газ})} + 2\text{NO}_{(\text{газ})} + \text{CO}_{2(\text{газ})} + 8\text{H}_2\text{O}_{(\text{пара})}$.

Горіння різних за складом і хімічною природою компонентів твердопаливних композицій – складний процес, який можна умовно поділити на три стадії: ініціювання, займання і власне горіння (поширення вглиб). Для початку горіння необхідна зовнішня теплова дія (ініціювання), тобто нагрівання хоча б частини речовини до температури займання. Після займання правильно підібраної композиції немає необхідності в подальшому її нагріванні, оскільки теплоти, що виділяється під час згорання, достатньо для займання сусідніх шарів і самостійного горіння. Горіння твердопаливних композицій являє собою сукупність багатьох екзо- та ендотермічних процесів, а також дифузії і теплообміну. Воно починається в конденсованій, а закінчується в газовій фазі (полум'я).

Сполуки металів, що утворюються в результаті газозфазових хімічних реакцій і перебувають у полум'ї в газоподібному (пароподібному) 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. Таку двофазову систему, що утворюється під час горіння, називають твердофазовим аерозолем. Найбільш перспективними композиціями для отримання вогнегасних аерозолів є твердопаливні, наприклад такі, що складаються з нітрату (або перхлорату) калію та фенолформальдегідної смоли. Вони згорають практично повністю, утворюючи твердофазові аерозолі, тобто суміші негорючих газоподібних (азот, діоксид вуглецю, водяна пара тощо) і твердих речовин, головним чином сполук лужних та (або) лужноземельних металів (оксидів, гідроксидів, карбонатів, бікарбонатів, хлоридів та ін.).

Аерозольні вогнегасні речовини застосовують у вигляді вогнегасних зарядів, сформованих із попередньо подрібнених або розчинених компонентів, з використанням різних технологій (пресування, лиття та ін.). Вогнегасні заряди можуть бути різної маси, розмірів і конфігурації, але найчастіше мають циліндричну форму. Вони призначені для отримання і подавання вогнегасних аерозолів у вогнище пожежі та застосовуються, головним чином, у замкнених (обмежених) просторах приміщень, споруд або окремих елементів стаціонарних чи пересувних об'єктів.

Вибір рецептур аерозольних вогнегасних речовин для практичного застосування здійснюється з урахуванням 16-24 показників, серед яких є фізико-хімічні, балістичні, вибухові, механічні, експлуатаційні та показники вогнегасної ефективності. Під час вибору рецептур, призначених для застосування в установках аерозольного пожежогасіння, враховують також токсичні, оптичні, електричні властивості аерозолю, можливість руйнування озонового шару, корозійну активність тощо.

Усі сполуки, що входять до складу вогнегасних аерозолів, мають бути безпечними для довкілля, але деякі з них можуть бути небезпечними для людей, які перебувають у захищеному приміщенні. Тому забороняється застосування автоматичних установок аерозольного пожежогасіння у приміщеннях, які не можуть бути залишені людьми до початку роботи генераторів вогнегасного аерозолу, з масовим перебуванням людей (більше 50 осіб), а допуск персоналу в приміщення, що захищається дозволяється після провітрювання та зниження концентрації аерозолу, коли видимість становить не менше 5-6 метрів. Застосування АУАП для гасіння пожеж в приміщеннях з електроустановками та електрообладнанням до зняття з них напруги допускається за умови, якщо її значення не перевищує гранично допустимої величини напруги, яка наведена в технічній документації на ГВА.

Проте більшість з цих складів мають недоліки, зокрема вони є багатокомпонентними сумішами, що збільшує собівартість складу, мають високу температуру горіння, під час горіння виділяють багато токсичних речовин. Крім цього виробництво відомих АУС потребує застосування складного обладнання та використання високовартісних складових компонентів, які використовуються як каталізатори або інгібітори горіння. Основним загальним недоліком для більшості аерозольутворювальних складів є їх порівняно високі вогнегасні концентрації. Крім того, продукти горіння, згідно з термодинамічним розрахунком, містять від 0,8 % до 2,2 % чадного газу, температура горіння при цьому становить 1512 К. Вогнегасна концентрація аерозолу – 20-133 г/м³, що є на рівні деяких вогнегасних порошкових засобів [178].

Вогнегасні аерозолі – вогнегасні речовини, які містять одночасно як теплові флегматизатори, (CO₂, N₂, H₂O), так і хімічні інгібітори (K₂CO₃, KHCO₃, KCl), які утворюються при згорянні аерозолеутворювальних сполук. Також при їх горінні утворюється ряд солей інгібіторів, а саме: K₂CO₃, NH₄HCO₃, KOH, KHCO₃, KCl, KNO₂ та інші. Склад аерозолу наведено в таблиці 1.12. В

роботі авторів [179] зазначено, що дисперсність утворюваних частинок становить близько 1 мкм.

Таблиця 1.13

Характеристики АУС [84, 82]

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

	НЦ/пласт. KNO_3 , техн. доб, $\varnothing < 160$ мкм	$KHCO_3$, KNO_2 KOH CO_2 N_2 CO , N , $*O^y$	1-2 (22) 2-5 (10) >5 (8)	
7	Багр -1 (Сахароза, KNO_3 (техн.) $KClO_4$, ДЦДА техн. добавки, \varnothing <160 мкм))			18-22
8	Ідітол KNO_3 , техн. [82]			18-26

Кінцевий склад вогнегасного аерозолю визначається вихідною рецептурою аерозолеутворювальної речовини. В деякій мірі він також залежить від конструкції ГВА. Відповідно до нормативних актів в технічній документації для ГВА повинні бути вказані кількість і склад продуктів, що утворюються при роботі генератора [178].

Як відомо аерозолеутворювальна сполука (АУС) – твердопаливна композиція, здатна до самостійного горіння з утворенням вогнегасного аерозолю, застосовуваного для об'ємного пожежогасіння. АУС являє собою хімічну систему, основою якої є конденсована суміш окислювачів і горючих компонентів з цільовими і технологічними добавками. Окислювачами в типових АУС є в основному кисневмісні солі калію: нітрат (селітра) KNO_3 і (або) перхлорат $KClO_4$, рідше – нітрати натрію $NaNO_3$, барію $Ba(NO_3)_2$ і деякі ін. Горючою основою більшості АУС є органічні речовини: сажа, смола, каучук, нітроцелюлоза, сахароза та ін. Для забезпечення необхідних характеристик в якості цільових компонентів широко застосовуються: азотовмісні органічні сполуки – для підвищення газоутворюваності, вогнегасної здатності АУС та зниження температури аерозолю; металевий магній – для інтенсифікації процесу одержання аерозолю); карбонати калію, магнію, кальцію, хлориди калію, натрію, – для зниження температури утворюваного аерозолю; хромати

калію і амонію для інтенсифікації процесу аерозолеутворення, та ін. Масова частка частинок розмірами від 0,1 до 5 мкм може становити 90%.

Внаслідок малих розмірів часток (від 0,01 мкм до 10 мкм) вогнегасний аерозоль здатний тривалий час перебувати в завислому стані, займаючи весь об'єм, що захищається. У газовій фазі продуктів горіння АУС як правило переважають азот і діоксид вуглецю. На базі компонентів такого типу створено і застосовуються модифікації твердопаливних АУС різного призначення. Ефективність і механізм об'ємного аерозольного гасіння визначається такими основними явищами, як: інгібування хімічних реакцій в полум'ї новоутвореними високодисперсними твердими частинками аерозолу (K_2CO_3 , KCl , KOH , $KHCO_3$); розбавлення горючого середовища двоокисом (діоксидом) вуглецю, азотом, парами води, охолодження зони горіння аерозолем.

Саме одержання аерозолу безпосередньо в момент гасіння пожежі сприяє підвищенню його вогнегасної здатності завдяки ефекту «свіжої», тобто активної, поверхні часток, що беруть участь у процесі рекомбінації радикалів полум'я [180]. Висока дисперсність аерозолу, який утворюється, сприяє різкому збільшенню часу витання, а отже і часу перебування часток у полум'ї. Час «життя» аерозолу може становити 40-50 хвилин.

Як видно з таблиці 1.13, об'єм газів, які утворюються при горінні АУС, становить до 0,5 л з 1 г, що достатньо для створення концентрації газу в 1 м³ до 90 л, що становитиме до 0,9 % і є зовсім недостатнім для створення флегматизаційної концентрації для CO_2 , N_2 та водяної пари, які є значно більші і лежать в районі від 33% до 45 %. Виходячи з цього приходимо до думки, що вогнегасна ефективність бінарної суміші буде визначатись сумарною дією компонентів, основними з яких будуть інгібуючий та теплопоглинаючий ефекти. Відповідно можна передбачити, що АУС з різним коефіцієнтом газоутворення будуть володіти і різною вогнегасною концентрацією. Отже виникає необхідність експериментально підтвердити вогнегасну ефективність вказаних аерозольуювальних сумішей та теоретично розглянути фактори

взаємного впливу газів та аерозольних частинок на процес гасіння горючих газових систем. Так, в таблиці 1.14 вказано характеристики та співвідношення компонентів твердої та газоподібної фаз.

Таблиця 1.14

Характеристики рецептур АУС на основі органічних палив [168]

Співвідношення компонентів АУС [% масс]				Продукти горіння					V газів, л/г АУС
				тверда фаза, г/г АУС		газова фаза, Vл/г АУС			
Пальне		KNO ₃	KCl O ₄	K ₂ O	KCl	CO ₂	H ₂ O	N ₂	
Ідітол	17	83	-	0.3832	-	0.2522	0.1164	0.0916	0.4604
Лактоза	32	68	-	0.3186	-	0.2354	0.2354	0.075	0.5468
Вуглець	16	84	-	0.3910	-	0.2982	-	0,0932	0,3913
Ідітол	15	69	16	0,3219	0.0875	0.2118	0.0977	0.0767	0.3862
Лактоза	27,6	60	12,4	0,2793	0,0250	0,2063	0,2063	0,0666	0,4792
Вуглець	13	70	17	0,3254	0,0904	0,2481	-	0,0775	0,3256

Аерозоль у завислому стані здатний підтримувати вогнегасну концентрацію у всьому захищуваному об'ємі близько 30 хвилин [168]. Таким чином, в газоаерозольній системі реалізуються переваги вогнегасної дії аерозолів та газових засобів при гасінні об'ємним способом, а аерозоль при поглинанні CO₂ і H₂O стає транспортером цих газів, зокрема до місця гасіння – полум'я. Відповідно, представляє цікавість взаємна зміна концентрацій цих газів при зміні концентрації аерозолу [168,137], при цьому співвідношення дисперсних частинок та газової фази для різних аерозольотворювальних складів буде різним і становитиме від 0,5 л до 3 літрів.

Щодо застосування згаданих газів, то згідно з Монреальським протоколом [157], CO₂ відноситься до парникових газів, викиди яких регламентуються, а дослідження інноваційних екологічно безпечних технологій

є пріоритетними і відповідають пункту 4 статті 2 Протоколу. З метою зменшення викиду CO_2 в атмосферу і досягнення придатного для життєдіяльності середовища, доцільно також використовувати азот N_2 , який широко застосовують в якості екологічно чистого вогнегасного агента [179, 160]. Азот, як вогнегасний агент, має такі цінні характеристики: хімічно нейтральний до більшості речовин, недорогий, поширений, молярна густина – 28,01 г/моль, що дає можливість рівномірно заповнювати об'єми. Вогнегасна концентрація N_2 становить для етанолу ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) 36,8%, гексану (C_6H_{14}) – 30,6% і для n-гептану (C_7H_{16}) – 33,6 %, [170]. Розрахункова флегматизувальна концентрація N_2 становить 43,9 %, що вище від значення мінімальної флегматизувальної концентрації для хладонів в 3-4 рази [180, 181].

Існують і суміші газів, які розробники представляють, як екологічно чисті, так, наприклад, автори [182, 183] вказують, що суміш газів, яка містить 52 % азоту, 40 % аргону і 8 % діоксиду вуглецю, не залишає хімічних похідних, не токсична у будь-яких концентраціях. Зазначена суміш при введенні в об'єм, гасить полум'я шляхом зменшення концентрації кисню нижче рівня підтримання горіння (12,5%), і це при одночасному збільшенні концентрації кисню CO_2 до 4 % в закритому об'ємі. Відповідно таке газове середовище небезпечне для життєдіяльності людини, хоча і є відносно екологічно чистим. Як видно, зазначені концентрації газу, є достатньо високими і забезпечують вогнепригнічення тільки завдяки теплофізичним характеристикам і розбавленню горючого середовища. Підвищити ефективність припинення горіння можна шляхом додавання до газу флегматизатора вогнегасного аерозолю, беручи до уваги результати досліджень дисперсних сумішей інгібіторів і газів.

Відомо [184, 185], що аерозолеутворювальна суміш (АУС) складається з окисника – як правило KNO_3 , KClO_4 , KClO_3 , пального-пластифікатора – ідітолу, епоксидно-діанової смоли, лактози та ін, і в окремих рецептурах газифікуючих добавок – диціандіаміду $((\text{NH}_2)_2\text{C}=\text{N}-\text{C}=\text{N})$ дифеніламідру $((\text{C}_6\text{H}_5)_2\text{NH})$ та ін. При горінні АУС, в атмосферу викидаються ультрадисперсні

неорганічні солі калію – $K_2CO_3 \cdot 2 H_2O$, KOH , $KHCO_3$, та ін., а також у невеликій кількості – CO_2 , N_2 та інші гази. Утворюваний аерозоль може бути стійким у повітрі і забезпечує вогнегасну концентрацію в $40-50 \text{ г/м}^3$ до 0,5 год.[186]. Але враховуючи розміри частинок аерозолу, які становлять в середньому близько 5 мкм, вогнегасна ефективність аерозолів відповідно на кілька порядків вища за вогнегасну концентрацію порошків і становить для вуглеводнів $30-70 \text{ г/м}^3$ [187], а це – межа безпечних концентрацій для людини. В роботах багатьох авторів висвітлюється залежність вогнегасної ефективності від розміру частинок вогнегасної речовини. Так в роботі [187] показано, що зі зменшенням розміру частинок від 100 до 20 мкм вогнегасна ефективність гасіння дисперсними частинками солі KCl , $NaCl$, K_2CO_3 , $KHCO_3$ та ін., різко зростає, як припускають автори, завдяки теплопоглинанню і випаровуванню цих частинок в полум'ї. В роботі [187] також показано, що вогнегасна ефективність усіх вогнегасних порошків збільшується із зростанням ступеня дисперсності, а автор [189] вказав, що чим дрібніші частинки, тим швидше і більше вони будуть прогріватися і відбирати тепло від зони хімічної реакції за одиницю часу і тим швидше буде вистигати полум'я. Однак розбавлення зони горіння і відведення тепла частинками порошку є недостатнім для того, щоб повністю припинити горіння. Так, у роботах [190, 191] було показано, що вогнегасний ефект порошків, завдяки інгібуванню на основі солей лужних металів значно перевищує ефект охолодження або розведення, тобто аерозольні частинки здатні ефективно гальмувати хімічні реакції горіння, діючи як інгібітори.

Автори робіт [192 - 194] показали, що існує пряма залежність між розмірами частинок і ефективністю вогнегасної речовини дисперсної фази, яка проявляється завдяки можливому випаровуванню цих частинок в полум'ї, які потім діють за схемою гетерогенно-гомогенного механізму. Підтверджують це автори [195], які виявили, що дисперсні солі $KHCO_3$ і $NaHCO_3$ із зменшенням розмірів частинок 63 мкм до 38 мкм при гасінні пропано-повітряного бунзенівського факела збільшують свою ефективність завдяки зменшенню

вогнегасної концентрації від 100 г/м^3 до 30 г/м^3 . Відомо, що більшість аерозолеутворювальних сполук при згорянні утворюють аерозоль із розмірами частинок 1-5 мкм із співвідношенням до 80% [186]. Так, наприклад, аерозолеутворювальна суміш СТК-5-1, яка складається з ідітолу ($\text{C}_{13}\text{H}_{12}\text{O}_2$), нітрату калію (KNO_3) та технічних добавок, при горінні виділяє $\text{K}_2\text{CO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, KOH , KNO_2 , CO_2 , N_2 , з розподілом розмірів частинок $D < 2 \mu\text{m}$ (42%) $D = 2-5 \mu\text{m}$ (38%) $D > 5 \mu\text{m}$ (20%) [178, 186]. При цьому в продуктах горіння АУС різного складу, які залежать від виду горючого-пластифікатора і окисників, а також від їх співвідношення, може перебувати в середньому 0,5 л газових компонентів (CO_2 , H_2O , N_2), причому продукти неповного згорання (N_xO_y) до уваги не брали, виходячи з умови, що їх вміст незначний.

При додаванні газів-розчинників до зазначеного аерозолу вогнегасна ефективність отриманої бінарної газоаерозольної суміші (БГАС) повинна збільшитися. Отримання такого ефекту підтверджують автори [196, 197], вказуючи на синергізм фізичних і хімічних компонентів суміші і в результаті зниження вогнегасної концентрації фізичного компонента при додаванні лише 1,52 % хімічного інгібітора. Значне збільшення вогнепригнічувальної ефективності при комплексному застосуванні дисперсних вогнегасних засобів і газів підтверджують і інші автори. Так в роботі [166] зазначається, що з допомогою суміші вільних радикалів і агентів N_2 або CO_2 , може бути досягнуто зменшення концентрації хімічних агентів в 3-4 рази. Аналіз загальних закономірностей процесів інгібування показує, що підвищити ефективність інгібувальних засобів можна знизивши вміст окислювача в горючій суміші, причому не у всьому приміщенні, а тільки в зоні дії інгібувальних речовин, тобто в зоні горіння. Таким чином, роблять висновок автори [198, 199], негорючі газоподібні компоненти додатково розбавляють горючу систему, знижують концентрацію кисню і тим самим різко підвищують ефективність вогнегасної дії інгібітора. При цьому автори [200] вказують, що додавання азоту призводить до зменшення в 2,5 рази вогнегасної концентрації

хладону 2402 під час гасіння n-гептану. 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 CO₂. З роботи [196] відомо, що при пошуку ефективніших АУС, додавання невеликої кількості CO₂ до порошкових інгібіторів значно підвищує вогнегасну ефективність отриманої суміші, яка добре гасить полум'я пропану, що добре узгоджується з результатами роботи [176], де CO₂ в суміші з хладоном 1301 дає нижчі вогнегасні концентрації, ніж азот і аргон. Причому автори [176] на основі розрахунків температури полум'я вказали, що інертні гази ведуть до зниження температури полум'я, а інгібуючий ефект полум'я був посилений завдяки зменшенню температури полум'я, що призвело до синергічного підвищення ефективності пожежогасіння сумішшю хладону-1301 і CO₂.

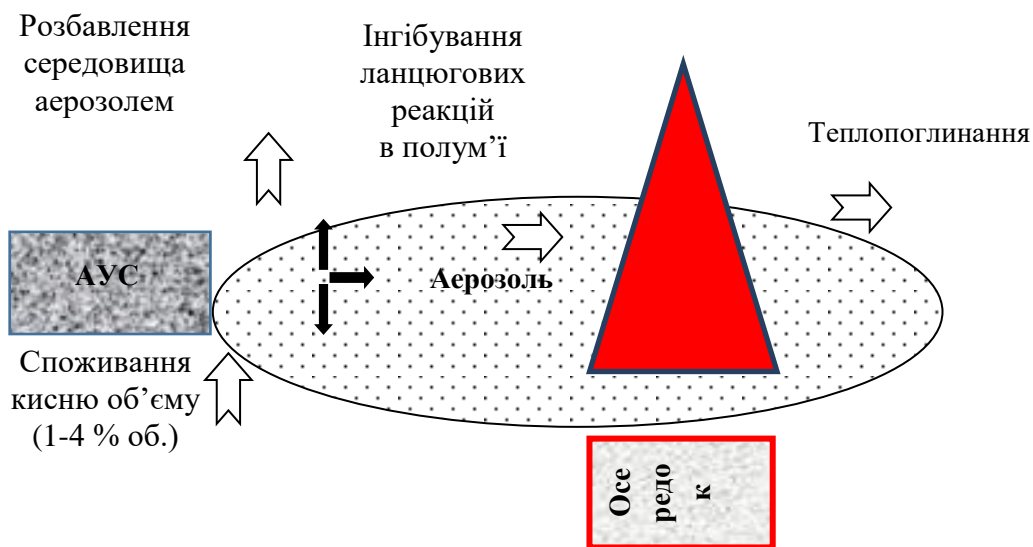


Рисунок 1.7 – Схемне зображення процесу утворення вогнегасного аерозолю АУС та його взаємодія з дифузійним полум'ям за об'ємного способу пожежогасіння

Таким чином, принцип об'ємного гасіння аерозолем з добавкою газів-флегматизаторів доречно розглядати як комбіновану дію вогнегасних засобів,

які поєднують в собі ефекти охолодження, інгібування і розведення, що призводить до значного кінцевого вогнегасного ефекту. Схематично принцип дії показаний на рисунку (рис.1.7).

Виходячи з аналізу досліджень вогнегасних ефектів від додавання газів-флегматизаторів до вогнегасних речовин, можна стверджувати, що незначна добавка азоту до аерозольного інгібітора істотно зпідвищує вогнегасну ефективність газоаерозольної суміші завдяки синергізму між аерозолем і азотом.

Загалом, процес гасіння газоаерозольною сумішшю такий: бінарна газоаерозольна суміш (БГАС), яка складається з двох компонентів: твердої фази вогнегасного аерозолу – суміші неорганічних солей калію K_2O , $K_2CO_3 \cdot 2H_2O$, $KHCO_3$, KOH , KCl , KNO_2 , подається в захищуваний об'єм разом з газом N_2 , (CO_2), чим і досягається значний вогнегасний ефект.

Враховуючи проведений огляд особливостей взаємного впливу компонентів бінарних газоаерозольних сумішей на ефективність флегматизування вуглеводневих горючих середовищ в замкнутих приміщеннях, можна стверджувати про значну актуальність використання зазначених бінарних сумішей. Визначення ефективності та особливостей флегматизування бінарної аерозольної суміші та азотної є основою для створення вогнегасних і флегматизувальних систем на основі БГАС. Системи можуть зберігати концентрацію кисню, потрібного для життєдіяльності людини, є екологічно чистими і можуть застосовуватися для протипожежного захисту об'єктів різного призначення, де можливе виникнення вибухів і пожеж класів А, В, С, Е. Загалом дія вогнегасного аерозолу забезпечує такі фактори вогнегасного впливу (рис. 1.7). Загалом на процес гасіння впливає зміна всіх параметрів, що приводить до зміни концентрацій реагентів [201].

Авторами [202] проведено дослідження з вогнепригнічувальної ефективності таких складів за методикою та отримані високі показники вогнегасної ефективності таких складів. Крім цього, із зменшенням

концентрації кисню і одночасним збільшенням концентрації ($\text{CO}_2+\text{H}_2\text{O}$), ефективність всіх АУС зростає, що відображається у зменшенні необхідної вогнегасної маси АУС і вогнегасної концентрації газоаерозольної суміші. Але різні склади АУС і відповідно різні склади одержаних аерозолів по-різному реагують на зміну концентрації O_2 і ($\text{CO}_2+\text{H}_2\text{O}$). Також доцільно згадати, що такі інгібітори як галогеновуглеводні також проявляють більшу вогнегасну ефективність в області збагачених сумішей [203]. Крім того, як відомо, бромпохідні вуглеводнів проявляють набагато більшу вогнегасну здатність, ніж хлорпохідні, але не виключено, що і в цьому випадку суттєвими є чисто теплові фактори, бо бромпохідні легше дисоціюють і тим самим можуть впливати на температуру горіння.

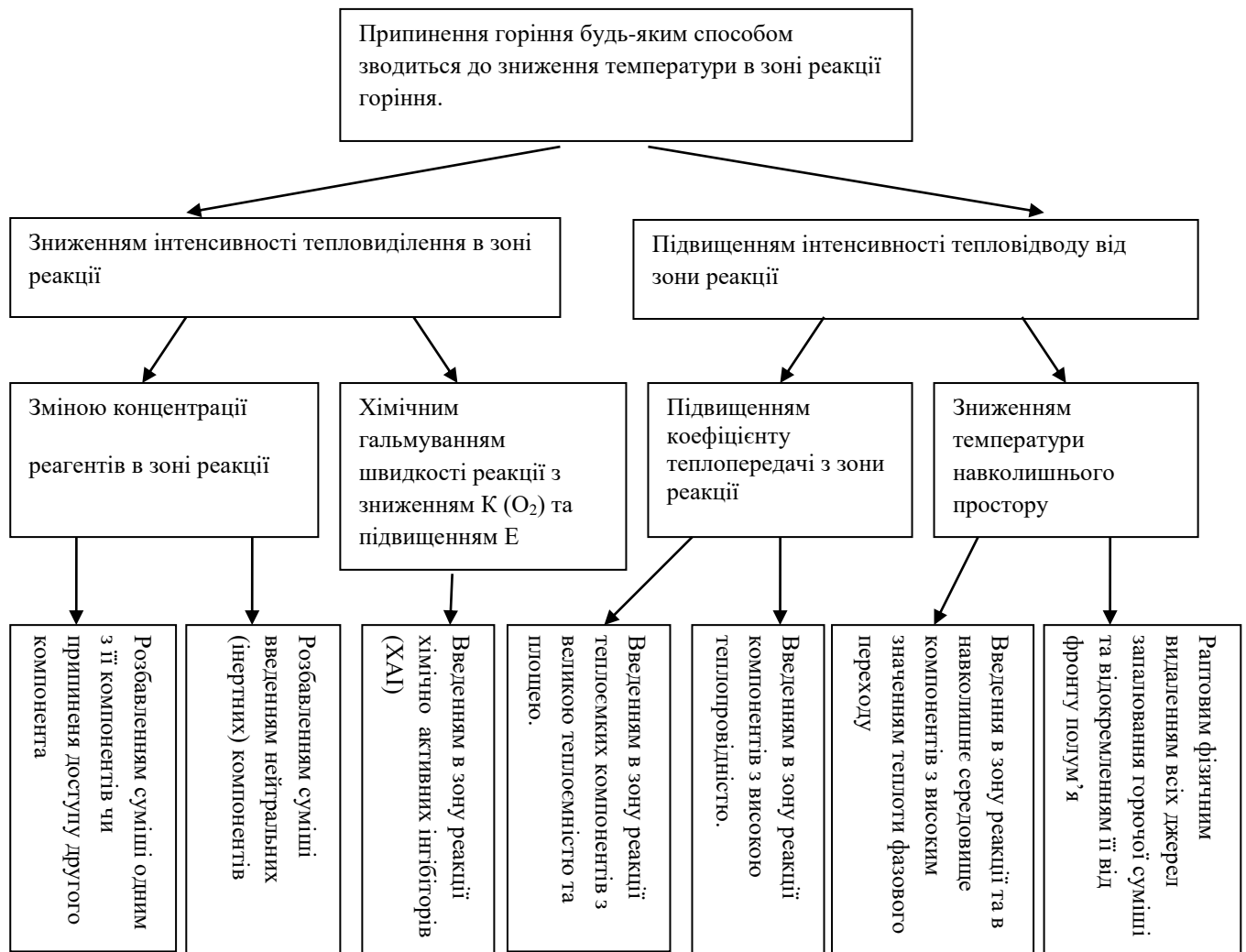


Рисунок 1.8 – Фактори вогнегасного впливу комбінованих газоаерозольних систем.

Так, 2-3% такої теплоємної речовини, як тетрафтордіброметан [169], з теплоємністю парів 0,38 кДж/моль, енергією розпаду молекули, що починається при 450-500°C становить 273 кДж/моль, дійсно може суттєво змінити теплофізичні параметри горючої суміші.

Результати робіт [204], відображають залежність ефективності аерозолів від сумарної концентрації $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ при одночасному зниженні концентрації кисню, та показують позитивний вплив індивідуальних газових розріджувачів (CO_2 і N_2) на вогнегасну ефективність аерозолів. В роботі [205] окремо досліджували вплив парів води. Результати показали, що мінімальна вогнегасна концентрація аерозолу в осушеному повітрі збільшується на 17-18%, тобто вогнегасна ефективність аерозолу погіршується. Після заповнення камери повітрям з відносною вологістю 75% (вологість контролювали психрометром), ефективність аерозолу збільшувалась до попереднього значення. Подальше збільшення вмісту вологи, аж до насичення, практично не впливало на ефективність аерозолу.

При вирішенні питання, який інертний газ краще використовувати, стає очевидним те, що азот, завдяки його малій токсичності, має безумовну перевагу над CO_2 , хоча його допоміжна дія дещо нижча від CO_2 . Так, наприклад, введення 5% N_2 дозволяє знизити мінімальну вогнегасну масу заряду в 3,5 раза, при цьому концентрація кисню знизиться до 20 % об. Зниження мінімальної вогнегасної маси заряду АУС в 3,5 раза шляхом введення CO_2 досягається при його концентрації 3,0% об. [112, 113, 180, 203]. Так, збільшення концентрації кисню [205] в 1,4 раза з 21 до 30% об., приводить до збільшення мінімальної вогнегасної маси заряду АУС в 7 разів (від 7 до 50 г/м³). Із залежності випливає, що з моменту досягнення концентрації кисню 30% об. і вище, аерозоль втрачає вогнегасну ефективність. З цього приводу доцільно навести дані роботи [206], де вказується, що порошки на основі бікарбонату і хлориду калію проявляють вогнегасну здатність при концентрації кисню не більше 30-33% об., але вогнегасна концентрація порошоків набагато більша, ніж аерозолів.

Це явище можна пояснити тим фактом, що в середовищах з підвищеним вмістом кисню процеси горіння характеризуються великими швидкостями і що найголовніше – високим рівнем тепловиділення. Тобто створюються умови, які потребують більшої кількості теплового флегматизатора, в ролі якого виступає аерозоль і настає момент, коли властивості аерозолю не задовольняють умови гасіння, а тверді частинки K_2CO_3 і KCl також не здатні виконувати функції інгібітора.

Взаємовплив газів і аерозолю розглянемо по чергово з обох сторін. У першому випадку проаналізуємо дію негорючого газу на аерозольне середовище, що утворюється при спалюванні АУС.

Для розбавлення концентрації кисню в газоповітряному середовищі можна використовувати газові вогнегасні суміші, які залежно від виду горючих речовин здатні швидко знизити концентрацію кисню [207].

Роль газової фази в процесах гасіння аерозолями необхідно розглядати одночасно з наявністю твердої фази, тобто, як комбінований засіб гасіння. В роботі [208] описано, що комбіновані засоби проявляють вищу вогнегасну ефективність, ніж індивідуальні речовини. Приміром, розрідження суміші природній газ + повітря азотом на 10 % знижує вогнегасну концентрацію хладонів в 2 рази. Також у працях [208, 82] вказується, що наявність інертних газових розріджувачів сприяє підвищенню ефективності вогнегасної дії хладонів, відтак, після додавання азоту концентрація кисню знижується всього до 19 % (об.), а необхідна концентрація хладону зменшується в 2,5 рази.

Нейтральний газ, що надходить в зону реакції, розріджує горючу суміш, знижуючи концентрації горючого і окисника, при цьому знижується ймовірність активних зіткнень між молекулами горючої речовини та окисника. В результаті цього падає швидкість хімічної реакції, а отже швидкість тепловиділення і швидкість поширення полум'я. Хоч гази не виступають у якості інгібіторів, проте можуть впливати на утворення і склад продуктів горіння горючої речовини. З практики відомо, що вогнегасні концентрації

нейтральних газів визначаються не тільки видом розріджувача, а залежать також і від виду пального та інших факторів. Крім припинення горіння шляхом простого розбавлення горючого газового середовища, нейтральні гази через відмінність своїх фізичних властивостей також по-різному впливають на енергетичні процеси, що відбуваються в зоні горіння. Так, потрапляючи в цю зону, вони нагріваються від температури навколишнього середовища до температури близько 1000°C, відбирають при цьому певну кількість тепла. Кількість тепла, яке відводиться, можна визначити за формулою 2.1:

$$Q_{\text{нг}} = V_{\text{нг}} \cdot \rho_{\text{нг}} \cdot c_{\text{нг}} \cdot t_{\text{нг}} \quad (2.1)$$

де $V_{\text{нг}}$ – об'єм нейтрального газу, який подається у зону горіння, м³;

$\rho_{\text{нг}}$ – густина нейтрального газу, м³/кг;

$c_{\text{нг}}$ – питома теплоємність нейтрального газу, кДж/(кг·К);

$t_{\text{нг}}$ – різниця температур нейтрального газу і речовини в зоні горіння, К.

В результаті поглинання частини тепла газом-розріджувачем знижується температура суміші, тобто частота ефективних зіткнень реагуючих частинок.

Таким чином, чим вища теплоємність нейтральних газів, які вводяться в зону реакції, тим ефективніша її вогнегасна дія.

Відомо [206], що незначне зниження концентрації кисню значно впливає на швидкість горіння. Компоненти газової фази CO₂ і H₂O безпосередньо як теплові флегматизатори діяти не можуть у зв'язку з тим, що їх концентрація є невисока. Таким чином, газова фаза значно впливає на вогнепригнічувальну ефективність аерозолі і її роль в процесах флегматизування газо-аерозольними сумішами є визначальною.

Таблиця 1.15

Екологічна небезпека вогнегасних засобів [80]

Вид вогнегасних речовин	Забруднення атмосфери*	Забруднення ґрунтів*	Забруднення ґрунтових вод*	Забруднення водних ресурсів*
1	2	3	4	5
Твердофазові (вогнегасні порошки)	1	3	3	0
Рідиннофазові неводні	0	5	5	5
Вода	0	0	0	0
Підігріта вода	0	0	0	0
Рідиннофазові водні	0	4	5	5
Рідиннофазові водопінні	0	5	5	5
Рідиннофазові водоемульсійні	0	5	5	5
Рідиннофазові гелеутворювальні	0	4	4	4
Рідиннофазові комбіновані	0	4	4	4
Газофазові розріджувачі	5	0	0	0
Газофазові інгібітори горіння	5	3	1	1
Аерозолеві, (ТФ+ГФ)	3	1	1	1
Газоаерозольні Аерозоль+газ	5	1	1	1
Ударні хвилі	1	0	0	0
Комбіновані на основі ударних хвиль	1	0	1	1

* - по пятибальній шкалі

Таблиця 1.16

Узагальнені відомості щодо параметрів екологічної небезпеки вогнегасних речовин за п'ятибальною шкалою [80]

Вид вогнегасних речовин	Хімічна основа	Приклади	Показники екологічної небезпеки (клас небезпеки за ГОСТ 12.1.005, ОРП, ПГП, ТЖА)	Вогнегасні концентрації	Небезпечні чинники та концентрації для людини	Час нейтралізації в природному середовищі	Спосіб утилізуванн
1	2	3	4				
Твердофазові (вогнегасні порошки) ABC	ФАС	П-2АПМ; Р-11-24; Вексон ABC;	III-IV				Спалювання або захоронення в могильнику
BC	ГН, СК, ССК	Пірант-А; Пірант-АН; Фактор АВ	III-IV				
ABCD	ФАС+ХК	С-40	III	50-200 г/м ³		До 10 років	
ЦП	Спец. композиції	ПСБ-3; Вексон ВС; Моппех; Карате П-2АК ПГС; МГС; CaF ₂ ; СІВК; ПС-1; ПХ; ПМГС; РС; Си-2; СаО	I-III		Від 50 г/м ³		
Рідиннофазові неводні	C ₂ F ₄ Br ₂	Хладон2402	ОРП-6; ПГП-1890; ТЖА-16	100-500 г/м ³	Від 50 г/м ³	До 20 років	Спалювання або захоронення в могильнику
	C ₆ F ₁₂ O	NOVEC1230 (хладон ФК-5-1-12)	ОРП-0; ПГП-1; ТЖА-0,014				
Вода	H ₂ O		IV	-	-		

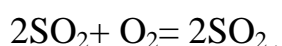
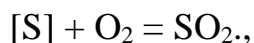
Підігріта вода	H ₂ O	Спецтехнології	IV	Від 500 г/м ³	Висока температура відсутні		
Рідиннофазові водні	H ₂ O+ПАР	Дослідні зразки Вода зі змочувальниками	III-IV	200-500 г/м ³	Подразлива дія відсутні		Спалювання або захоронення в могильнику
Рідиннофазові водопінні	H ₂ O+піноутворювачі	Пірена1; Пірена2; Пірена3; Альпен; Альпен М; Пегас; Сніжок; Пайрокул; ПО-3АІ; ПО-6М (Морпен); ПО-6К; ПО-6НП	III-IV	200 - 500 г/м ³	Подразлива дія відсутні	До 10 років	Спалювання або захоронення в могильнику
Рідиннофазові водоемульсійні	H ₂ O+модифікувальні добавки	Дослідні зразки	III	200 - 500 г/м ³	Подразлива дія	До 10 років	Спалювання або захоронення в могильнику
Рідиннофазові гелеутворювальні	H ₂ O+модифікувальні добавки	PREVENT O; дослідні зразки	III-IV	200 - 500 г/м ³	Подразлива дія	До 10 років	Спалювання або захоронення в могильнику
Рідиннофазові комбіновані	H ₂ O+ПАР+ІГ+модифікувальні добавки	ОС-5; ОС-А1, Дослідні зразки;	III-IV	200 - 500 г/м ³	Подразлива дія	До 10 років	Спалювання або захоронення в могильнику
Газофазові розріджувачі	N ₂ , Ar, CO ₂ та їх суміші Novac 1230	N ₂ , Ar; Інерген CO ₂	РВШЕ>43% РВШЕ>5%	CO ₂ – 23% N ₂ - 33% Аргон- XX%	CO ₂ -8% N ₂ -XX% Аргон- XX%	Не нейтралізуються	
Газофазові інгібітори горіння	CF ₃ Br C ₃ F ₇ H	Хладон 1301 Хладон 227ea (FM-200)	ОРП-10-18; ПГП-7140; ТЖА-65 ОРП-0; ПГП-3220; ТЖА-29	100 - 300 г/м ³	Від 20 г/м ³	До 20 років	Спалювання в спеціальних печах
Аерозолі, (ТФ+ГФ)	Соли калію, H ₂ O; CO ₂ ; K ₂ O; N ₂ ; NO ₂	МАГ-3; МАГ-4; АГАТ-2; АГС-6; ОСАМ 20/40;	III	30-150 г/м ³	Від 50 г/м ³	Продукти аерозолі до 10 років	Спалювання або захоронення в могильнику

		ОСАМ-60; Пурга К002; Пурга-МХ; СПТС-80Х; ФП-200; ФП-6300; БАГР					
Комбіновані вогнегасні системи на основі ударних хвиль	Ударні хвилі Вогнегасні речовини об'ємної дії	ПКГПП	III-IV	10-25 г/м ³	Коротко часна дія надлишкового тиску від 50 г/м ³		

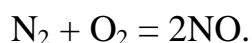
При горінні та гасінні пожеж найбільш поширені реакції утворення CO₂, CO, оксидів азоту, оксидів сірки, а також галоїдовуглеводнів. Ці речовини забруднюють атмосферу, ґрунти, та водні ресурси. Окреме актуальне питання це – руйнування озонового шару продуктами термічного розкладу та згорання.

Існують два головних види забруднення атмосфери: природний і штучний (антропогенний). Відомо, що вуглекислий газ утворюється при спалюванні майже всіх видів палив, деревини, полімерів, нафтопродуктів та інш. Крім зазначеного CO₂ в атмосферу при горінні нафтопродуктів викидається багато сполук сірки, яка входить в склад майже усіх нафтопродуктів.

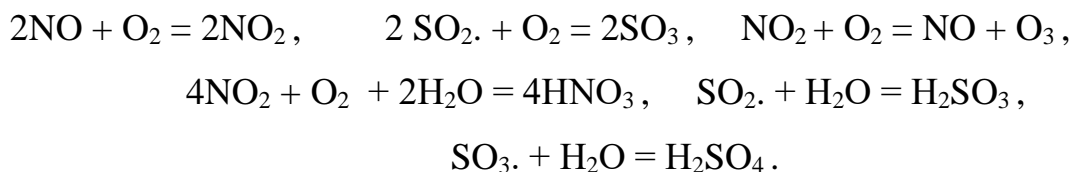
Типовими реакціями взаємодії сірки з киснем є



SO₃ утворюється значно менше (менше 1% від кількості SO₂). Також на більшості пожеж в атмосферу викидаються оксиди нітрогену (NO, NO₂), які утворюються з хімічно зв'язаного нітрогену або при реакції N₂ та оксигену при температурах вище 1000 °C.



Далі оксид азоту, що потрапляє до атмосфери, бере участь у вторинних реакціях:



Крім утворення в результаті пожеж SO_2 , NO , NO_2 , SO_3 ., вказаних газів в атмосфері будуть утворюватись відповідні кислоти та випадати у вигляді кислотних дощів, про що свідчить значне зниження рН дощової води з 5,6 до 4,0 за останнє століття. При використанні вогнегасних засобів навколишнє середовище, а саме: ґрунти, водні ресурси та загалом уся біосфера зазнають забруднення. Якщо проаналізувати, яка кількість вогнегасних речовин викидається в біосферу, то лише в масштабах України ці значення становлять близько 7,5 тис. тон CO_2 0,7 тис. тон хладонів, 1,5 тис. тон вогнегасних порошоків. Загальна кількість викидів зазначених речовин наведена в табл.

Таблиця 1.17

Орієнтовна кількість викидів вогнегасних речовин по Україні та в світі [142]

Вид вогнегасних речовин	Викиди в Україні, т	Викиди в світі, т
1	2	3
Твердофазові (вогнегасні порошки) ABC BC ABCD ЦП	1500	2600000*
Рідиннофазові водопінні	1000	
Рідиннофазові комбіновані	Немає даних	
Газофазові розріджувачі	7500	3800000*
Газофазові інгібітори горіння (озононеруйнівні)	700	160000
Аерозолеві	200	6600*

* - Дані взяті з різних джерел виробництв даних речовин.

Враховуючи наведені дані застосування вогнегасних речовин та комбінованих засобів на їх основі можна зробити висновок, що викиди зазначених речовин є на високому рівні, а особливо викиди ПАР.

1.5. Фізико-хімічний вплив вогнегасного аерозолі на дифузійне полум'я

Вогнегасна ефективність аерозолів на даний час є маловивченою і достеменно не відомо завдяки чому аерозоль має такі високі флегматизаційні характеристики. Якщо вважати, що гальмування процесу горіння здійснюється виключно завдяки дрібнодисперсним твердим частинкам K_2O , KOH , K_2CO_3 чи KCl , то залишається нев'ясненим, яким чином ці частинки проникають в зону горіння, адже відомо, що частинки мікронних розмірів можуть просто не потрапляти в зону горіння дифузійного факела через їх малу інерційність [209], адже вони можуть захоплюватись супутніми конвективними потоками і виноситись вгору поза межі факела горіння. В роботі [210] чітко вказується, що порошки малих розмірів не потрапляють в зону горіння, що стосується і диспергової води [211].

Оскільки аерозолі на швидкість витоку газу впливати не можуть, то залишається розглянути один з напрямків їх дії на полум'я – завдяки збільшенню швидкості обтікання навколишнім газом, або за принципом охолодження факела полум'я. Тепло, що виділяється полум'ям, відводиться головним чином не з зони горіння, а від дотичних до неї шарів, при цьому температура продуктів горіння стає меншою за температуру зони реакції. В результаті виникає температурний градієнт, спрямований в сторону продуктів горіння, після чого зона реакції починає охолоджуватись шляхом конвективної теплопровідності. Оскільки теплові витрати полум'я в обох напрямках в сторону вихідної суміші і в сторону продуктів горіння однакові [212], то, створюючи умови інтенсивного охолодження продуктів горіння та зони теплового спалахування, можна зменшити витрати тепла на нагрівання вихідної суміші, тим самим збільшуючи енергію активації, тобто створити

умови, які призведуть до значного утруднення займання. Крім цього, зменшення розмірів частинок солей приводить до зменшення інтенсивності теплоутворення в результаті інгібування та відводу тепла в результаті розкладу солей. Створення таких умов дає змогу через холодну зону проникати більшій кількості компонентів аерозолу у внутрішню частину зони само спалахування, припиняти в ній процеси розвитку ланцюгових реакцій і зменшувати, або навіть припиняти таким чином зародження ланцюгових реакцій.

Відомо [209, 90, 82], що на нормальну швидкість поширення полум'я впливають аерозольні частинки. Характер цього впливу залежить від складу пилу, його кількості та розмірів. Якщо пил негорючий, то нормальна швидкість (U_n) горіння зменшується, причому чим менші розміри пилу, тим його вплив на швидкість горіння більший. Аналогічні результати описано в роботі [213] де показано, що вогнегасна і флегматизувальна ефективність порошку залежить від складу порошка та величини його частинок. Крім цього, у вузькій зоні поблизу зони локального нагрівання буде виділятися достатня кількість інертних газів внаслідок розкладання частинок аерозолу, які будуть частково потрапляти в зону горіння, що згідно з твердженням автора [168, 90, 82], буде приводити до підвищення ефективності інгібітора. В передполум'яній зоні аерозоль буде перебувати в зоні теплової дії і тим самим впливати на область займання горючої системи. З цього приводу доцільно згадати, що такі інгібітори, як хладони, також проявляють високу вогнегасну ефективність у збагачених сумішах [165, 176, 82]. В аерозолі K_2O утворює з CO_2 чи H_2O такі сполуки, як: K_2CO_3 , або $KHCO_3$, або KOH [214, 82]. В свою чергу ці новоутворені сполуки, як відомо, легко утворюють гідратовані форми: $K_2CO_3 \cdot 2H_2O$; $KOH \cdot H_2O$; $KOH \cdot 2H_2O$; $KOH \cdot 4H_2O$; $KCl \cdot 1,5H_2O$ і т.п [215, 82]. Оскільки ці частинки перебувають у дрібнодисперсному стані і є гідрофільними, то відповідно до визначення поняття аерозолів як систем [215, 82], вони є термічно нестабільними і при підвищенні температури вище $100^\circ C$ починають розпадатися, а так як інтенсивність розпаду таких речовин прямо

залежить від ступеня їх дисперсності, то очевидним є те, що дрібнодисперсні частинки аерозолі забезпечуватимуть високу інтенсивність тепловідводу від зони спалахування, тобто буде суттєво проявлятися ефект ендотермічного розпаду, а аерозолі можна розглядати як теплові флегматизатори.

Виходячи з цього, вогнегасну дію аерозолі потрібно розглядати як одночасну комбіновану дію інгібіторів горіння та теплових флегматизаторів.

Якщо взяти до уваги теплотехнічні характеристики компонентів аерозолі, то можна побачити таку ситуацію. Вихідні дані теплофізичних величин [216] брали вважаючи, що компоненти аерозолі нагріваються в полум'ї до 1400°C і потребують значного тепла для власного термічного розкладу, який відбувається при температурах для 2KHCO_3 - 891 °C з утворенням K_2O , CO_2 , H_2O та мають такі значення теплоємності

Таблиця 1.18

Теплоємність компонентів аерозолі [217, 218, 219, 82]

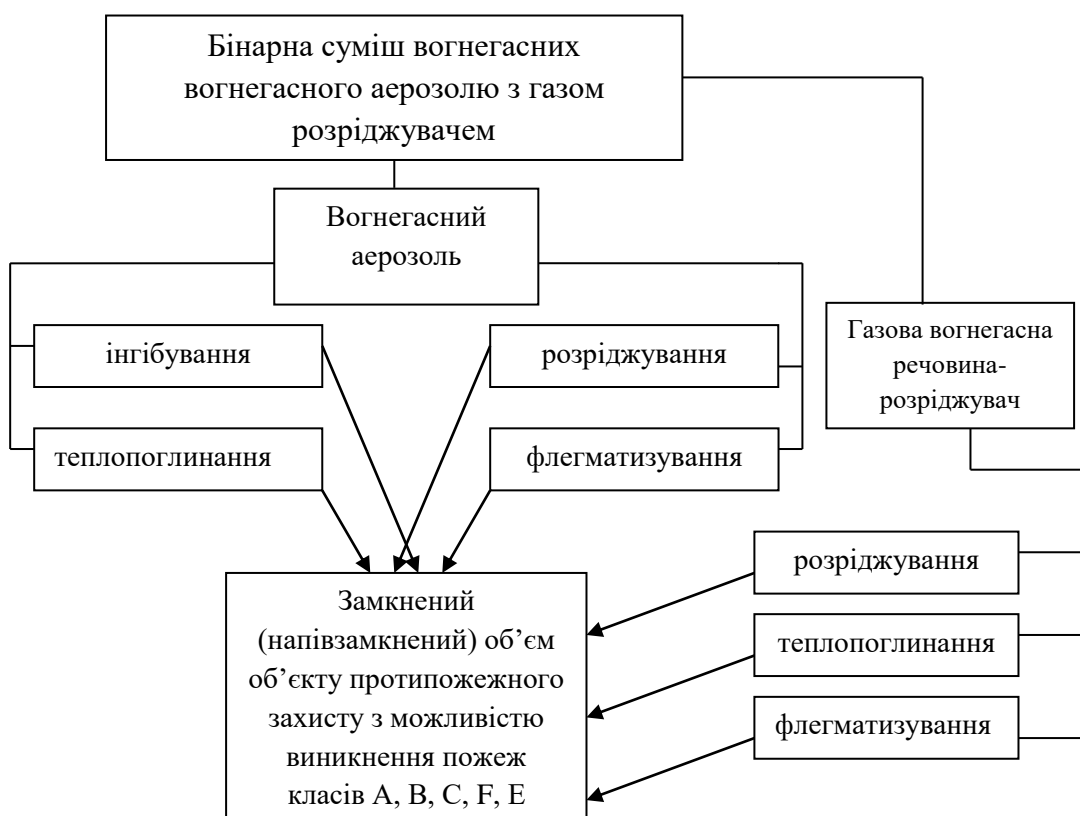
Компоненти	Теплоємність, кДж/г
CO_2	1,652
H_2O	3,192
N_2	1,610
K_2O	1,797
K_2CO_3	4,980
$\text{K}_2\text{CO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	5,37
KHCO_3	4,886
KOH	2,362
$\text{KOH} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	2,637
KCl	1,653

Як видно, теплоємність продуктів горіння АУС, тобто утвореного АУС, достатньо висока, що свідчить про комбінований механізм гасіння аерозолем [215, 82, 90]. Виходячи з цього, вогнегасну дію аерозолі потрібно розглядати як одночасну комбіновану дію чинників інгібування та теплопоглинання.

Як бачимо, в таких кількостях АУС, як було вказано вище, дійсно вже можуть діяти як вогнегасні засоби, знижуючи концентрацію кисню шляхом звичайного розбавлення атмосфери інертними газами [219].

Наявність CO_2 і H_2O в складі аерозолі буде сприяти його швидкому нагріванню через високу теплопровідність та теплоємність цих компонентів. Все це може привести до зменшення вогнегасних властивостей аерозолі. Так результати експериментів роботи [219, 220] показали, що при підвищенні температури аерозолі, спостерігається відповідне підвищення витрат аерозолі та інтенсивності його подачі для досягнення ефекту гасіння.

В продуктах горіння АУС різного складу, може знаходитись різна кількість газових компонентів (CO_2 , CO , H_2O , N_2 , N_xO_y) і твердої фази у вигляді дрібнодисперсних частинок (K_2O , K_2CO_3 , KHCO_3 , KOH , KCl , KNO_2). Загалом



механізм дії бінарної суміші зводиться до такої схеми (Рис.1.9).

Рисунок 1.9 - Умови гасіння в замкненому об'ємі бінарною газоаерозольною сумішшю.

Ідея роботи Викладене вище дало підставу для визначення ідеї роботи, яка полягає у зменшенні негативного впливу на довкілля пожеж шляхом застосування на початковій стадії ударних хвиль або їх комбінації з газовими та аерозольовими вогнегасними речовинами.

Мета роботи полягає у створенні наукових основ зменшення негативного впливу пожеж на довкілля, які враховують особливості та закономірності дії чинників на ефективність припинення горіння горючих середовищ ударними хвилями, у тому числі за комбінованого їх застосування з екологічно прийнятними газовими та аерозольними вогнегасними речовинами.

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

- проаналізувати світову та національну статистику пожеж, сучасних засобів пожежогасіння та виявити шляхи зменшення їх негативного впливу на довкілля;
- обґрунтувати методологію, методи та методики досліджень;
- теоретично обґрунтувати можливість застосування ударних хвиль для припинення горіння горючих середовищ;
- розробити методики і програми проведення експериментальних досліджень процесів припинення горіння дією ударних хвиль і їх комбінацій з екологічно прийнятними вогнегасними речовинами в лабораторних та полігонних умовах;
- провести експериментальні дослідження з виявлення ефективності дії ударних хвиль на процеси припинення горіння горючих середовищ;
- провести експериментальні дослідження з виявлення ефективності дії ударних хвиль на процеси припинення горіння горючих середовищ дією ударних хвиль та їх комбінованого застосування з екологічно прийнятними газовими вогнегасними речовинами та вогнегасними аерозолями;
- обґрунтувати схемні рішення, розробити та виготовити технічні засоби пожежогасіння, які реалізують технологію застосування ударних хвиль та їх комбінацій із вогнегасними речовинами об'ємної дії;
- провести полігонні випробування з перевірки теоретичних припущень та ефективності розроблених технічних засобів гасіння пожеж на їх початковій стадії;
- Розробити рекомендації та технічні документи щодо технології пожежогасіння із застосуванням ударних хвиль.

2 РОЗДІЛ

МЕТОДОЛОГІЯ І МЕТОДИ ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Аналіз методик експериментального визначення вогнегасної ефективності суміші вогнегасних речовин

Беручи до уваги, що вогнегасний аерозоль утворюється при згорянні АУС, в багатьох методиках передбачено його спалювання в камерах або циліндрах. Автор [221] 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 охолоджувальна насадка, а як відомо [185, 186], це знижуватиме вогнегасну ефективність аерозолю через недопал вихідних компонентів, що призведе до отримання занижених результатів вогнегасної концентрації аерозолю. Крім того, щоб зберегти реальну хронологію виникнення пожежі і часу гасіння, доцільно вносити джерело вогню в камеру, а не запалювати його всередині при наявному там аерозолі.

З аналізу прописаних в літературних джерелах методик, бачимо, що чіткої і послідовної методики для визначення мінімальної вогнегасної концентрації вогнегасного аерозолю 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. Як відомо з [113, 153, 168] суміш інертних газів та вогнегасних аерозолів має підвищену вогнегасну та флегматизувальну ефективність. Тому для визначення вогнегасної концентрації суміші вогнегасного аерозолю та інертних газів (газів-розріджувачів) за основу можна взяти модернізовану методику визначення МВК методом “камери”, запропонованої авторами [113,114].

Оскільки аерозольні 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, після певного пристосування

можуть бути використані для визначення МВК аерозолю. Детальний аналіз існуючих методик показав, що деякі їх положення не підходять для визначення МВК аерозолю, наприклад, подача вогнегасного засобу здійснюється через пальник разом з горючою сумішшю, що, згідно з положеннями про вогнегасну дію аерозолю, є не зовсім коректним для нашого випадку, оскільки реально при гасінні пожежі аерозоль знаходиться в захищеному об'ємі та контактує по всій поверхні з полум'ям. Деякі автори вказують на те, що аерозоль одночасно діє за декількома напрямками [84, 85, 177, 222].

Такі умови реалізуються лише при контакті аерозолю з факелом полум'я, чого неможливо досягнути, використовуючи вищезазначену методику. Інша методика, яку використовували автори [223], 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 перемішує аерозоль до рівномірного його розподілу та охолодження. Використання такої методики призведе 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 [87, 90, 91, 99, 41], що чим менший розмір порошкових частинок, тим вища їх вогнегасна здатність, відповідно збільшення розміру частинок аерозолю 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 потребує більших матеріальних витрат на проведення експериментів. Також необхідно взяти до уваги, що під час гасіння приміщення має бути майже герметичним, тільки за таких умов відбудеться ефективне гасіння, оскільки нагрітий аерозоль конвективно піднімається під стелю приміщення і тільки охолоджуючись рівномірно розпроділяється в об'ємі захищеного об'єкта [224].

Також існують методики [225-229], які спрямовані на підвищення точності вимірювань вогнегасних концентрацій порошкових складів, а що стосується аерозолів, то можна сказати, що існуючі методики потребують удосконалення. Виходячи з проведеного аналізу, бачимо, що необхідно розробити методику, яка буде враховувати особливості подавання та гасіння кожного компонента аерозольної суміші.

2.2. Методика визначення вогнегасної ефективності суміші вогнегасної речовини «Камера»

З метою вибору ефективної аерозольотворювальної суміші необхідно було виконати експериментальні дослідження різних комбінацій з різними співвідношеннями в аерозолі газів та твердої фази і з різними за хімічною природою горючими речовинами, дослідити залежність ефективності аерозолу від співвідношення аерозоль: інертний газ.

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

- аерозольотворювальна суміш, відповідної ваги заряду;
- хімічно чисті CO_2 та N_2 ;
- в деяких випадках для визначення особливостей гасіння проводили відеофіксацію фотокамерою Nikon 1J4 [230], з можливістю зйомки 3-секундних відеороликів з частотою кадрів від 60 до 1200 за 1 секунду при роздільній здатності 416x144Р. За допомогою цієї камери при розкадровці відеороликів визначали поведінку полум'я при його гасінні;
- змінення температури визначали за допомогою хромель–алюмелевої термопари з товщиною провідника 0,3 мм та регулятора-перетворювача РТ–0102. Дані отримані в вигляді цифрових показників на інтерфейсі програми РП–8 розробник ПАТ НВО «Львівтермоприлад» в Windows (рис. 2.1);
- склад газового середовища визначали газовим аналізатором «Protege» та газовим хроматографом «Хром -5». Кількість газу визначалась за допомогою газового лічильника –Metrix 64 №007566255. Будову експериментальної камери показано на рис. 2.1.

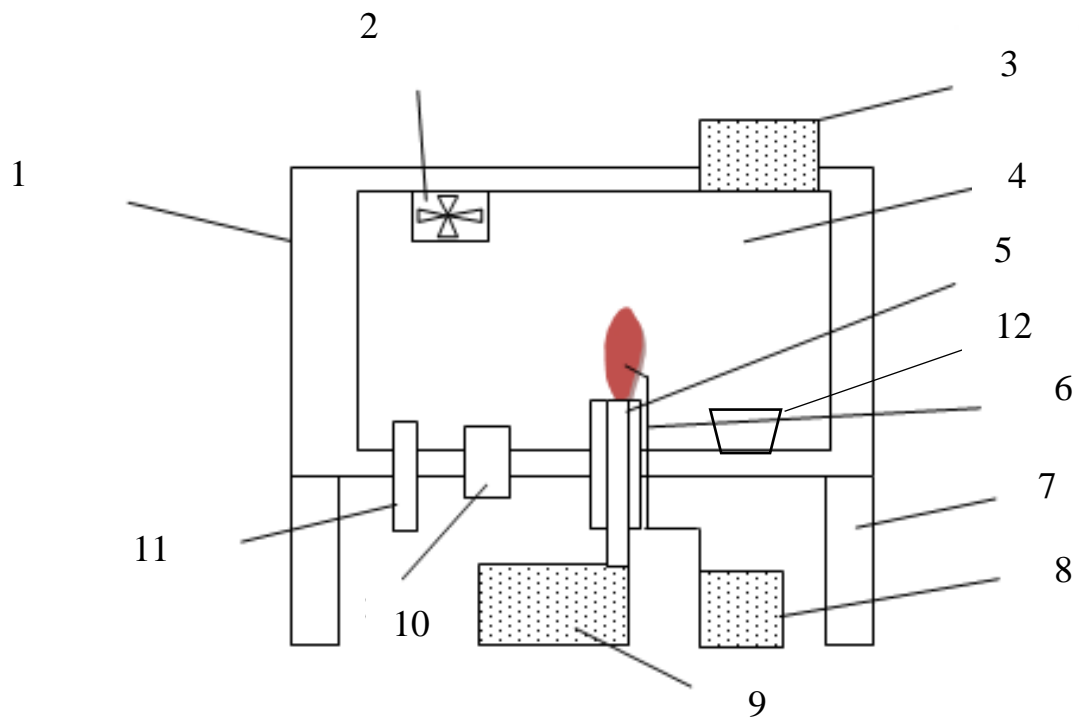


Рисунок 2.1 – Експериментальна установка для визначення вогнегасної ефективності вогнегасної речовини: 1 – корпус камери; 2 – вентилятор; 3 – отвір для продувки посудини; 4 – оглядове вікно; 5 – гептановий пальник; 6 – термопара хромель–алюмелева; 7 – стійки; 8 – регулятор-перетворювач 01–02; 9 – нагріваючий резервуар з гептаном; 10 – джерело запалювання АУС; 11 – труба подачі газу; 12 – тигель

Вогнегасну ефективність визначали на прикладі тигля з n-гептаном з прикріпленою термопарою, сигнал від якої передавався на регулятор-вимірювач 0102 виробництва ПрАТ НВО "Термоприлад" ім. В. Лаха (рис. 2.1), а з нього на електронний інтерфейс РП-8, на якій отримували цифрове значення параметрів зміни температури та відповідно станів – «гасіння», «не гасіння». Визначення ефективності гасіння проводили таким чином. В камері запалювали n-гептан та давали час вільного горіння до 0,5 хв після чого спалювали наважку АУС, та за необхідності добавляли газ, кількість якого вимірювали за допомогою газового лічильника, після чого суміш

перемішували і його концентрацію вибірково підтверджували газовим аналізатором «Protege» або хроматографом «Хром-5». Сама експериментальна установка представляє собою металеву камеру об'ємом 175 л з термостійким оглядовим вікном та металевою основою (рис. 2.1).

Детальніше методику та її елементи і послідовність виконання експерименту описано в роботах [231-234].

2.3. Методика визначення вогнегасної ефективності комбінованого гасіння ударними хвилями та об'ємною вогнегасною речовиною для дифузійного полум'я n-гептану C₇H₁₆

Для визначення вогнегасної ефективності ударної хвилі потужністю від 100 Па до 400 Па під час гасіння дифузійного полум'я n-гептану в тиглі діаметром 40 мм, було проведено експеримент в камері за такою методикою.

Експериментальна установка (рис.2.2) виконана наступним чином: камера з передньою панеллю розмірами: довжина 1980 мм, ширина 485 мм, висота 530 мм, в якій розташовано два люки для внесення тиглів, генератор ударних хвиль і датчик тиску та температури BMP-180 для контролерів Arduino, з часом реакції не більше 7,5 мс в нормальному режимі вимірювання [235]. Для контролера Arduino UNO була використана програма для виводу цифрових показників датчика в інтерфейсі CoolTerm._0.stk* [236]. Датчик був встановлений в камері на відстані 1,75 метра від генератора ударних хвиль. Сам генератор ударних хвиль (рис. 2.3) являє собою трубу діаметром 70 мм і отвором у задній кришці 7 мм, для запалювання піротехнічного заряду всередині генератора. Запалювання заряду здійснювали джерелом струму напругою близько 20 вольт.

Експеримент проводили так: у камері встановлювали тигель діаметром 40 мм і глибиною 35 мм з попередньо запаленим за 20 секунд n-гептаном, на відстані 1750 мм від генератора ударних хвиль вимірювали через 20 секунд теплову інтенсивність випромінювання, після чого задіювали генератор ударних хвиль (рис. 2.2, рис.2.3) пропускаючи по камері ударну хвилю

відповідної потужності і фіксували результат «гасіння», «немає гасіння», «зміни в полум'ї». Після кожної спроби об'єм камери продували, для наступного досліду. Обрані стани були зареєстровані на камеру Nikon 1 J4 з частотою зйомки близько 1200 кадрів на секунду. З отриманих відеороликів була зроблена розкадровка відповідних моментів.

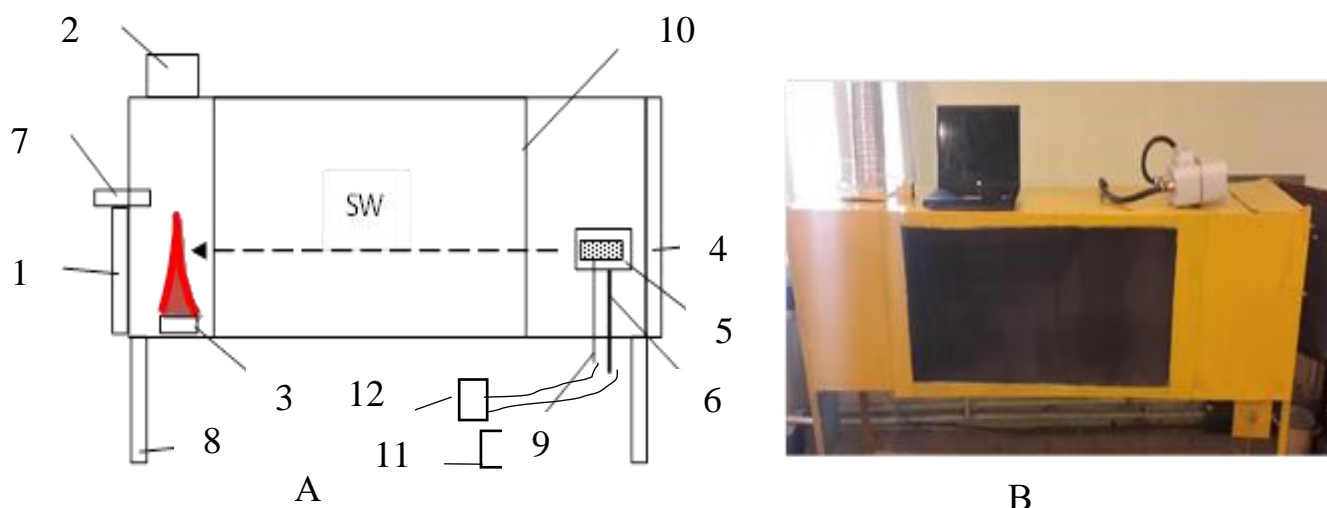


Рисунок 2.2 – Експериментальна установка для дослідження вогнегасної ефективності вогнегасних речовин та ударних хвиль в лабораторних умовах:

А – Схематичне зображення; В – Загальний вигляд

Камера об'ємом $0,5 \text{ м}^3$ та розмірами: довжина 1,98 м, ширина 0,485 м, висота 0,53 м). 1. Люк для тигля. 2. Вентиляційний отвір з вентилятором і засувкою. 3. Тигель. 4. Люк. 5. Генератор ударних хвиль. 6. Кріплення генератора ударних хвиль. 7. Вимірювач тиску УХ. 8. Стійки. 9. Електрозапальник. 10. Оглядове вікно. 11. Трансформатор перетворення напруги для подавання живлення на пристрій подавання електричних імпульсів на генератори ударних хвиль. 12. Багр –П100.

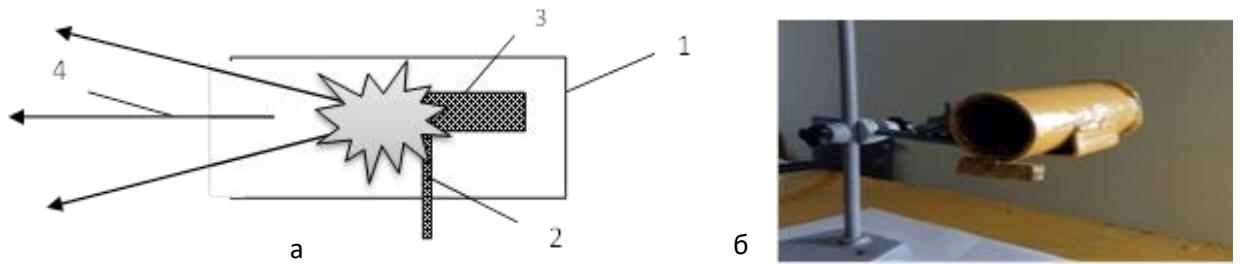


Рисунок 2.3 – Схематичне зображення (а) та фото (б) розробленого генератора ударних хвиль: 1 – корпус генератора ударних хвиль; 2 – електрозапальник; 3 – піротехнічний заряд; 4 – напрямок руху ударних хвиль

Щодо визначення ефективності серій ударних хвиль з різною частотою, то загалом використовувалась та сама методика, що і для одинарних ударних хвиль, лише для створення потрійних серій ударних хвиль використовували генератор ударних хвиль на 3 заряди (рис. 2.4).

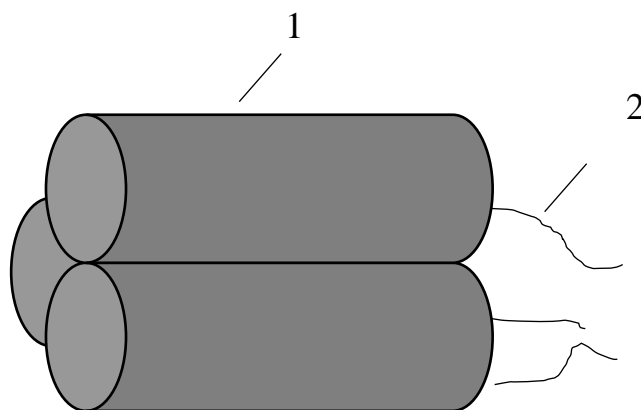


Рисунок 2.4 – Схематичне зображення генератора 3-х ударних хвиль:

1 – корпус генератора; 2 – електрокабель

Генерування відповідної частоти подачі струму на електричні запальники проводили з допомогою електронної схеми на основі плати контролера Arduino, дисплея, перемінного резистора зміни часу затримки, кнопки та модуля реле. Запалювання заряду здійснювали джерелом струму

напругою близько 20 В, яку отримували на виході з реле з відповідною частотою. Пристрій подачі електроімпульсів з заданою частотою показаний на рис. 2.5.

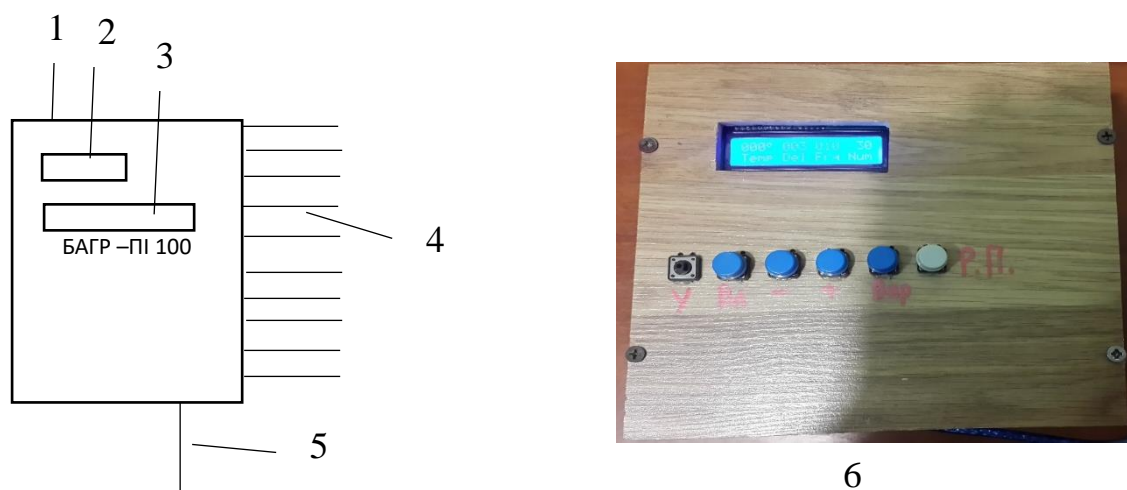


Рисунок 2.5 – Схематичне зображення розробленого пристрою подачі електроімпульсів Багр - ПІ100 із частотою у діапазоні від 1 до 100 Гц:

1 – корпус. 2 – інформаційне табло; 3 – панель управління; 4 – 30 контактів «+»; 5 – контакт «-»; а – схематичне зображення Багр – ПІ100; 6 – фото Багр –ПІ100

2.4. Методика визначення вогнегасної ефективності комбінованого гасіння ударними хвилями та газовою вогнегасною речовиною дифузійного полум'я n-гептану.

Для визначення вогнегасної ефективності газів CO_2 і N_2 дією ударної хвилі, за основу було взято експериментальні дані щодо вогнегасної здатності одинарних та серій УХ. Далі був проведений експеримент з визначення впливу ударної хвилі потужністю від 125 Па до 180 Па на вогнегасну ефективність CO_2 і N_2 при гасінні дифузійного полум'я C_7H_{16} в експериментальній камері за такою методикою і з використанням таких матеріалів. В експерименті використовували хімічно чисті, (99,9%) CO_2 і N_2 .

Експериментальна камера (рис. 3) виконана таким чином: камера з передньою панеллю розмірами: довжина 1980 мм, ширина 485 мм, висота 530 мм, що має два люки для внесення тиглів; генератор ударних хвиль і датчик тиску та температури BMP-180 для контролерів Arduino, з часом реакції не більше 7,5 мс в нормальному режимі вимірювання [235]. Для отримання інформації з датчика для контролера Arduino UNO була використана програма для виведення показань датчика в інтерфейсі CoolTerm._0.stk * [236]. Дані значень тиску отримували спочатку в CoolTerm._0.stk *, далі копіювали, і в Excel будували графіки. Датчик був установлений в камері на відстані 1,75 метра від генератора ударних хвиль. Сам генератор ударних хвиль (рис. 4) являє собою трубу діаметром 70 мм і отвором 3 мм в нижній стінці, для запалювання піротехнічного заряду всередині генератора. Запалювання заряду здійснювали джерелом електричного струму напругою близько 20 В. Експеримент проводили таким чином. У камері встановлювали тигель діаметром 40 мм і глибиною 35 мм з попередньо запаленим за 20 секунд n-гептаном, на відстані 1750 мм від генератора ударних хвиль (рис 2.6.), вимірювали теплову інтенсивність випромінювання. Після цього заповнювали камеру газом відповідної концентрації і задіювали генератор ударних хвиль, пропускаючи по камері ударну хвилю відповідної потужності; фіксували результат – «гасіння», «не гасіння», «зміни в полум'я». Після цього спроби обсяг камери продували для наступного досліду. При проведенні експерименту, відповідні стани гасіння форми полум'я були зареєстровані на камеру Nikon 1 J4 з частотою зйомки 1200 кадрів за секунду.

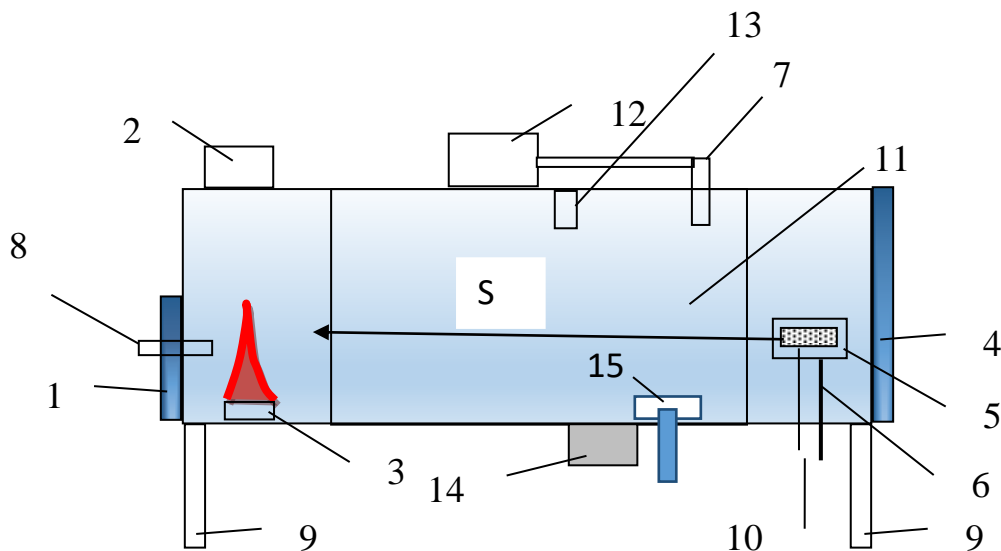


Рисунок 2.6 – Експериментальна установка для визначення вогнегасної ефективності об'ємного вогнегасної речовини під дією ударної хвилі: 1 – камера розмірами (довжина 1,98 м, ширина: 0,485 м, висота 0,53 м); 2 – вентиляційний отвір з вентилятором і засувкою; 3 – тигель; 4 – люк; 5 – генератор ударних хвиль; 6 – кріплення генератора ударних хвиль; 7 – патрубок для газу; 8 – датчик тиску bmr-180; 9 – стойки; 10 – електрозапальник аус; 11 – оглядове вікно; 12 – газовий лічильник; 13 – вентилятор; 14 – джерело живлення; 15 – запальник АУС

2.5. Методика визначення вогнегасної ефективності комбінованого гасіння ударними хвилями та бінарною сумішшю вогнегасного аерозолі та газової вогнегасної речовини дифузійного полум'я n-гептану

З метою підтвердження теоретично обґрунтованого підвищення вогнегасної ефективності комбінованих бінарних газоаерозольних систем ударною хвилею за основу було взято попередньо описану експериментальну методику визначення вогнегасної здатності УХ. При цьому використовували хімічно чисті CO_2 і N_2 . Методика для визначення ефективності комбінованих систем на основі УХ та бінарних газоаерозольних сумішей відрізняється тим, що для подачі аерозолі використовували запальник АУС та лічильник газу.

Експеримент проводили таким чином. У камері (рис. 2.7.) встановлювався тигель діаметром 40 мм і глибиною 35 мм з попередньо запаленим за 20 секунд п-гептаном, на відстані 1750 мм від генератора ударних хвиль (рис 2.7), вимірювали його теплову інтенсивність випромінювання, після чого заповнювали камеру газом відповідної концентрації, підпалювали АУС і перемішували вентилятором утворену суміш. Потім задіювали генератор ударних хвиль, пропускаючи по камері одну або серію ударних хвиль відповідної потужності і частоти і фіксували результат – «гасіння», «відмова», «зміни в полум'ї». Після кожної спроби обсяг камери продували для наступного досліду. Під час проведення експерименту, відповідні стану гасіння форми полум'я були зняті камерою Nikon 1 J4 з частотою зйомки 1200 кадрів на секунду і проведена розкадрування відеоролика.

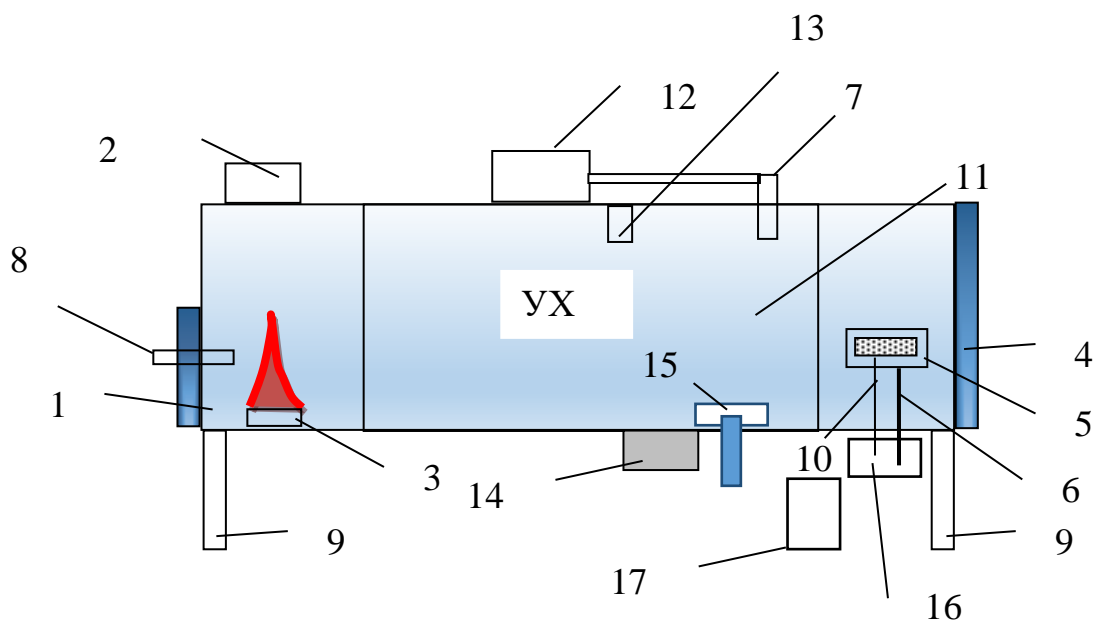


Рисунок 2.7 – Експериментальна установка для визначення вогнегасної ефективності об'ємного вогнегасної речовини під дією ударної хвилі: 1 – камера розмірами (довжина 1,98 м; ширина: 0,485 м; висота 0,53 м); 2 – вентиляційний отвір з вентилятором і засувкою; 3 – тигель; 4 – люк; 5 – генератор ударних хвиль; 6 – кріплення генератора ударних хвиль; 7 – патрубок для газу; 8 – датчик тиску bmr-180; 9 – стойки; 10 – електрозапальники; 11 – оглядове вікно; 12 – газовий лічильник; 13 –

вентилятор; 14 – джерело живлення; 15 – запальник АСУ; 16 – трансформатор перетворення напруги для подавання живлення на пристрій подавання електричних імпульсів на генератори ударних хвиль; 17 – БАГР –ПІ100

2.6. Методологія проведення досліджень

Далі було розроблено методологію проведення досліджень, відповідно до якої передбачено проведення аналізу статистики пожеж та їх негативного впливу на довкілля, а також сучасного стану трактування процесів припинення горіння та засобів і технологій припинення горіння. Обрані методи проведення досліджень, за якими, із застосуванням розроблених методик, виявлених чинників впливу на процеси припинення горіння, створеного експериментального обладнання та результатів лабораторних і полігонних досліджень, передбачено створення наукових основ зменшення негативного впливу на довкілля пожеж на початковій стадії їх розвитку дією ударних хвиль та їх комбінацій з екологічно прийнятними вогнегасними речовинами. На рисунку 2.8 схематично зображено методологію проведення дисертаційних досліджень [237, 238].

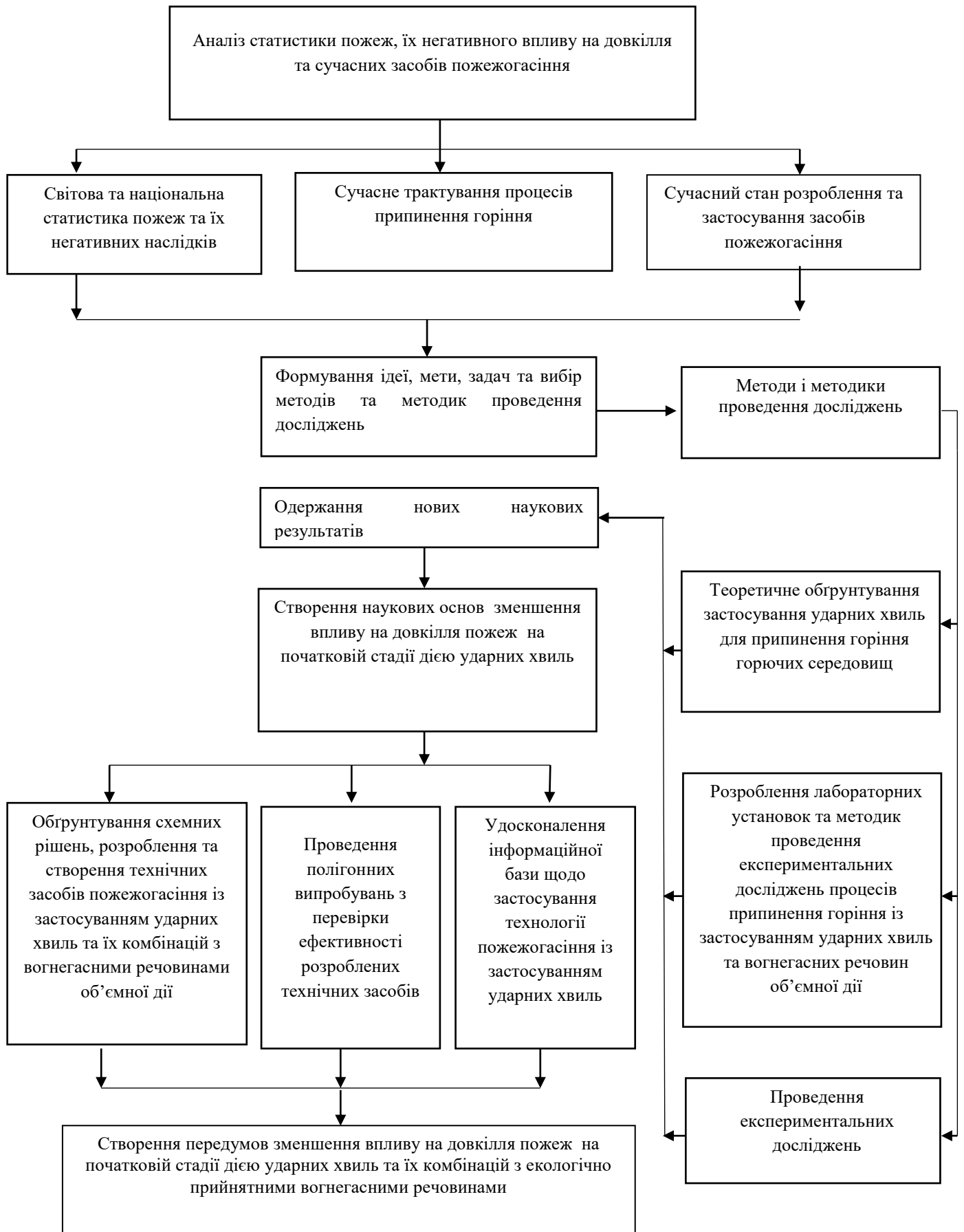


Рисунок 2.8 – Методологія та методи проведення досліджень

Висновки за розділом

- Проведено аналіз методик та установок з визначення вогнегасної ефективності вогнегасних засобів об'ємної дії. Встановлено, що для визначення вогнегасної ефективності аерозолію необхідно визначити зміну температури під час подачі його в зону горіння безпосередньо з потоком газу.
- Розроблено експериментальну методику та установку «Камера» для визначення вогнегасної ефективності аерозольних та бінарних аерозольно-газових сумішей, в якій для дослідження вогнегасної ефективності бінарної аерозольно-азотної суміші використано два види полум'я – дифузійне та кінетичне.
- Розроблено експериментальну методику та установку для визначення вогнегасної ефективності одинарних та серій ударних хвиль, в якій для дослідження їх вогнегасної ефективності застосовано дифузійне полум'я n-гептану. Для вимірювання тиску було використано датчик тиску BMP-180 виробництва фірми BOSCH. При цьому для відеофіксації використано камеру Nikon 1J4 з можливістю зйомки 1200 кадрів за секунду. Для отримання результатів з датчика для контролера Arduino UNO була використана програма для виведення показань датчика в інтерфейсі CoolTerm._0.stk.
- Розроблено методику визначення вогнегасної ефективності комбінованого гасіння ударними хвилями та об'ємною вогнегасною речовиною для дифузійного полум'я n-гептану C_7H_{16} . Для цього обрано АУС на основі ідітолу та нітрату калію.
- Розроблено методику визначення вогнегасної ефективності комбінованого гасіння ударними хвилями та газовою вогнегасною речовиною дифузійного полум'я n-гептану, де в якості газових вогнегасних речовин було використано хімічно чисті CO_2 та N_2 .
- Розроблено методологію проведення досліджень, відповідно до якої передбачено проведення аналізу статистики пожеж та їх негативного впливу на довкілля, а також сучасного стану трактування процесів припинення горіння та засобів і технологій припинення горіння.

3 РОЗДІЛ

ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ЗАСТОСУВАННЯ УДАРНИХ ХВИЛЬ ТА ЇХ КОМБІНАЦІЙ З ГАЗОВИМИ ТА АЕРОЗОЛЕВИМИ ВОГНЕГАСНИМИ РЕЧОВИНАМИ ДЛЯ ПРИПИНЕННЯ ГОРІННЯ

3.1. Теоретичні основи гасіння дифузійного полум'я ударними хвилями

При проходженні ударної хвилі через газ з твердою фазою, прискорюється, стискається і нагрівається тільки газова фаза, оскільки мікроскопічні частинки аерозоллю рідко стикаються між собою, а при взаємодії з газом їх швидкість і температура змінюються порівняно повільно [240]. За ударною хвилею в зоні релаксації відбувається поступове вирівнювання швидкостей течії і температури компонентів [240]. Відомо [241], що у структурі ударної хвилі стиснення наявні дві області: область так званого в'язкого скачка ущільнення, яка утворюється під дією в'язкості та теплопровідності, і релаксаційна область, обумовлена іншими, порівняно повільними релаксаційними процесами, зокрема, розрідженням (якщо такі є) [242, 243]. Ударна хвиля малої інтенсивності, що поширюється по холодному газу ($T_1 \ll 1000$ K), спричиняє коливання і незначну зміну складу газу, а структура ударної хвилі визначається лише скачком ущільнення. Вплив ударної хвилі на параметри середовища та полум'я необхідно розглядати, виходячи зі структури та швидкості процесу горіння.

Отже, при проходженні ударної хвилі через полум'я будуть реалізовуватись майже всі умови, які призводять до припинення горіння та зазначені в табл. 3.1. На ефективність процесу гасіння найістотніше впливатиме зміна концентрації реагентів у зоні реакції – локальне збільшення концентрації вогнегасного аерозоллю в зоні горіння та проникнення в зону реакції інгібіторів і флегматизаторів разом з газовою сумішшю, яка додатково містить CO_2 , H_2O (пара) та надлишкову кількість азоту N_2 .

Таблиця 3.1

Зміна параметрів зони реакції горіння ударною хвилею

Зниження q (+) інтенсивності тепловиділення в зоні реакції		Збільшення q (-) інтенсивності тепловідведення з зони реакції		
зміна концентрації реагентів у зоні реакції (зменшення C_i)	хімічне гальмування швидкості реакції (підвищення E_a)	зниження температури навколо зони горіння	збільшення площі тепловіддачі	підвищення ефективності теплопередачі
<ul style="list-style-type: none"> – розведення системи одним з компонентів чи припинення доступу іншого компонента; – введення інертних речовин; – зниження тиску 	– введення в зону реакції хімічно активних інгібіторів	– введення в зону реакції речовин з високою теплоємністю і теплотою фазових переходів	– введення в зону горіння поверхонь, які забирають на себе тепло	<ul style="list-style-type: none"> – збільшення випромінювальної здатності; – збільшення потужності конвекційних потоків (зрив полум'я,

Також проходження фронту УХ призведе до охолодження навколо полум'яного простору та відповідно зниження швидкості реакції. Після проходження скачка ущільнення з тиском P_1 за ним в ударній хвилі йде зона розрідження з тиском P_2 , тобто зона горіння буде зазнавати додаткового розтягнення в просторі та, внаслідок цього, значного збільшення тепловідведення, що повинно призвести до припинення реакції горіння. Після проходження ударної хвилі, полум'я буде зміщено на деяку відстань від місця

розташування витоку газів, парів, що призведе до додаткового вогнегасного ефекту завдяки захопленню полум'я навколишнього газового об'єму, що призведе до руйнування кільцевої зони запалювання полум'я.

Відомо, що стійкість дифузійного полум'я залежить від кільцевої зони запалювання. Достатньо на цю область подіяти потоком невеликої швидкості і факел може обірватись [243]. Факел буде тим стійкішим, чим багатша суміш у струмені і чим стабільніше середовище навколо нього. Тільки в цьому випадку може утворитись потужна кільцева зона горючої суміші.

Власне тому найбільш стійкішим буде дифузійне полум'я, коли горіння проходить завдяки навколишньому повітрю і в пальник подається лише газ [243, 244]. Вплив на вказану область ударної хвилі може призвести до руйнування кільцевої області запалювання або навіть і до її зникнення та руйнування самої структури полум'я. Ймовірно, більш ефективною буде дія ударної хвилі, спрямованої паралельно до осі конуса полум'я знизу. У цьому випадку напрямок руху газів у полум'ї буде збігатися з напрямком руху ударної хвилі і, як наслідок, може відбутись прискорення певної ділянки полум'я, її відрив та гасіння. Відповідно, потужності ударної хвилі має бути достатньо для того, щоб забезпечити створення умов відриву полум'я. Можна передбачити, що цього ж ефекту можна досягнути і при векторі акустичної ударної хвилі, перпендикулярному до осі полум'я. Але, у випадку перпендикулярної дії ударної хвилі на полум'я ефективність дії необхідно підтвердити експериментально.

Якщо полум'я буде розташоване в середовищі холодного газу, то дія ударної хвилі на це середовище може призвести до гасіння, як вже вказувалось вище, завдяки ефекту розбавлення зони горіння повітрям, вивівши таким чином співвідношення реагуючих речовин за межі області стехіометричних концентрацій, які спостерігаються в зоні горіння, а то і за межі області займання. При цьому зона горіння зазнає розтягування під впливом релаксаційної зони з тиском P_2 ударної хвилі, яка при проходженні через

полум'я буде спричиняти в полум'ї ті ж процеси, які відбуваються при проходженні ударної хвилі через газове середовище, зокрема утворення зони підвищеного тиску. За нею відразу буде проходити зона низького тиску, внаслідок чого полум'я буде розтягуватись і тепло, сконцентроване в цій області, що виділяється при горінні, буде розсіюватись. Це буде додатковим чинником, який сприятиме підвищенню ефективності пожежогасіння. Це ж підтверджується в роботі автора [245], який стверджує, що механізм цього способу зводиться до збурення зони реакції всередині полум'я, що призводить до зменшення товщини цієї зони, в результаті чого скорочується період часу, протягом якого пара горючого повинна вступити в реакцію.

При занадто тонкій зоні реакції, горіння пального буде неповним і полум'я почне охолоджуватись до температури, при якій воно не зможе більше відновлюватись ($T_f = 1000^\circ\text{C}$) [240, 241]. Максимально збільшить вогнегасну ефективність наявність навколо полум'я вогнегасного аерозолі, коли до вище зазначених ефектів додається ефект інгібування полум'я в області відриву, спричиненого ударною хвилею. При цьому можливість відриву полум'я та його гасіння дотягатиметься набагато легше, оскільки напрямок руху та швидкість ударної хвилі буде дестабілізувати полум'я.

Відрив факела відбувається при середніх швидкостях витікання, набагато більших за швидкість поширення полум'я [245]. При цьому відбуватиметься захоплення інполярними частинами полум'я повітря та аерозольних частинок, якщо вони є присутні [246]. Швидкість захоплення для повітряних мас дорівнює 0,09 м/с для умов спокійного повітря. Як вказано у цій роботі, при впливі вітру або будь-якому іншому русі полум'я відбудеться відхилення факела та різке збільшення коефіцієнта захоплення [247]. При дії на полум'я вітру зі швидкістю 2 м/с, полум'я відхиляється на 45° , при цьому значно збільшується коефіцієнт захоплення повітря [244]. Подібні умови відтворюються при проходженні ударної хвилі через полум'я, але як було сказано, швидкість проходження ударної хвилі є набагато більшою за 2 м/с та

становить не менше 340 м/с. При дії ударної хвилі її потужність буде характеризуватись імпульсом I , швидкістю v , тиском P . Дія ударної хвилі, як і бокового вітру, призведе до дестабілізації полум'я в просторі та втрати ним відповідної структури. При дії ударної хвилі в момент її проходження через полум'я буде відбуватися його часткова турбулізація. Для визначення умов найбільш ефективного застосування ударної хвилі у пожежогасінні необхідно розглянути особливості горіння речовин і матеріалів в різних агрегатних станах.

Горіння твердих і рідких речовин відбувається за аналогією та в кожному виді горіння існує кільцева зона запалювання, руйнування якої може призвести до відриву полум'я внаслідок потоків, які набігають знизу. Це підтверджується також і в досліді автора [243], який вказує, що, якщо вздовж зовнішньої границі пальника спрямувати потік повітря, то можна досить легко здути полум'я при цьому помітно не змінюючи швидкість в середній частині струменя.

Якщо розглянути будову дифузійного полум'я, то необхідно відмітити таке. Фронт полум'я однорідної суміші набуває стійкого положення по конусоподібній поверхні, в кожній точці якої нормальна до неї складова v_n швидкості руху газу дорівнює нормальній швидкості поширення полум'я. Концентрація пального та окисника у зоні горіння лежить в близькій до стехіометричної області. Швидкість поширення полум'я, окрім області поблизу пальника або кромки стабілізатора, набагато більша за нормальну швидкість поширення полум'я. Форма факела залежить від геометричної форми джерела запалювання. При кільцевому джерелі запалювання, що розташовується по периферії гирла круглого пальника, факел набуває конічної форми; при інших розташуваннях факел може бути у вигляді перевернутого конуса, призми тощо. У відкритому факелі при ламінарному горінні однорідної суміші із запалюванням по периферії гирла круглого пальника фронт полум'я набуває стійкого положення по конусоподібній поверхні. Полум'я, яке утворюється при

витіканні палива в середовищі окисника, є дифузійним. Будова дифузійного полум'я при надлишку пального та окисника показана на рисунку 3.1.

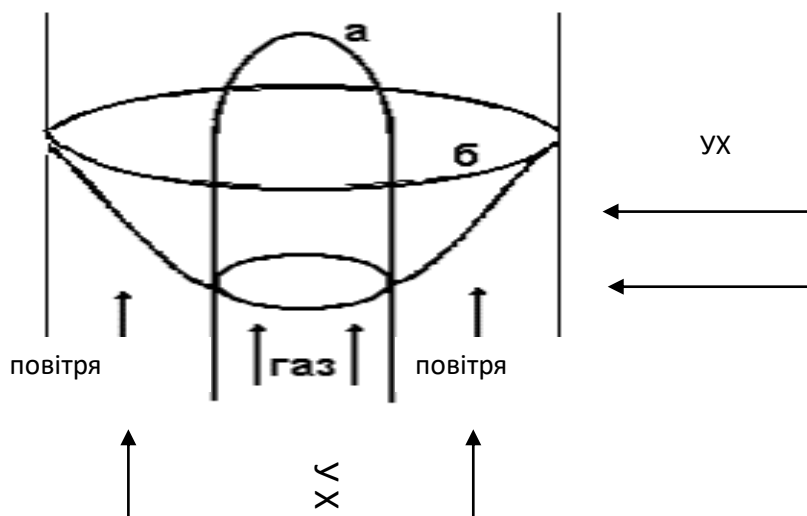


Рисунок 3.1 – Дія УХ на дифузійне полум'я

Як відомо [243], ефект гасіння, згідно з тепловою теорією гасіння, відбувається при досягненні критичних параметрів мінімальної температури в зоні горіння – 1000°C , звуження зони займання через добавки вогнегасної концентрації інгібітора або флегматизатора [248, 249]. Виходячи з рівняння Арреніуса [241], основними складовими якого є концентрації реагуючих речовин та енергія активації реакції при стехіометричному співвідношенні температур, можна проаналізувати вплив ударної хвилі на зміну значення кожного з цих параметрів. При дії ударної хвилі на полум'я концентрації реагуючих речовин в момент проходження ударної хвилі будуть суттєво змінюватись. Перш за все, в момент контакту УХ з полум'ям майже миттєво зросте концентрація повітря, а разом і з ним – аерозолі в зоні горіння, що може призвести до виводу концентрації суміші за межі займання. Концентрація горючих газоподібних компонентів при цьому зазнає також суттєвих змін. Збільшення концентрації вогнегасних газів в області полум'я суттєво збільшить вогнегасну ефективність, оскільки значно зменшиться швидкість

поширення полум'я. Це ж вказуються і в роботах [250, 251], які підтверджують суттєве зменшення швидкості горіння у зв'язку зі зниженням вмісту радикалів ОН, особливо для частинок розмірами 6-8 мкм. При цьому авторами був зроблений висновок про поверхневий характер інгібування частинками солей, які вводилися. Можна передбачити, що розмір полум'я, яке можна погасити лише ударною хвилею, буде залежати від потужності хвилі. У результаті проходження ударної хвилі область полум'я зміститься з швидкістю 360-1000 м/с, що дорівнює швидкості проходження УХ у повітрі або й більше, відносно поверхні, з якої надходять горючі пари та гази в зону горіння.

Оскільки в роботі [241] зазначено, що швидкість слабкої ударної хвилі майже дорівнює швидкості звуку в цьому середовищі, паралельно відбудеться розтягування фронту полум'я завдяки впливу зони розрідження за зоною тиску в просторі та відриву факела від поверхні горючої речовини. Зрозуміло, що в результаті проходження ударної хвилі навіть мінімальної потужності через простір, де перебуватиме полум'я, параметри останнього будуть суттєво змінюватись. У першу чергу, необхідно звернути увагу на концентрацію реагуючих речовин та їх співвідношення. Однозначно, це призведе до значного підвищення енергії активації E_a , в основному, внаслідок збільшення концентрації повітря, а в деяких випадках E_a збільшиться до значень, за яких ініціювати реакцію неможливо. Розглядаючи фактори підвищення E_a , необхідно додати, що суттєвим чинником, який призводить до значного зростання E_a , є наявність в середовищі дисперсного інгібітора у вигляді неорганічних солей калію, крім якого одночасно будуть діяти і вищеописані фактори. Одночасний вплив усіх цих факторів повинен значно підвищити ефективність гасіння. Додатково підвищити ефективність гасіння ударними хвилями може вогнегасний аерозоль. Вогнегасна ефективність аерозолю залежить від багатьох факторів. В основному вона визначається хімічним, кількісним і дисперсним складом твердої та газової фаз аерозолю, які під дією різних зовнішніх чинників (вологості, температури середовища, наявності розвиненої поверхні

об'єму, що захищають, і вбудованих у нього конструкцій та ін.), можуть помітно змінюватися [252, 253, 254]. Крім цього, як відомо, склад аерозольутворювального складу, температура середовища, в якій перебуває аерозоль, фізико-хімічні особливості горючої речовини та її кількість, розташування генератора вогнегасного аерозолю, добавки інертних газів і іншого роду інгібіторів найбільш істотно впливають на кінцеву вогнегасну концентрацію аерозолю. Для визначення умов оптимального застосування ударної хвилі з метою підвищення ефективності необхідно розглянути вплив основних чинників, які визначають вогнегасну ефективність.

Як відомо, до складу аерозольутворювального складу входять окисники і пальне. При згорянні утворюється дисперсна і газова фази. До складу дисперсної фази входять сполуки солей калію, натрію і рідше – інших металів. В основному до складу аерозолю входять солі $K_2CO_3 \cdot 2H_2O$, KNO_2 [240].

Підвищення температури середовища призводить до зниження вогнегасної ефективності аерозолю, як вважають автори [255] у зв'язку з руйнуванням структури самого аерозолю. Дія ударної хвилі в умовах високої температури, коли вогнегасна концентрація збільшується у понад 3 рази, наводить на думку, в таких умовах ударна хвиля не принесе очікуваного підвищення вогнегасної ефективності. Вплив природи речовини відображений в результатах досліджень авторів [244]. Автори [244] показали, що горючі речовини, які мають високу теплоту згоряння і низьку температуру самозаймання, мають і високу вогнегасну концентрацію. Так, мінімальна вогнегасна концентрація аерозолю для октану становить $19,5 \text{ г/м}^3$, а для метанолу – всього 4 г/м^3 [154]. Отже, можна передбачити, що аерозольне гасіння за допомогою ударної хвилі в повітряному середовищі для речовин, які мають різні значення нижньої теплоти згоряння, не буде однаково ефективним. Оскільки швидкість поширення полум'я для різних речовин у більшості випадків становить від $0,03$ до 15 м/с [243], то необхідно зауважити, що вогнегасна дія ударної хвилі буде залежати також і від швидкості поширення

полум'я. Відповідно, зменшення швидкості поширення полум'я по пароповітряних сумішах повинно призвести до підвищення ефективності гасіння в результаті дії ударної хвилі.

Використання ударної хвилі підвищуватиме вогнегасну ефективність, оскільки короткочасна дія хвилі призведе до порушення балансу аерозоль-полум'я, який встановлюється при концентраціях, менших за вогнегасні, коли полум'я горить ще деякий час до моменту загасання. Вплив ударної хвилі призведе до зміщення матеріально-теплого балансу у бік досягнення ефекту відриву полум'я. Як зазначалось вище у роботах [154, 256], автори спостерігали таку поведінку полум'я, коли під дією середовища аерозолі при концентраціях, близьких до вогнегасної, полум'я видовжувалося, набувало спіралевидної форми із закручуванням. Усі ці зміни можуть свідчити про значне зменшення швидкості поширення полум'я в результаті процесу інгібування. Якщо у цей момент незначно порушити рівновагу, що встановилася, горіння припиниться внаслідок відриву полум'я під дією набігаючого знизу горючого газу, який не встигає згоріти. Для миттєвого та ефективного порушення цього балансу найкраще підходить дія ударної хвилі, оскільки її проходження, як було вказано, істотно змінює параметри середовища, руйнує структуру полум'я, здуває полум'я від поверхні горючої речовини, а дія вогнегасного аерозолі не дасть йому відновитись.

Окремо необхідно сказати про таке явище, як дифракція [246, 247], якої зазнає ударна хвиля при проходженні через перешкоди, що, можливо, призведе до підвищення ефективності гасіння за перешкодами. Найбільш ефективно буде діяти ударна хвиля при гасінні полум'я за дрібними перешкодами. Дифракція відбувається внаслідок інтерференції, що також є важливим чинником при підвищенні вогнегасної ефективності. Як відомо [246], інтерференція – це явище накладання двох або більше когерентних ударних хвиль, в результаті чого в одних місцях спостерігається підсилення сумарної хвилі (інтерференційний максимум), а в інших – послаблення (інтерференційний

мінімум) [246]. Дифракція [246] нерозривно пов'язана з явищем інтерференції. Більше того, саме явище дифракції часто трактують як випадок інтерференції обмежених у просторі хвиль (інтерференція вторинних хвиль). Загальною властивістю усіх ефектів дифракції є залежність міри її прояву від співвідношення між довжиною хвилі і характерним розміром неоднорідностей середовища d або неоднорідностей структури самої хвилі. Найпомітніше вони проявляються при розмірах неоднорідностей, співвимірних з довжиною хвилі. При розмірах неоднорідностей, що істотно перевищують довжину хвилі (на 3-4 порядки і більше), явищем дифракції, як правило, можна знехтувати. В останньому випадку поширення хвиль з високою мірою точності описується законами геометричної оптики. З іншого боку, якщо розмір неоднорідностей середовища набагато менший від довжини хвилі, то дифракція проявляє себе у вигляді ефекту розсіювання хвиль [246, 247].

Так само енергія від вибуху в вигляді ударної хвилі зазнає дисипації [248] у навколишньому середовищі у вигляді сфери і в цьому випадку лише певна частина енергії вибуху піде на збивання полум'я. Якщо сконцентрувати енергію вибуху у визначеному напрямку, то це значно б підвищило ефективність дії ударної хвилі, а значить, і ефективність гасіння в цілому. Існує ряд робіт [257, 258, 259], в яких автори проводили теоретичні та експериментальні дослідження з використанням відбивачів – концентраторів ударної хвилі для гасіння пожеж, у тому числі і лісових.

Враховуючи вищезазначене, можна стверджувати, що застосування відбивачів-концентраторів ударних хвиль буде ефективним не тільки у гасінні крупних лісових пожеж [16,17], але і у гасінні пожеж і загорянь в обмеженому об'ємі. Для визначення умов застосування зарядів та відбивачів необхідно визначити безпечні параметри ударної хвилі та потужність вибухового заряду.

Як було вже зазначено, факел буде тим стійкішим, чим багатша суміш у струмені. Тільки в цьому випадку може формуватись потужна кільцева зона горючої суміші. Власне тому дифузійне полум'я буде найстійкішим, коли

горіння проходить на повітрі і в пальник подається лише газ [243, 244]. Вплив на вказану область ударної хвилі може призвести до розриву кільцевої області запалювання або навіть і до її руйнування. Ймовірно ефективнішою буде дія ударної хвилі, спрямованої паралельно осі конуса полум'я, а не перпендикулярно. Якщо полум'я роташоване в оточенні холодного середовища і додатково вогнегасної аерозолевої речовини, це сприятиме зменшенню швидкості горіння завдяки інгібуванню і тому відриву полум'я досягнути набагато легше. Горіння твердих та рідких речовин відбувається аналогічно і у кожному випадку горіння існує кільцева зона запалювання, руйнування якої може призвести до відриву полум'я внаслідок набігаючих знизу потоків горючих газів та повітря.

Всі ці умови відтворюються в більшій чи меншій мірі в момент проходження ударної хвилі через простір, де існує полум'я. Також відрив полум'я може відбутись в результаті різкого направлено руху повітря або газового середовища. Наприклад, в результаті подуву вітру полум'я можна просто задути або, як пропонують автори роботи [30], збити високошвидкісним струменем води. Дія ударної хвилі з різних позицій буде обумовлювати різницю у ефективності відриву полум'я. Зрозуміло, що за умови дії ударної хвилі знизу, або на рівні полум'я відрив полум'я буде здійснюватись ефективніше, оскільки в полум'я буде проникати вогнегасний аерозоль (рис.3.2). При боковій дії ударної хвилі на аерозоль, можна стверджувати, що сумісна дія аерозолу та ударної хвилі буде найефективнішою, тому необхідно експериментально дослідити вогнегасну ефективність такого впливу. Для цього необхідно визначити оптимальні умови впливу ударними хвилями. Діяти ударними хвилями на полум'я можна зверху, знизу і збоку. При цьому полум'я буде зазнавати відповідного зміщення (рис 3.2).

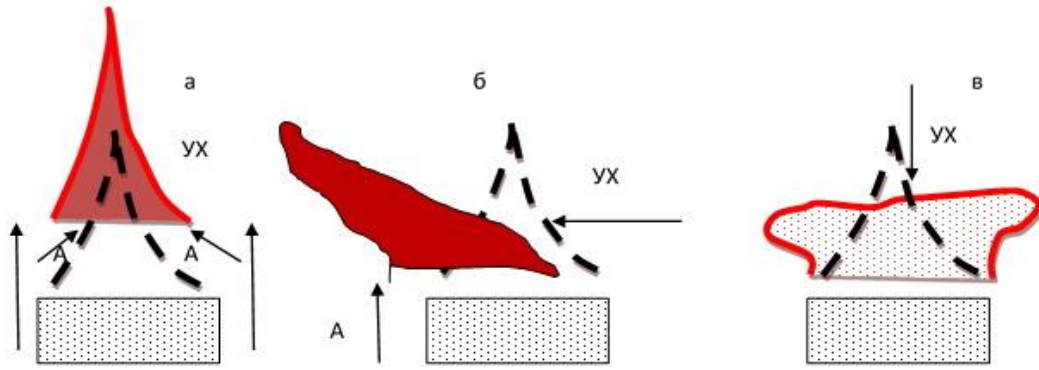


Рисунок 3.2 – Дія ударної хвилі з різних позицій на полум'я

Гасіння дифузійного полум'я ударними хвилями забезпечує реалізацію чинників які відповідають одночасній дії об'ємних вогнегасних засобів та фізичного впливу. Однозначно відповісти на питання – з якої позиції дія ударної хвилі буде найбільш ефективною, не можна і необхідно проводити експериментальні дослідження з виявлення такого типу залежностей.

3.1.1. Вогнегасні чинники ударних хвиль

При проходженні ударної хвилі (далі – УХ) через газове середовище відбувається формування відповідних зон високого тиску і релаксаційної зони низького тиску, які власне, і утворюють ударну хвилю [260]. Таким чином, дія УХ на газове середовище і полум'я забезпечить миттєву зміну майже всіх параметрів полум'я, що може привести при досягненні певних значень тиску на фронті УВ до її гасіння.

При проходженні ударної хвилі через газове середовище газова компонента прискорюється і стискається. За ударною хвилею в зоні релаксації відбувається поступове вирівнювання швидкостей течії і температури компонентів [260]. Структура ударної хвилі розглянута в гідродинаміці як розрив, що насправді є перехідним шаром кінцевої протяжності, яку називають шириною ударної хвилі. [261] В ньому відбуваються незворотні процеси переходу речовини з вихідного стану перед ударною хвилею в кінцевий стан за

нею. Ударні хвилі виникають при вибухах, при надзвукових рухах тіл, потужних електричних розрядах, швидких витікання газів тощо. Наприклад, під час вибуху утворюються високонагріті продукти вибуху, що володіють великою щільністю і високим тиском. У початковий момент вони оточені повітрям, що має нормальну щільність і атмосферний тиск. Продукти вибуху, розширюючись, стискають навколишнє повітря, причому в кожен момент часу стиснутим виявляється лише повітря у певному обсязі, а за цим обсягом повітря залишається в незбуреному стані. Згодом обсяг стисненого повітря зростає, а поверхня ударної хвилі – фронт, поширюється в просторі [261]. Проходження ударної хвилі через газове середовище за умови проходження через полум'я може привести до його динамічному відриву. Динамічно збити полум'я можна за умови, якщо буде досягнута достатня потужність повітряного потоку, який забезпечує, відрив зони горіння зі швидкістю, що перевищує швидкість поширення полум'я, і зменшення температури в зоні реакції горіння до температури загасання – 1273 К [262]. Ударні хвилі відрізняються від звукових хвиль тим, що можуть передавати набагато більше енергії, яка переноситься при переміщенні газового середовища в напрямку поширення фронту ударної хвилі. Крім цього, швидкість ударної хвилі залежить від її інтенсивності, що не властиве для звукових хвиль. Але тим не менше, ударна хвиля має певну схожість із звуковою хвилею, що полягає в її структурі і в процесах, що протікають в її фронті. Але в разі, коли ударна хвиля є слабкою то вона мало чим відрізняється від звукової, і з часом будь-яка ударна хвиля переходить в звукову [263]. Так в роботах [264, 265, 266, 267] автори чітко підтвердили ефект гасіння звуковою хвилею. В роботі [264] зазначено, що технологія гасіння полум'я акустичною хвилею може стати елементом підтримки пожежної безпеки складів, промислових будівель, резервуарів з горючою рідиною, а в роботі [267] показано, що звукова хвиля добре гасить полум'я в умовах зниженої гравітації при частоті 30 Гц. Узагальнюючим недоліком розглянутих методів гасіння звуковою хвилею є, що для отримання потужної звукової хвилі

необхідне спеціальне обладнання, а також те, що ефективне гасіння відбувається на досить малій відстані від джерела звукових хвиль (20-100 см), що значно менше за відстань у кілька метрів для УХ, а при більшій потужності УХ – і у десятки метрів, ефективною вогнегасною дією. Таким чином, для гасіння більш масштабних пожеж можна ефективно використовувати ударні хвилі, які несуть на значно більші відстані набагато більше енергії, ніж звукові хвилі.

В роботі [268] показано способи і умови застосування ударних хвиль, а також пристрій для гасіння низових лісових пожеж, дія якого полягає в концентрації енергії ударної хвилі на певній ділянці лісової пожежі. Вивченням дії ударних хвиль при гасінні лісових пожеж займалися автори робіт [258, 269-271]. У них розглянуті ефективність гасіння ударними хвилями різних видів лісових пожеж. Загальним висновком є те, що вплив на полум'я потужної УХ з позиції гасіння є ефективним і може привести до повного гасіння полум'я за умов концентрації енергії ударної хвилі в зазначеному секторі та її достатньої потужності. Існує ймовірність того, що в основному вогнегасний ефект ударної хвилі полягає в динамічному впливі газового середовища на полум'я. Аналогічно, наприклад, коли на полум'я подує вітер зі швидкістю 2 м/с, полум'я відхиляється на 45 °, при цьому значно збільшується коефіцієнт захоплення повітря [271], який може привести до різкого охолодження і відриву полум'я завдяки зменшенню швидкості згорання. Подібні умови відтворюються при проходженні ударної хвилі через полум'я, але швидкість проходження ударної хвилі набагато більша, ніж 2 м/с і є значно більшою за швидкість звукової хвилі та буде відповідати швидкості згорання вибухової речовини, а власне, швидкості її детонації в середньому 3000 м/с для промислових вибухових речовин. Зрозуміло, що різниця між ударною хвилею і подувом вітру полягає в потужності і швидкості впливу на полум'я. Дія ударної хвилі, як і бічного вітру, призведе до дестабілізації полум'я в просторі і втрати ним своєї відповідної структури. При впливі ударної хвилі в момент її проходження через полум'я може статися його часткова турбулізація. А при

турбулізації, як відомо, відбувається захоплення ще більших газових обсягів, які оточують полум'я, що призведе до досягнення більш нестабільного стану, коли полум'я може відірватися [271]. Виходячи з цього, очевидно, що ударна хвиля призведе до ефекту гасіння тільки за умови відповідної потужності, напрямку подачі, забезпечуючи відрив полум'я і, відповідно подальше його гасіння. Але в цьому випадку можливе подальше відновлення горіння через повторне загоряння від бортів резервуара, або нагрітих конструкцій. Таким чином, для визначення ефективності гасіння запропонованим методом необхідно визначити безпечні і одночасно ефективні з точки зору гасіння потужності ударних хвиль. Виходячи з цього, діапазон досліджуваних тисків, було визначено з огляду на безпечні потужності ударних хвиль, які не можуть привести до значних руйнувань конструкцій і травматичних впливів на людину, що становить відповідно до 500 Па, тобто $1/20$ від безпечного тиску для людини [263,118]. Також зазначений діапазон тиску ударної хвилі підтверджується аналізом подібних досліджень, але зі звуковим впливом на полум'я. Так в роботі [264] зазначено, що горіння дифузійного полум'я припиняється при мінімальному звуковому тиску близько 35-45 Па, але при цьому не вказано час впливу, при якому горіння припинялося. Виходячи з цього, можна припустити, що дія ударних хвиль, можливо, буде на рівні ефективності дії звукових коливань, або навіть більш ефективною, а оскільки час впливу УХ на полум'я мізерно малий і ймовірно становить близько 10 мс, а отже тиск у фронті УХ повинен бути більшим.

Таким чином, виходячи з теоретичних міркувань щодо вогнегасної ефективності ударної хвилі, можна сказати, що ударна хвиля може забезпечити ще більш високий вогнегасний ефект завдяки більш високій потужності і швидкості дії на полум'я. Відповідно, можна стверджувати, що дія ударної хвилі на полум'я повинна привести до реалізації таких ефектів: зміщення полум'я від місця витікання (рис 3.3 а); відриву полум'я від місця витікання газу або пари (рис. 3.3 б); в результаті турбулізації і захоплення обсягів холодного

повітря призведе до дроблення полум'я спочатку на великі, а потім на більш дрібні фрагменти і подальше його гасіння (рис 3.3 с).

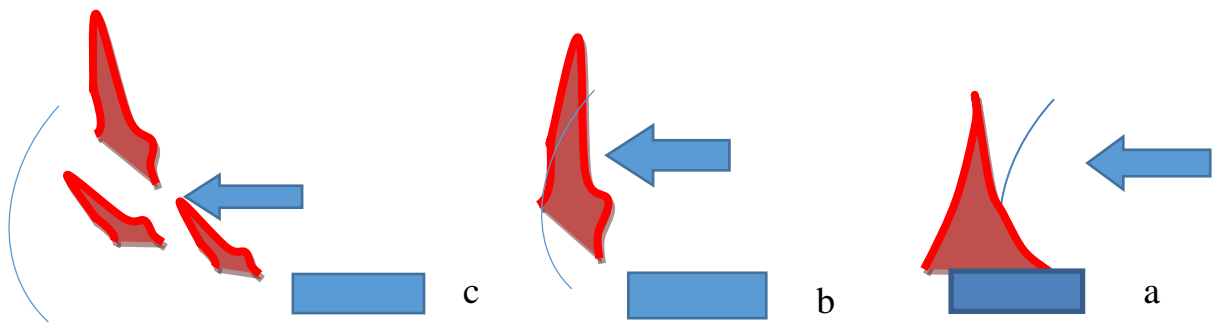


Рисунок 3.3 – Стадії проходження ударної хвилі, через дифузійне полум'я: Стрілкою вказано напрямок ударної хвилі

Дія на полум'я УХ значної потужності має призвести до фрагментації полум'я вже на перших моментах через ефект Ріхтмаєра – Мешкова, який забезпечить початок руйнування полум'я та його гасіння за дуже короткий час, який має дорівнювати часу контакту УХ з полум'ям. Полум'я при цьому не відноситиметься від гирла витoku горючих газів та пари (рис.3.3).

Використання одинарних ударних хвиль буде підвищувати вогнегасну ефективність аерозолі речовини, але одинарні ударні хвилі повинні мати надлишкову потужність для забезпечення відповідної ефективності гасіння аерозолем.

Відомо [241, 264, 265], що сильна одинарна ударна хвиля, яка проходить через одноатомний газ, спричиняє його стиснення в 4 рази, а якщо пропустити одну за одною дві ударні хвилі, залишаючи незмінним кінцевий тиск, отримаємо стиснення в 16 разів (рис. 3.4).

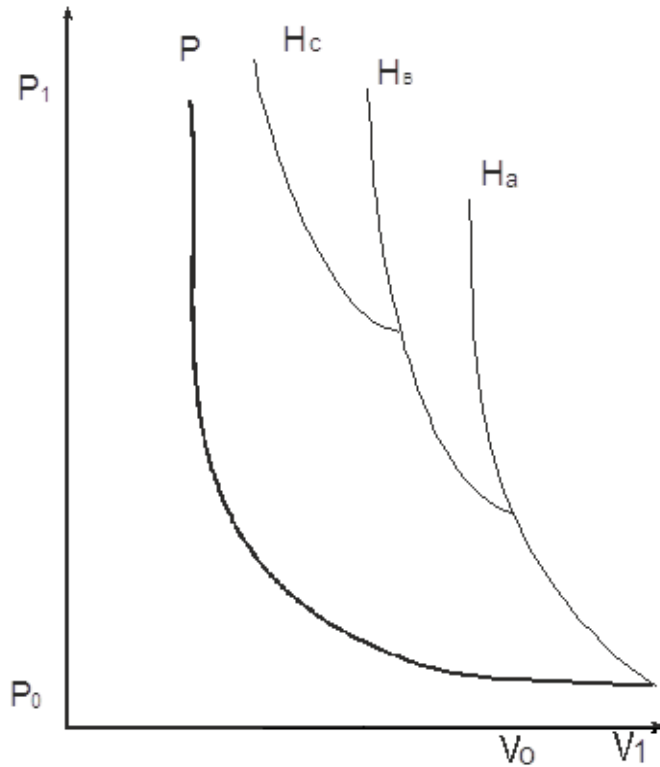


Рисунок 3.4 – Ефект накладання ударних хвиль [240]

Для підвищення вогнегасної ефективності аерозолевої речовини також можна використовувати серії ударних хвиль малогабаритних малопотужних зарядів, розташованих у генераторах ударних хвиль. Отже, для максимального підвищення ефективності аерозольного пожежогасіння можна запропонувати використання системи, яка складається з малопотужних вибухових зарядів.

Частота дії ударних хвиль можливо буде найбільш ефективною в межах до 10 Гц оскільки ці значення вказані як внутрішні коливання для ламінарного полум'я бунзенівського пальника і становлять близько 10-15 Гц [267].

В роботах [268, 269] встановлено, що при гасінні лісових пожеж вибухом навіть коротка УХ здатна зірвати полум'я при горінні хвойних лісових матеріалів разом з хвоєю, але говорити про повне гасіння лісових пожеж вибухом передчасно, особливо лісових пожеж, на яких горять стовбури і крупні гілки дерев. У той же час при верхових і плямистих пожежах, при яких горить в основному лише хвоя дерев, гасіння лісових пожеж вибухом може дати позитивний ефект.

Моделювання процесу гасіння серіями ударних хвиль дифузійного полум'я в середовищі об'ємної вогнегасної речовини можна показати на рисунку 3.5.

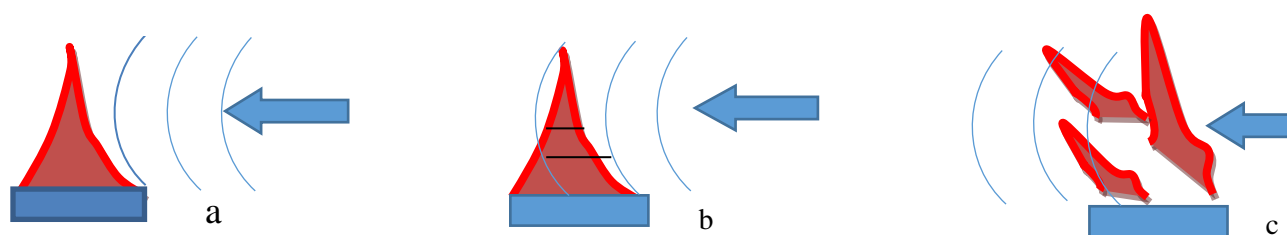


Рисунок 3.5 – Ймовірні умови початку фрагментації полум'я при дії ударної хвилі на полум'я в середовищі газової вогнегасної речовини

При цьому внаслідок дії серій ударних хвиль будуть задіюватись ряд чинників впливу які забезпечують тривалий вогнегасний ефект завдяки багаторазовому повторенню вогнегасних ефектів.

Виходячи з проведених міркувань щодо чинників можна зобразити механізм гасіння ударними хвилями схематично на рис. 3.5. Отже, за умовами гасіння, наведеними, на рисунку 3.5, та беручи за основу теплову теорію припинення горіння, можемо стверджувати про розширення кількості факторів, які приведуть до зниження температури в зоні горіння завдяки зменшенню інтенсивності тепловиділення внаслідок руйнуванню активних радикалів, яке повинно відбуватись в зонах УХ. Порівняно з іншими чинниками впливу найбільш вагомим чинником буде розширення зони горіння в зоні релаксації, що має привести до обриву ланцюгових реакцій та різкого зменшення інтенсивності теплоутворення і, як наслідок, швидкості поширення полум'я. Відомо, що довжина зони релаксації в порівнянні з зоною надлишкового тиску є більшою, і відповідно у цій зоні зменшення тиску буде становити від 10 до 50 % від надлишкового в фронті УХ [241, 261].

Таким чином, узагальнивши висновки щодо аналізу вогнегасного впливу, можемо зазначити таке:

Гасіння ударною хвилею відбувається за децю іншим механізмом, ніж той, що описаний у відомій літературі, та відрізняється від існуючої теорії тим, що гасіння полум'я може відбуватись в результаті одночасної дії багатьох факторів, які в сукупності призводять до ефекту фрагментування полум'я без його значного відриву безпосередньо над поверхнею горючої речовини. Причому гасіння відбувається без дії будь яких хімічних речовин – тобто вогнегасних засобів, чисто фізичним впливом, що дасть змогу обмежити викиди в атмосферу значних кількостей вогнегасних газових речовин – CO₂, хладонів та їх сумішей. Узагальнені результати щодо вогнегасної дії ударної хвилі та газових і аерозольних вогнегасних речовин на дифузійне полум'я показано на рис. 3.6. та 3.7.

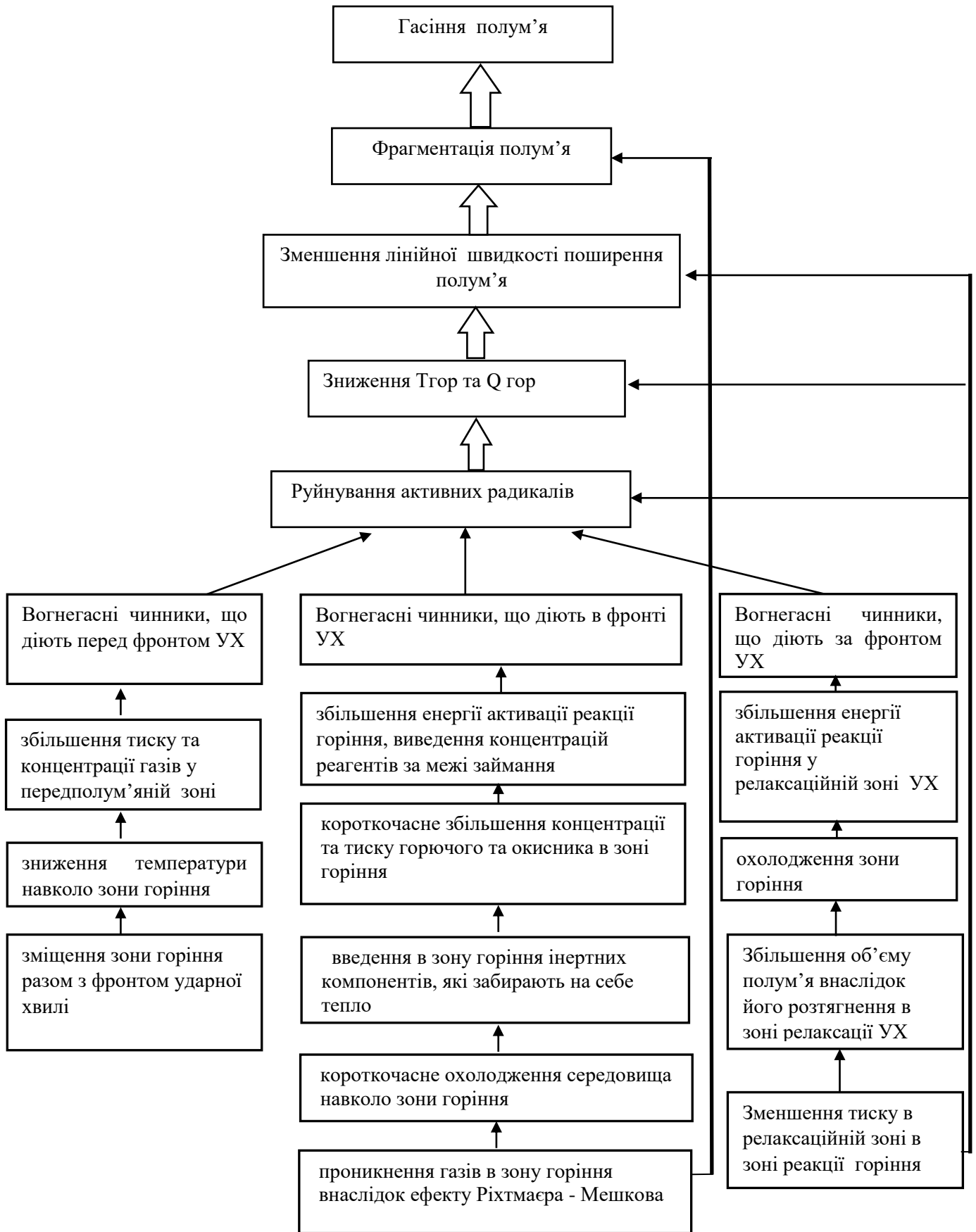


Рисунок – 3.6 Вогнегасні чинники ударних хвиль

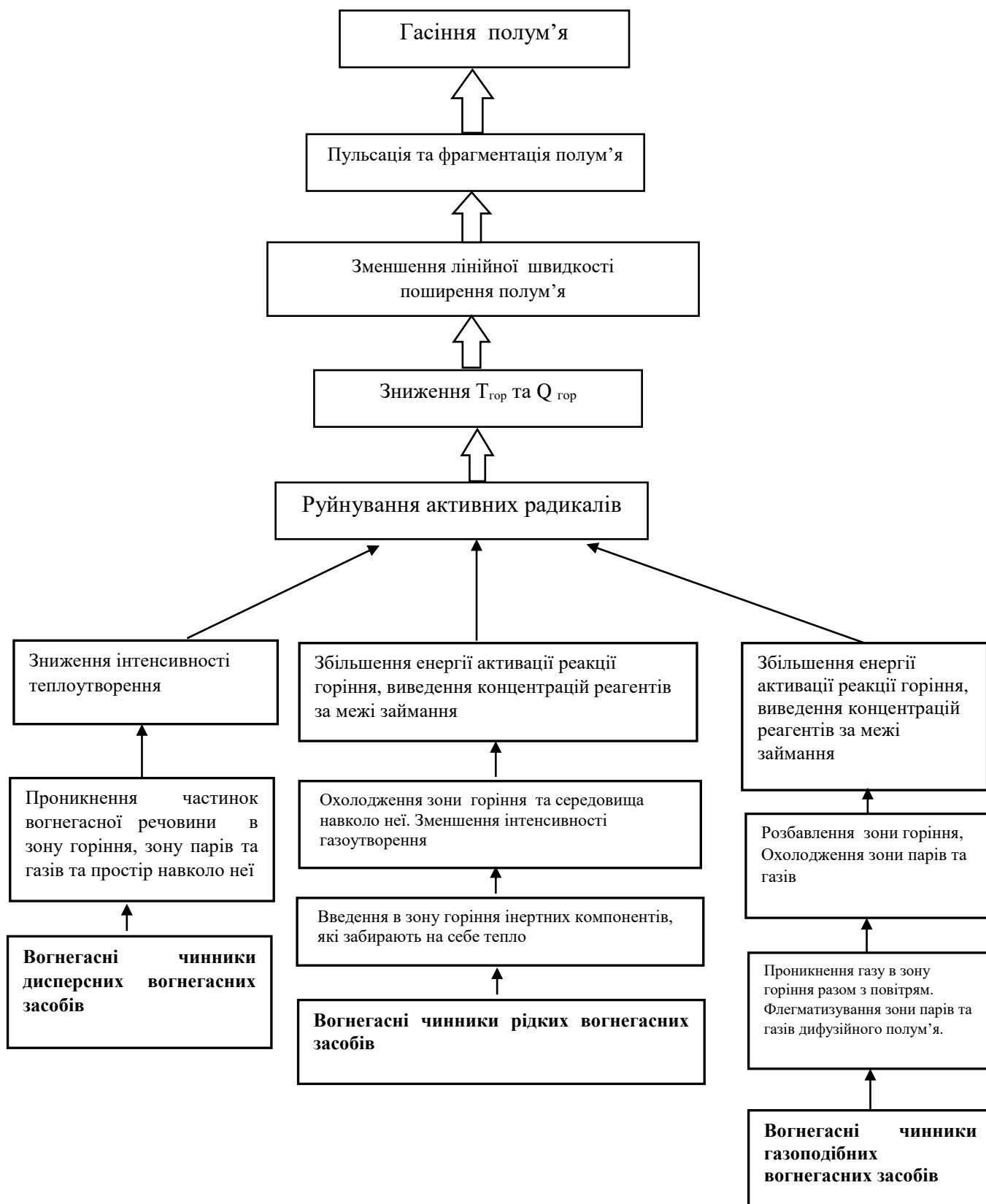


Рисунок 3.7 – Вогнегасні чинники хімічних вогнегасних речовин

3.1.2. Процес проходження ударної хвилі через газоаерозольне середовище

Ударна хвиля – стрибок ущільнення, тонка перехідна область, що поширюється з надзвуковою швидкістю, в якій відбувається різке збільшення густини, тиску і швидкості речовини [241]. Ударні хвилі виникають при вибухах, при надзвукових рухах тіл, потужних електричних розрядах тощо. Наприклад, при вибуху ВР утворюються високонагріті продукти вибуху з великою густиною та високим тиском. В початковий момент вони оточені повітрям, з нормальною густиною і атмосферним тиском. Продукти вибуху, що розширюються, стискають навколишнє повітря, причому в кожен момент часу стисненим виявляється лише деякий об'єм повітря; поза цим об'ємом повітря залишається в незбуреному стані. З часом об'єм стисненого повітря розширюється. Поверхня, яка відокремлює стиснене повітря від незбуреного, і є ударною хвилею або фронтом ударної хвилі [241].

Існують прямі та скісні ударні хвилі, які входять в речовину і витікають по нормалі до поверхні. Геометрія ударної хвилі залежить від форми тіла і від інших параметрів [241]. На відміну від звукових хвиль, детонаційні ударні хвилі мають такі особливості: ударні хвилі супроводжуються переміщенням середовища в напрямку поширення фронту збурення; швидкість ударної хвилі залежить від її інтенсивності, що не властиве для звукових хвиль; ударна хвиля не має періодичного характеру, а поширюється у вигляді одинарного стрибка ущільнення (рис 3.8).

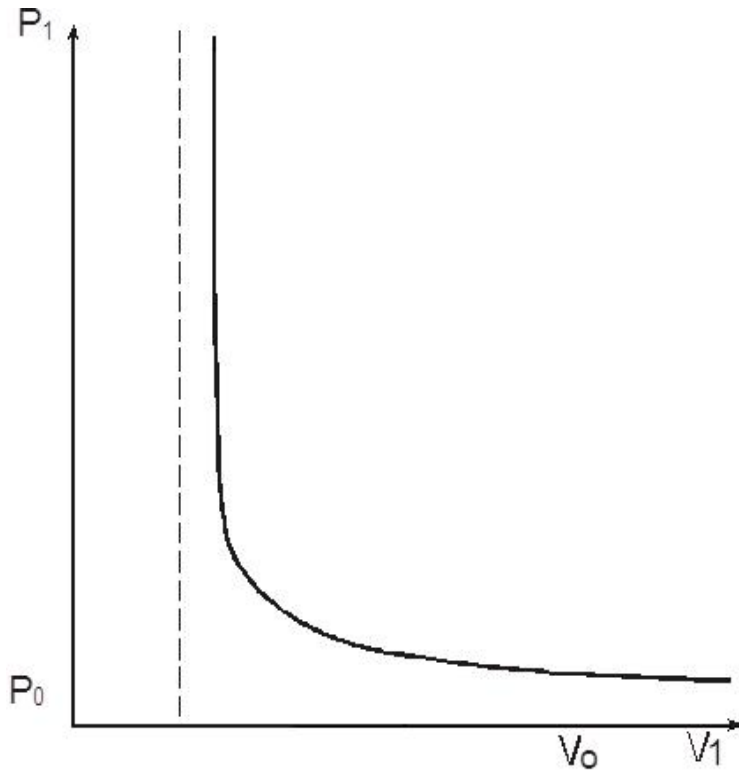


Рисунок 3.8 – Ударна адіабата [266]

Відомо [241, 267], що стан речовини по обидві сторони ударної хвилі характеризують тиск p та густина ρ . Також стан речовини по обидві сторони ударної хвилі характеризують швидкість протікання відносно ударної хвилі та питома внутрішня енергія, які пов'язані співвідношенням Ренкіна - Гюгоньо:

$$h_2 - h_1 - \frac{(p_2 - p_1)}{2} \left(\frac{1}{\rho_1} + \frac{1}{\rho_2} \right) = 0 \quad (3.1)$$

Інтегрування ударної адіабати приводить до рівняння адіабати Пуассона.

$$\rho_2 v_2 = \rho_1 v_1, \quad p_2 + \rho_2 v_2^2 = p_1 + \rho_1 v_1^2 \quad (3.2)$$

$$\varepsilon_2 + p_2 / \rho_2 + v_2^2 / 2 = \varepsilon_1 + p_1 / \rho_1 + v_1^2 / 2$$

Вказані рівняння виражають закони збереження маси, імпульсу та енергії. Індекси 1 і 2 належать до величин перед ударною хвилею та за нею. Крім цього,

величини E , p та ρ пов'язані рівнянням стану. Швидкість поширення ударної хвилі по речовині в стані спокою дорівнює $D = -v_1$. Тобто при заданих параметрах речовини перед хвилею p_1 і ρ_1 шість величин: D , p_2 , ρ_2 , ε_2 , v_1 , v_2 пов'язані п'ятьма рівняннями. Ударна хвиля при заданих p_1 і ρ_1 характеризується всього одним незалежним параметром, наприклад D чи p , через який можуть бути виражені всі інші величини.

Інтенсивність ударної хвилі звичайно характеризують відносним скачком тиску $(p_2 - p_1)/p_1$ або числом Маха:

$$M_1 = D/a_1, \quad (3.3)$$

де a_1 – швидкість звуку в речовині перед ударною хвилею.

Для ударної хвилі малої і більшої інтенсивності відповідно $(p_2 - p_1) / p_1 \ll 1$, $M_1 \approx 1$ і $(p_2 - p_1) / p_1 \gg 1$, $M_1 \gg 1$. Якщо $(p_2 - p_1) / p_1 \rightarrow 0$, то $M_1 \rightarrow 1$. З системи отримують такі вирази для v_1 і v_2 і для швидкості витікання стосовно речовини перед ударною хвилею:

$$v_1^2 = V_1^2 \frac{p_2 - p_1}{V_1 - V_2}, \quad v_2^2 = V_2^2 \frac{p_2 - p_1}{V_1 - V_2} \quad (3.4)$$

$$u = |v_1 - v_2| = \sqrt{(p_2 - p_1)(V_1 - V_2)}, \quad (3.5)$$

(де $V = 1/\rho$ — питомий об'єм), а також співвідношення.

$$\varepsilon_2 - \varepsilon_1 = (1/2) (p_2 + p_1) \times (V_1 - V_2), \quad (3.6)$$

яке називається рівнянням ударної адіабати (УА) або адіабати Гюгоньо. Інша форма запису рівняння ударної адіабати:

$$w_2 - w_1 = (1/2) (p_2 - p_1) \times (V_1 + V_2), \quad (3.7)$$

де w – питома ентальпія.

Поряд з рівнянням стану співвідношення у вигляді $\varepsilon = \varepsilon(p, V)$ виражає залежність p_2 від V_2 і від параметрів речовини перед ударною хвилею в p_1, V_1 , тобто представляє собою функцію:

$$p_2 = H(V_2, p_1, V_1), \quad (3.8)$$

яку також називають ударною адіабатою або адіабатою Гюгоньо [252].

Зрозуміло, що вогнегасні речовини об'ємної дії представляють собою вогнегасні газові речовини (CO_2, N_2 , хладони), вогнегасні аерозолі – завис твердофазних частинок в об'ємній вогнегасній речовині (вогнегасні порошки та аерозолі). Поширення ударної хвилі в газовому середовищі, яке буде містити вогнегасний газ, нічим не буде відрізнятись від дії УХ в атмосфері. Тому доцільно розглянути процес поширення та взаємодії УХ по аерозолі з вмістом твердофазних вогнегасних частинок порошку або аерозолі.

Поведінку аерозолі в ударній хвилі можна описати, виходячи з характеристик і властивостей аерозолі як системи.

Відомо [215], що під аерозолями розуміють системи, які містять завислі матеріальні частинки (за винятком молекул газів, повітря), діаметр яких лежить в межах від 10^{-3} до 10^{-7} см.

Основною характеристикою аерозольних систем є дисперсність, або питома поверхня (поверхня одиниці об'єму дисперсної фази). Вона пропорційна відношенню числа молекул дисперсної фази, які беруть участь в утворенні поверхневого міжфазового шару n_s , до числа молекул в об'ємі дисперсної фази n_v , тобто величині n_s/n_v [215, 87]. При класифікації аеродисперсних систем основним і найбільш природним є їх оцінка з точки зору дисперсності. Відомо, що вогнегасна ефективність порошкових засобів суттєво зростає із збільшенням ступеня дисперсності твердих частинок [270], тобто, із зменшенням розміру твердих частинок, що підтверджується зіставленням необхідної вогнегасної концентрації аерозолі (0,01-0,05) вогнегасних порошків ($0,25 \text{ кг/м}^3$).

З метою визначення поведінки аерозолію в повітрі та в полум'ї при проходженні через нього ударної хвилі необхідно розглянути розподіл частинок аерозолевої речовини за дисперсністю. Автор [271] подає таку класифікацію за дисперсністю: аерозольні частинки можуть бути системою грубої, колоїдної і аналітичної дисперсності. Грубодисперсний аерозоль включає в себе частинки, видимі за допомогою оптичного мікроскопа, тобто частинки з розміром від 0,5 до 10 мк; аерозолі колоїдної дисперсності містять частинки речовини колоїдних розмірів, тобто в межах від 5 до 500 мкм, що піддаються спостереженню тільки методами ультра і електронної мікроскопії; і аерозолі аналітичної дисперсності мають частинки розміром 1-5 мкм.

Що стосується частинок аерозолів, які утворюються при згорянні аерозольотворювального заряду, то нижня границя розмірів частинок таких аерозолів становить приблизно 10^{-4} см і, як видно з табл. 2.1, належить до області грубодисперсних аерозолів. Виходячи з даних [83], основна маса аерозолів має такі розміри (у відсотковому співвідношенні для різних аерозольотворювальних складів): менше 1 мкм – приблизно від 32% до 60%, 2-5 мкм – від 19% до 42 %, більше 5 мкм – від 8% до 26%. Отже, основна маса частинок аерозолію за розмірами відповідає невеликому діапазону з мінімальним значенням < 1 мкм і максимальним значенням > 5 мкм. Переходячи до питання верхньої границі розмірів частинок вогнегасного аерозолію, зауважимо, що, відповідно до початкового визначення, вона лежить в області частинок, що мають розміри близько 10 мкм. Якщо нижня границя розмірів аерозольних частинок визначається мінімально можливим розміром елементарної комірки кристалічної решітки, то критерієм для визначення верхньої границі служить швидкість седиментації частинки в гравітаційному полі. Оскільки частинки, що мають розміри більше 10 мкм, осідають зі швидкістю, яка перебільшує 1 см/с, їх концентрація і взаємодія важко піддаються дослідженням, тому що в об'ємі газу, що досліджується, частинки перебувають дуже малий проміжок часу. Але, проводячи експериментальні

дослідження зі встановлення розмірів частинок аерозолів, враховуючи час осідання, який становить більше 15 хв, можна стверджувати, що розміри більшості частинок у момент утворення є меншими за 1 мкм і в процесі існування аерозолу відбувається коагуляція та укрупнення частинок аерозолу (табл 3.2).

Таблиця 3.2

Класифікація аерозолів за розміром диспергованих частинок [227]

Розмір частинок, d	lg d (м)	Дисперсність	Приклад
Долі ангстрема	-13 -12	–	Ядро атома водню $4 \cdot 10^{-5} \text{ \AA}$
Ангстрем	-8	–	Ядро атома золота $6 \cdot 10^{-4} \text{ \AA}$ Атоми розміром 1-6 \AA
Мілімікрон	-7	Аналітична 1-5 мкм	Молекули 0,2-5 мкм
Десятки мілімікрон	-6		–
Соті мікрон	-5	Груба	Промисловий пил 1-10 мкм
Мікрон	-4		
Десятки мікрон	-3		
Сотні мікрон	-2	–	Частинки помітні неозброєним оком, 50 мкм
Міліметр	-1		

Примітка. Область аерозолів розташована в рамці.

З розміром частинок пов'язаний і відносно новий поділ аерозолів на потенціальні та істинні [223, 271]. Потенціальні аерозолі відрізняються від істинних, з одного боку, розміром частинок, а з іншого – властивістю цих частинок збільшувати свій розмір (при відносній вологості повітря, що перевищує 70%). Таке збільшення розміру проходить дуже швидко під впливом двох процесів: поглинання води з атмосфери і коагуляції. При цьому утворюються частинки видимих розмірів, тобто більше 0,1 мкм, що відповідає

твердженню про те, що аерозоль може значно збільшувати вогнегасну ефективність при поглинанні води з атмосфери, виходячи з даних роботи [223].

Отже, для потенціальних аерозолів характерні розміри частинок від 10^{-7} до 10^{-5} см [215]. Істинні ж аерозолі містять видимі частинки, які не мають тенденції до зростання. Тому, перехід потенціального аерозолу в істинний – це перехід менш стабільного в більш стабільний.

Наявність такого широкого спектра розмірів аерозольних частинок призводить до того, що для різних його областей або змінюється характер дії законів, або діють зовсім інші закони. Особливо виразно це видно на прикладі закону опору газоподібного середовища руху аерозольних частинок. Для дуже маленьких частинок ($r < 10^{-6}$ см) опір середовища пропорційний швидкості і квадрату радіуса частинки. В інтервалі розмірів 10^{-6} – 10^{-4} см спостерігається поступовий перехід до закону Стокса, тобто опір середовища залишається пропорційним швидкості, а квадратична залежність змінюється на лінійну [215]. При подальшому збільшенні радіуса аерозольних частинок знову спостерігається відхилення від закону Стокса [273]. При дуже малих швидкостях пропорційність опору і швидкості порушується, а при великих швидкостях і розмірах частинок опір середовища в першому наближенні пропорційний квадрату радіуса і квадрату швидкості [273].

При достатньо високій розрахунковій концентрації аерозолів ($n > 10^5$ см⁻³) їх руйнування проходить в основному внаслідок коагуляції, швидкість якої різко зростає із збільшенням числа частинок n в 1 см³. Тому, якою б великою не була величина розрахункової концентрації в момент утворення аерозолу, вже через декілька секунд вона не може перевищувати приблизно 10 см⁻³. А оскільки ефективність аерозолів в основному залежить від дисперсності, то мова йде про створення аерозолів із заданим ступенем дисперсності. Отримати аерозолі з великою дисперсністю можна при спалюванні піротехнічних зарядів [274,]. При цьому отримують аерозоль з розмірами частинок приблизно 0,1 - 1

мкм [275, 276]. За властивостями таке середовище буде нагадувати газ і проходження по ньому ударної хвилі будуть супроводжувати явища та процеси більш характерні для газу.

В аерозолях при поширенні по них ударної хвилі з малою об'ємною концентрацією твердої фази, яка характерна для вогнегасних аерозолів, будуть відбуватись процеси прискорення, стиснення, релаксації та взаємодії газової фази. Частинки аерозолу рідко стикаються між собою, а при взаємодії з газом їх швидкість і температура змінюються порівняно повільно і за ударною хвилею в релаксаційній зоні відбувається поступове вирівнювання швидкостей та температур компонентів [277]. При цьому відносна масова концентрація аерозольних частинок проходить через максимум, оскільки за ударною хвилею вона була знижена, а в середньому по всьому об'єму повинна бути такою ж, як і перед ударною хвилею. Але поряд з цим потужність ударної хвилі буде знижуватись, оскільки проходячи через аерозоль, ударна хвиля буде втрачати частину імпульсу і енергії на прискорення та нагрівання частинок, що значно знижує її потужність [278]. Ті ж автори вказують, що при проходженні ударної хвилі через аерозоль він буде стискатись перед фронтом ударної хвилі. При цьому ударна хвиля буде захоплювати за собою частинки аерозолу, прискорюючи та ущільнюючи дисперсну фазу, а прихід хвилі розрідження прискорюватиме їх у зворотньому напрямку та буде зменшувати густину дисперсної фази ρ_2 .

Як відомо, ефективність гасіння суттєво залежить від розмірів і кількості частинок діаметром до 10 мкм, які будуть потрапляти в полум'я [176, 178]. Також відомо, що дрібні частинки будуть ефективніше гасити ударну хвилю [279]. Аерозоль складається, здебільшого з частинок діаметром в 1 мкм і до 25% частинок мають діаметр до 10 мкм, що на декілька порядків менше за розміри частинок порошку. Аерозоль, який утворюється при згорянні аерозольутворювальних сумішей, складається, як відомо, в основному з частинок діаметром до 1 мкм (приблизно 50%), решта – (приблизно 30%)

крупніші конгломерати з діаметром до 10 мкм, і приблизно 20 % – до 100 мкм. Але, як видно, це значно менше за розміри частинок порошку, середній розмір якого починається з 50 мкм (табл. 3.2). Крупні частинки [280] діаметром 100 мкм і більше, не мають високих вогнегасних характеристик і до цього ж швидко осідають. При цьому автори вказують на гетерогенний механізм гасіння вогнегасних порошоків з діаметром частинок від 50 мкм до 160 мкм.

У газі, що перебуває у стані акустичних коливань, залежно від умов зависла частинка може брати участь в коливанні середовища повністю, частково або зовсім не брати участі. При цьому на цей процес суттєво впливають розміри частинок. Так, завислі частинки діаметром від 0,1 мкм до 10 мкм практично коливаються разом з газом з різними амплітудами та фазами. При цьому буде виникати ефект Бернуллі, який полягає в явищі взаємного притягування частинок, коли лінія їхніх центрів є перпендикулярна до напрямку коливань, та відштовхування, коли лінія центрів є паралельна напрямкам коливань. Однозначно всі ці рухи призведуть до ущільнення аерозолі та можливості розтягування аерозолі перпендикулярно руху ударної хвилі [281]. Ці розміри частинок названі «критичними розмірами частинки» для відповідних частот. Аналогічно можна говорити про «критичні частоти» для певних розмірів частинки.

Отже, ущільнення аерозолі, спричинене ударною хвилею, може призвести до підвищення ефективності гасіння полум'я.

Відомо [282], що 10% енергії витрачається на пришвидшення молекул матеріалу аерозолі, а для пояснення 90% втрат ще не достатньо даних. Додаткові коливання частинок можливо теж призведуть до підвищення ефективності гасіння через збільшення ймовірності контакту та подальшої загибелі активних центрів реакції. Найдрібніші частинки коливаються разом з коливаннями середовища. Чим більша інтенсивність звуку або ударної хвилі, тим швидше рухаються частинки і більша ефективність їх взаємозіткнення. Також, якщо тривалість перебування частинки в звуковому полі або при дії

ударних хвиль мала (менше 2-3 с), то дія тиску ударної хвилі не може бути основною причиною коагуляції. При цьому ефект Бернуллі має значення лише тоді, коли частинки розташовані близько одна від одної [282].

Добре відомо, що дими, тумани та інші аерозолі нестійкі і схильні з часом до мимовільної коагуляції. За певних умов ця коагуляція може протікати з помітною швидкістю в початковий момент утворення високодисперсних димів (наприклад, цинк оксиду) [283].

Згідно з теорією Смолуховського, зворотня величина числа частинок на одиницю об'єму змінюється як лінійна функція часу. Очевидно, що мимовільна коагуляція буде протікати швидко, коли число частинок дуже велике, але при зменшенні числа частинок процес сповільнюватиметься. Єдиними силами, що діють на частинки в цих умовах, є молекулярні сили, які створюють броунівський рух. Для більшості промислових димів величина мимовільної коагуляції може бути виміряна лише через декілька хвилин [285].

Згідно з відомим гідродинамічним принципом Бернуллі [286], в таких умовах у цій ділянці знижуватиметься статичний тиск і сферичні частинки проявлятимуть взаємне притягання. Навпаки, якщо одна з двох частинок перебуває на підвітряній стороні, а лінія, що сполучає центри цих частинок, розміщена у напрямку коливань, виникне зона, в якій частинки будуть взаємно відштовхуватись. Отже, дія звукового поля на завислі частинки полягає в утворенні відштовхувальних сил між частинками у напрямку коливань і притягальних сил в перпендикулярному напрямі, що призводить до коагуляції. Стає зрозуміло, що застосування будь-яких звукових коливань буде призводити в більшій чи меншій мірі до коагуляції, а тривалий вплив до зниження вогнегасної ефективності при гасінні полум'я. Більш потужними за звукові є ударні хвилі, які в значно меншій мірі призводять до коагуляції аерозолів зважаючи на короткий час їх впливу.

Задути полум'я можна за умови, якщо буде досягнута достатня потужність повітряного потоку, який забезпечує зменшення часом та

температурою [118]. Таким чином буде максимально зменшене значення числа Дамкелера нижче критичного рівня. Цей підхід повністю узгоджується з концепцією граничної температури та був використаний у роботах [287-289] для інтерпретації багатьох задач гасіння пожеж. З допомогою цього підходу можна також обґрунтувати дію хімічно-активних інгібіторів, які викликають збільшення ефективного часу хімічної реакції шляхом зменшення швидкості хімічної реакції. Що стосується локальної дії засобів пожежогасіння об'ємної дії, то задування полум'я є найбільш ефективним способом боротьби з вогнем. Це особливо справедливо для гасіння газонафтових фонтанів, де не діють інші засоби гасіння [290, 291].

На даний момент для гасіння газових фонтанів розроблено не менше десятка різних методів, що обумовлено, з одного боку, складністю технічної проблеми, багатофакторністю і різноманітністю конкретних ситуацій на таких пожежах, а з іншого – обмеженою ефективністю кожного з таких способів. Всі відомі способи та пристрої гасіння факелів, базуються на двох принципово різних підходах – на придушенні горіння, або на зриві полум'я. У першому випадку в зону горіння подають охолоджувальні та вогнегасні засоби – спеціальні порошки, піну, воду, інертні гази. При цьому їх дії піддається значна частина маси речовини факела, а механізм гасіння зводиться до зниження концентрації окисника у факелі введення інгібіторів і зниження температури в зоні горіння, що призводить до придушення реакції горіння у факелі. Прикладами цього способу гасіння є гасіння фонтану за допомогою автомобілів порошкового гасіння (АП-5 і ін.), а також метод гасіння з використанням автомобілів газоводяного гасіння (АГВТ-100, АГВТ-200) [291], що останнім часом набув найбільшого поширення. Гасіння зривом полум'я полягає в механічному відриві полум'я від гирла свердловини потужними водяними струменями, вибуховою ударною хвилею тощо. Відомі також пристрої, які генерують надшвидкісний струмінь газу, однак вони не часто застосовуються у зв'язку зі складністю конструкції [293].

3.2. Механізм комбінованого пожежогасіння ударними хвилями та вогнегасними речовинами об'ємної дії

Відомо, що газові вогнегасні речовини (ГВР) застосовують здебільшого для припинення полум'яного горіння об'ємним способом. За механізмом гасіння вони поділяються на інертні розріджувачі (діоксид вуглецю, азот, інертні гази, їх суміші) та інгібітори горіння (галогеновані вуглеводні). Припинення горіння інертними розріджувачами досягається переважно внаслідок розведення газового середовища і зниження в ньому концентрації окисника та горючого, а гасіння інгібіторами горіння – за хімічним механізмом (зв'язування радикалів, за участю яких у полум'ї відбуваються ланцюгові окисно-відновні реакції, як правило для гасіння об'ємних пожеж, зокрема на хімічних виробництвах, на кораблях, підводних човнах, на транспорті, в енергетичній галузі, [254,176] і т.д. Гасіння такого типу пожеж є складним процесом через наявність великої кількості пожежного навантаження в різних агрегатних станах, важкодоступних місць, у вигляді пустот, перегородок, трубопроводних, та електричних мереж, ділянок під електричною напругою, і т.д. В таких умовах пожежа може швидко поширюватись без будь-яких обмежень, а загасити її буде важко через складність подачі в такі місця засобів пожежогасіння. На сьогодні одним з найбільш ефективних шляхів гасіння пожеж та запобігання вибухам на таких об'єктах залишається використання газових вогнегасних речовин.

В якості об'ємних засобів гасіння, як правило використовується діоксид вуглецю, азот та інші інертні розріджувачі (аргон, азот, водяна пара), їхні суміші, а також інгібітори горіння, у т.ч. хладони, комбіновані склади на основі хладонів. Газові засоби гасіння мають певні переваги над іншими засобами об'ємного гасіння, а саме: більшу чистоту гасіння, здатність підтримувати флегматизувальну концентрацію протягом тривалого часу, зручність в подачі в захищений об'єм та можливість тривалого зберігання на об'єкті в складі системи автоматичного пожежогасіння. Але незважаючи на ряд переваг при

використанні вогнегасних газів можуть виникнути ситуації, в яких вони не забезпечують необхідної ефективності гасіння через можливу розгерметизацію, подеколи газ не потрапляє у захищений об'єм, та не забезпечує досягнення зазначеної вогнегасної концентрації і т.д.

Відомо, що вогнегасна концентрація CO_2 становить близько 22 % для та 33 % для N_2 при гасінні н-гептану [159, 163, 175]. Для забезпечення вогнегасної концентрації цих газів потрібна достатньо велика кількість резервуарів для їх зберігання та трубопроводів. Відповідно це призводить до значного здорожчання самої установки та її встановлення, і як правило потребує окремих приміщень та значних додаткових витрат [175].

При цьому гасіння та флегматизація забезпечується лише завдяки заповненню об'єму та тепловідведенню тепла з полум'я газами-флегматизаторами і при нижчих концентраціях гасіння неможливе.

Зважаючи на це, для підвищення вогнегасної ефективності вуглекислого газу та азоту дослідники пропонують різні способи, але в основному вони полягають у змішування газу з іншими газами, хладачами або дисперсними вогнегасними речовинами [80, 294]. При цьому вогнегасна концентрація початкового газу зменшується, але загальний об'єм газової суміші залишається майже таким самим або зменшується незначно, що не забезпечує збереження достатньої концентрації O_2 .

Таким чином, виключаючи змішування газових вогнегасних речовин з іншими компонентами, одним з способів підвищення ефективності об'ємного гасіння дифузійного горіння залишається фізичний вплив на полум'я в газовому вогнегасному середовищі. Завжди горіння невеликого полум'я можна було загасити подувши на нього. Відповідно динамічного впливу на полум'я можна досягнути звуковим впливом на газ, або дією ударної хвилі, яка буде проходити через газове середовище довкола полум'я. Аналіз літературних джерел показав, що ударні та звукові хвилі давно використовуються в пожежогасінні.

Так в цілому ряді робіт [295-301] показано способи та умови застосування ударних хвиль, при гасінні різного виду пожеж. Автор [296] вказує, що при відповідних умовах проходження ударної хвилі через полум'я в середовищі вогнегасного аерозолу це може призвести до його відриву та затухання.

Дія ударної хвилі, як і бокового вітру, призведе до дестабілізації полум'я в просторі та втрати ним своєї відповідної структури. При дії ударної хвилі в момент її проходження через полум'я може відбутися його часткова турбулізація. А при турбулізації, як відомо, відбувається захоплення газових об'ємів, які оточують полум'я, що призведе до досягнення нестабільного стану коли полум'я може відірватись [118]. Крім цього, дія на газовий факел охолоджувальних чи інгібувальних засобів також приводить до його відриву, а при вогнегасній концентрації газу взагалі може загасити полум'я.

Таким чином поєднання вогнегасної дії ударної хвилі та газової речовини повинно значно збільшити їх спільний кінцевий вогнегасний ефект при гасінні полум'я такою системою внаслідок синергетичного ефекту між ударною хвилею та вогнегасним газом. Підвищення ефективності гасіння газом при дії ударної хвилі загалом буде спричинене різкою зміною умов в зоні реакції горіння, які приводять до миттєвого збільшення енергії активації реакції горіння в момент проходження ударної хвилі через полум'я в середовищі інертного газу завдяки зміні всіх параметрів середовища в зоні реакції горіння. При цьому будуть протікати процеси, які характерні для взаємодії газових середовищ різної щільності, які і будуть визначати вогнегасну ефективність такої системи.

Збиття полум'я самою ударною хвилею при низьких потужностях ударної хвилі, а ще на значній відстані є неможливим. При цьому може відбутись лише зміщення полум'я від місця витоку, але при проходженні ударної хвилі полум'я повернеться в вихідне становище.

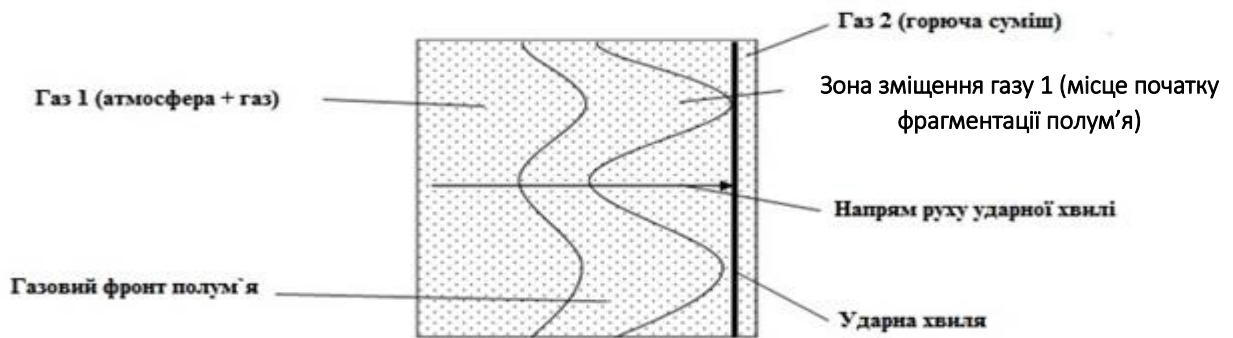


Рисунок 3.9 – Ймовірні умови початку фрагментації полум'я при дії ударної хвилі на полум'я в середовищі газової вогнегасної речовини

Ймовірно, що при проходженні ударної хвилі з газового середовища атмосфери через полум'я буде відбуватись взаємодія по фронту ударної хвилі (рис.3.9) з утворенням нестійкості Ріхтмаєра – Мешкова [302], яка виникає на межі двох газів різної густини при проходженні через них ударної хвилі, при цьому газ 1 буде проникати в фронт полум'я викликаючи утворення в ньому зони зсуву газу 1 в газ 2, що можливо буде призводити до фрагментації полум'я в цих місцях у напрямку руху ударної хвилі. В роботі [289] автори, досліджуючи дію ударної хвилі на полум'я свічки, вказали на значну взаємодію ударної хвилі з полум'ям з можливим виникненням ефекту Мешкова - Ріхтмаєра. Автори [303] пояснюють це розширенням потоку, який проходить за ударною хвилею, після чого полум'я швидко диспергується та гасне. Це відбувається в масштабі мілісекунд у вузькій зоні і вказує на швидке обмеження надходження палива в зону горіння, що ймовірно, і стає причиною припинення горіння [304]. Таким чином, в зону горіння буде проникати додаткова кількість інертного газу, який буде чинити як вогнегасну дію в зоні горіння, так і флегматизувальну – коли відбудеться змішування горючої суміші з вогнегасним газом в підготовчій зоні дифузійного полум'я. Виходячи з цього та враховуючи комплексну дію на полум'я ударної хвилі і газової вогнегасної речовини, необхідно більш детально розглянути фактори та умови припинення

горіння вогнегасними газами, які будуть чинити сумісну вогнегасну дію на полум'я разом з ударною хвилею.

Відомо [201], що при введенні в газоповітряну суміш вогнегасних газів – вуглекислого газу, азоту, водяної пари, гелію, аргону та інших, область поширення полум'я звужується – нижня границя зростає, а верхня знижується створюючи точку флегматизації. Для подачі інертного газу в захищений об'єм існують різні способи подачі та методики розрахунку вогнегасної концентрації газів-розчинників. При цьому ударну хвилю можна використовувати у всіх випадках для пожежогасіння, як при подачі ззовні, так і зсередини полум'я після заповнення об'єму вогнегасним газом.

В реальних умовах гасіння ударною хвилею, виходячи з літературного аналізу, завжди відбувається при її подачі з бічної площини пожежі. Процес гасіння таким методом описано в роботах дослідників [305, 306], які використовували ударні хвилі, утворені в результаті вибуху, в основному для гасіння лісових пожеж. У роботі [307] вказано, що при вибуху паливно-повітряної суміші або тротилу в ряді випадків спостерігався ефект гасіння пожежі. Автори досліджували гасіння вогнищ пожеж розміром близько 1 м^2 , які складались з деревини, деревинностружкової плити, елементів меблів та ін. Досліди проводились в діапазоні надлишкового тиску від $0,05$ до 10 кг м/см^2 і тривалістю імпульсу від $0,05$ до $2-2,5$ с. Автори згаданої роботи [307] підтвердили думку про те, що ударна хвиля може дійсно гасити вогнища пожеж класу А твердих горючих речовин, легкозаймистих і горючих рідин при цьому результати досліджень показали, що навіть при тиску більше 2 кгс/см^2 повного гасіння вогнищ пожеж не спостерігалось. Основним показником, згідно з результатами роботи авторів [307], який визначає процес гасіння пожеж вибухом, є тривалість надлишкової фази тиску. При тривалості позитивної фази тиску від $0,01$ до $0,2-0,3$ с процес гасіння не спостерігався в повному об'ємі, при цьому відбувався зрив полум'я та повторне відновлення горіння, причому відрив полум'я виник при надлишковому тиску вибухової

ударної хвилі вище $0,5 \text{ кгс/см}^2$. Зрозуміло, що короткочасний вплив на полум'я ударної хвилі невеликої потужності без вогнегасної речовини не призведе до повного гасіння, навіть якщо полум'я зазнає відриву, але без додаткового вогнегасного впливу воно зможе відновитись. Для ефективного гасіння необхідний більш довгий імпульс ударної хвилі, що підтверджено результатами експериментів цих же авторів [307], які проводилися на відкритій ділянці при гасінні пожеж твердих горючих матеріалів, рідин і моделей лісових пожеж. Вибух створювався за допомогою тротилової шашки. При цьому параметри ударної повітряної хвилі коливались за надлишкового тиску від $0,02$ до $0,15 \text{ кгс/см}^2$ та тривалістю фази надлишкового тиску від $0,01$ до $0,2 \text{ с}$. Результати експериментів показали, що при надлишковому тиску у фронті ударної хвилі більше $0,5 \text{ кгс/см}^2$ і тривалістю імпульсу $0,6 \text{ с}$ спостерігалось повне гасіння полум'я без повторного займання.

Зрозуміло, що при порушенні рівноваги полум'я після проходження через нього ударної хвилі, його відновлення буде залежати від фізико-хімічних характеристик навколишнього газового середовища. Відповідно, зворотне відновлення в атмосфері вогнегасного газу не буде настільки простим, оскільки для цього потрібно забезпечити необхідну швидкість поширення полум'я та стабільне надходження горючої суміші в зону горіння бажано при стехіометричних концентраціях, що є неможливим при проходженні УХ.

Отже, проходження ударної хвилі через полум'я можна поділити на такі етапи (рис.3.10) 1 етап (позиція а), коли фронт ударної хвилі знаходиться перед полум'ям, - зображено на рисунку 3.2, 2 етап (позиція б) коли ударна хвиля знаходиться в полум'ї (рис 3.3), 3 етап (позиція в) коли ударна хвиля перейшла через полум'я (рис 3.10) та 4 етап (позиція г)- гасіння, коли відбувся відрив полум'я – рис 3.10. Фактори ж вогнегасного впливу ударної хвилі можна поділити на ті, які діють перед фронтом ударної хвилі, у фронті ударної хвилі та власне за фронтом ударної хвилі. Умови, які призводять до припинення горіння при дії ударної хвилі, зазначені в табл. 3.3.

Чинники припинення горіння вогнегасними газами при дії ударних хвиль

Вогнегасні фактори, що діють перед фронтом УХ. Рис. 3.9. Положення Fig a	Вогнегасні фактори, що діють в фронті УХ. Рис. 3.9. Положення Fig б.	Вогнегасні фактори, що діють за фронтом УХ. Рис. 3.9. Положення Fig в.
<p>-збільшення тиску та концентрації газів у передполум'яній зоні;</p> <p>- зміщення зони горіння, разом з фронтом ударної хвилі;</p> <p>- зниження температури навколо зони горіння.</p>	<p>- збільшення тепловіддачі в зоні горіння;</p> <p>- збільшення густини газового середовища у фронті ударної хвилі;</p> <p>- введення в зону горіння інертних компонентів, які забирають на себе тепло;</p> <p>- збільшення концентрації горючого окисника і інертних газів у фронті ударної хвилі;</p> <p>- охолодження зони горіння;</p> <p>- збільшення тиску в зоні горіння;</p> <p>- віднесення полум'я ударною хвилею від вогнища, де відбувається витікання парів та газів.</p>	<p>-зменшення коефіцієнтів теплопередачі;</p> <p>-розтягнення зони полум'я за ударною хвилею;</p> <p>-збільшення енергії активації у релаксаційній зоні за фронтом полум'я.</p>

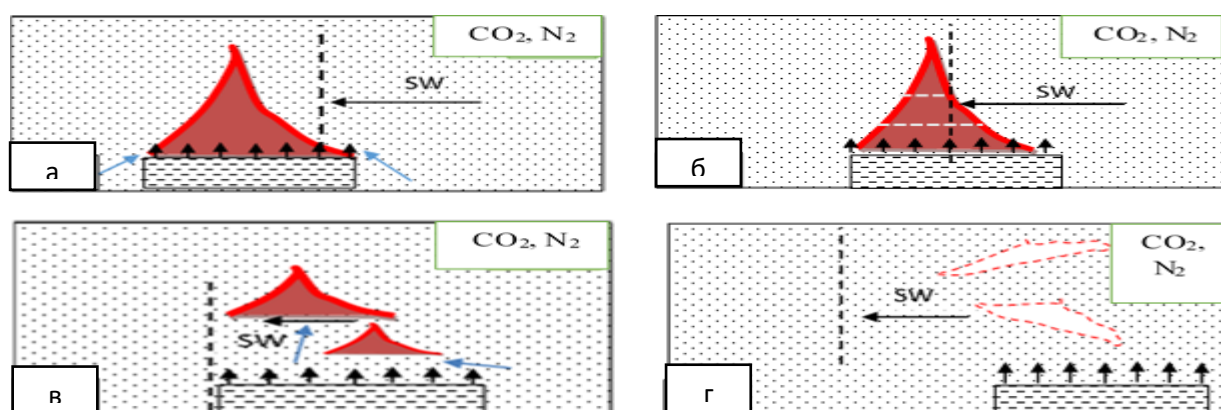


Рисунок 3.10 – Етапи гасіння ударною хвилею полум'я в присутності вогнегасних газів

При підході ударної хвилі до полум'я (рис 3.9) у вигляді скачка ущільнення з тиском P_1 за ним в ударній хвилі йде зона розрідження з тиском

P_2 , тобто при входженні ударної хвилі в зону горіння (рис.3.10) вона буде зазнавати додаткового розтягнення в просторі та, внаслідок цього, значного збільшення тепловідводу, що повинно призвести до гальмування, або й припинення реакції горіння. Також проходження фронту УХ призведе до охолодження навколо полум'яного простору та відповідно зниження швидкості реакції. Після чого ударна хвиля виходить з полум'я (рис 3.10). Після проходження УХ через полум'я за нею іде зона розрідження. В момент виходу ударної хвилі (рис. 3.10) з полум'я, воно зміститься за інерцією на деяку відстань від місця його первинного розташування на величину вільного перебігу молекул, що призведе до збільшення вогнегасного ефекту завдяки захопленню полум'ям навколишнього середовища з вогнегасною газовою речовиною. В результаті в полум'я буде потрапляти горюча суміш вже з домішками вогнегасного газу, що приведе до часткового гальмування реакції та відриву кільця запалювання, від якого залежить, як відомо, стійкість дифузійного полум'я, як вказано автором [243].

Максимально збільшить вогнегасну ефективність ударної хвилі наявність навколо полум'я вогнегасного газу, коли до вище зазначених ефектів додається ефект флегматизування полум'я в області розриву, спричиненого ударною хвилею. При цьому можливість відриву полум'я та його гасіння дотягатиметься набагато легше, оскільки напрямок руху та швидкість ударної хвилі буде дестабілізувати полум'я.

3.3. Підвищення ефективності гасіння бінарних газоаерозольних сумішей ударними хвилями

Вплив УХ на дифузійне полум'я в середовищі бінарної суміші газів та аерозолі буде забезпечувати одночасно дію багатьох вогнегасних факторів (таблиця 3.4). Сумарно вони повинні забезпечувати значно вищу вогнегасну ефективність ніж індивідуальні вогнегасні концентрації газів та аерозолі.

Таблиця 3.4

Вогнегасні фактори комбінованої суміші вогнегасного газу і аерозолі при дії ударних хвиль

Вогнегасні чинники аерозолі	Вогнегасні чинники газу-розріджувача	Вогнегасні чинники УХ
<ul style="list-style-type: none"> – інгібування зони горіння при проникненні вогнегасного аерозолі; – часткове охолодження дисперсними частинками аерозолі полум'я в результаті їх нагрівання; – розбавлення продуктами розкладання аерозолі; – екранування теплового випромінювання. 	<ul style="list-style-type: none"> – розбавлення зони горіння; – збільшення теплопоглинання в зоні горіння завдяки теплоємності газу; – збільшення концентрації інертних газів в зоні горіння. 	<ul style="list-style-type: none"> – збільшення тиску в зоні горіння; – відштовхування полум'я ударною хвилею від вогнища, де відбувається витікання горючих парів і газів; – фрагментування полум'я. Збільшення тиску і концентрації газів в передполум'яній зоні; – зміщення зони горіння разом з фронтом ударної хвилі; – зниження температури навколо середовища зони горіння; – збільшення тепловіддачі у зоні горіння; – збільшення щільності газового середовища у фронті ударної хвилі; – введення в зону горіння інертних компонентів, які забирають на себе тепло; – збільшення концентрації пального, окислювача і інертних газів у фронті ударної хвилі; – охолодження зони горіння; – збільшення тиску в зоні горіння; – зменшення теплопередачі; – розтягнення зони полум'я за ударною хвилею; – збільшення енергії активації в зоні розрідження за фронтом ударної хвилі.

Як видно з таблиці, комбінована дія тернарної системи забезпечує гасіння з використанням майже усіх факторів пожежогасіння крім ізолювання. Їх сукупна дія забезпечить значну вогнегасну ефективність. Виходячи з зазначених вогнегасних факторів аерозолі, газів CO₂ і N₂ та УХ можна сказати, що бінарні суміші будуть найбільш ефективними та практичними завдяки гармонізації переваг кожного з засобів гасіння та об'єднання їх експлуатаційних переваг. Подальший вплив на них УХ призведе до подальшого

зменшення вогнегасних концентрацій аерозолю та газів CO_2 та N_2 . Таким чином, при комбінованій дії тернарної вогнегасної системи аерозолю, газу та УХ на дифузійне полум'я n-гептану буде задіюватись одночасно, як зазначалось вище, значна кількість факторів (табл 3.4 та рис. 3.10), сукупна дія яких на дифузійне полум'я призведе в момент проходження УХ до різкого припинення ланцюгових реакцій.

Таким чином, тернарна вогнегасна комбінована система ефективна завдяки поєднанню таких основних вогнегасних факторів, як інгібування, охолодження, аерозолем, розбавлення газом розріджувачем, відрив полум'я і фрагментація УХ і т.д. (табл. 3.4).

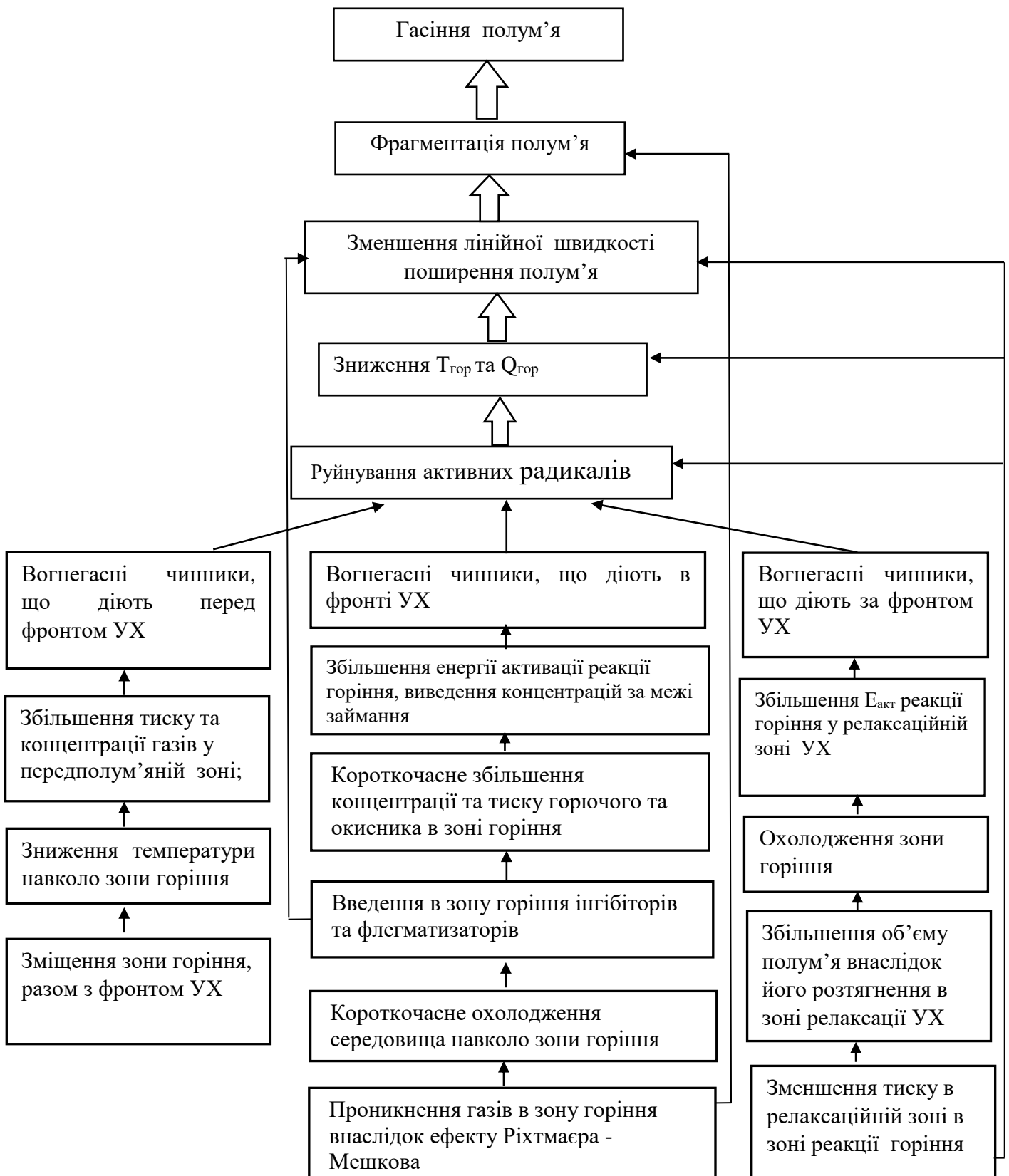


Рисунок 3.11 – Вогнегасні чинники комбінованих систем на основі ударних хвиль та об'ємних вогнегасних речовин

3.4. Визначення параметрів заряду, необхідного для створення ударної хвилі заданої потужності на визначеній відстані

Силу вибуху для подавання вогнегасної речовини використовували автори [308-314], але при зазначеному способі гасіння подавання вогнегасного засобу здійснювали самою вибуховою хвилею, відповідно необхідно було витратити енергію на доставку вогнегасної речовини в зону горіння. Закидування вибухом вогнегасного порошку на певну відстань потребує значних енергетичних характеристик вибухового заряду незважаючи чи подавання здійснюється імпульсно чи одинарно. На противагу зазначеному способу гасіння використання самої лише ударної хвилі дозволить значно зменшити параметри вибухового заряду та відповідно тиску який утворюється при вибуху. Беручи до уваги те, що для утворення ударної хвилі необхідно використати вибухову речовину, потрібно теоретично визначити, яку кількість вибухової речовини закласти в одиницю заряду. Існує ряд методик, які дають змогу визначити параметри ударної хвилі з заданими параметрами на певній відстані від цієї речовини. Для визначення маси вибухової речовини було використано методику [314], в якій передбачено визначення створюваного ударною вибуховою хвилею тиску на заданій відстані від джерела вибуху.

Згідно з методикою [314], можна розрахувати тиск ударної хвилі на заданій відстані від генератора ударної хвилі або, задавши тиск, визначити відстань, на якій він утвориться. Максимальне безпечне значення тиску, яке приймається, становить 3 кПа. Відповідно, з урахуванням безпеки приймаємо за межу больовий поріг для людини, що відповідає значенню приблизно в 1124 Па [241, 315].

Для моделювання розподілу тиску в межах стандартного приміщення було проведено розрахунок тисків, які будуть утворені на різних відстанях від джерела вибуху від 1,86 до 5 м. Потужність ударних хвиль приймаємо в межах безпечних тисків до 1124 Па. В роботі [292] описано дослідження ударних хвиль які створювали в результаті вибуху тротилових шашок на відкритій

місцевості при гасінні гасу, дизельного палива або нафти, лісових пожеж, пожеж твердих горючих матеріалів, легкозаймистих горючих рідин. Також автори стверджують, що надлишковий тиск у фронті ударної хвилі не є визначальним чинником для гасіння пожеж, що дає можливість зробити висновок про необхідність застосування для створення ударних хвиль відносно повільно згоряючих вибухових речовин, але в більшій кількості, зокрема, чорного пороху. Згідно з результатами роботи [121] теплота згорання пороху становить $2786,3 \cdot 10^3$ Дж/кг.

При тривалості позитивної фази тиску від 0,01 до 0,2-0,3 с процес гасіння не спостерігався в повному об'ємі. Відбувався зрив полум'я і потім відновлення горіння, причому зрив полум'я виникав при надлишковому тиску УХ вище $0,5$ кгс/см² (49000 Па), але теплова потужність полум'я вказана не була, та як зрозуміло з матеріалів роботи, вона була значною ($Q > 200$ кВт/м²). Тут же вказано, що при тривалості позитивної фази тиску більше 0,6 с і при надлишковому тиску у фронті УХ вище $0,5$ кгс/см² процес гасіння спостерігався в повному об'ємі без повторного займання [316].

Позитивна фаза ударної хвилі – це час дії надлишкового тиску. Під фазою стиснення розуміють час дії надлишкового тиску у хвилі [317]. Для розрахунку надлишкового тиску вибуху та часу позитивної фази ударної хвилі використаємо методику, представлену в роботах [317, 318].

Проведемо розрахунки залежності тиску ΔP_m в кПа від маси $M_{вр}$ в кг на відстані 3 метри від генератора ударних хвиль при їх концентрації в межах кута в 30° .

$$1. M_{зар} = 1 \text{ г}, L = 3 \text{ м}$$

$$\bar{R} = \frac{R}{\sqrt[3]{2KMT_e}},$$

де \bar{R} – приведений радіус зони вибуху;

R – відстань від центра вибуху, м;

M – маса заряду;

K – коефіцієнт, який враховує характер поверхні підкладки; прийнято, що

$$K=1$$

T_e – тротиловий еквівалент вибухової речовини.

$$\bar{R} = \frac{3}{\sqrt[3]{2 \times 1 \times 0,66 \times 0,001}} = \frac{3}{0,1096} = 27,27$$

$$\Delta P = \frac{70}{27,27} \times (\sqrt{\lg 27,27 - 0,332})^{-1} = \frac{70}{27,37} \times (\sqrt{1,44 - 0,332})^{-1} = 2,56 \times 0,951 = 2,43 \text{ кПа}$$

$$I = 0,4 \times \frac{\sqrt[3]{0,00132}}{27,27} = 0,0016 \text{ кПа} \times c = 1,6 \text{ Па} \times c$$

2. $M_{\text{зар}} = 2 \text{ г}$, $L = 3 \text{ м}$

$$\bar{R} = \frac{3}{\sqrt[3]{2 \times 1 \times 0,66 \times 0,002}} = \frac{3}{\sqrt[3]{0,00264}} = 21,7$$

$$\Delta P = \frac{70}{21,7} \times (\sqrt{\lg 21,7 - 0,332})^{-1} = \frac{70}{21,7} \times (\sqrt{1,33 - 0,332})^{-1} = 3,22 \times 1,002 = 3,23 \text{ кПа}$$

$$I = 0,4 \times \frac{\sqrt[3]{0,00264}}{21,7} = 0,002543 \text{ кПа} \times c = 2,543 \text{ Па} \times c$$

3. $M_{\text{зар}} = 3 \text{ г}$, $L = 3 \text{ м}$

$$\bar{R} = \frac{3}{\sqrt[3]{2 \times 1 \times 0,66 \times 0,003}} = \frac{3}{\sqrt[3]{0,158}} = 18,987$$

$$\Delta P = \frac{70}{18,987} \times (\sqrt{\lg 18,987 - 0,332})^{-1} = 3,686 \times (\sqrt{1,27 - 0,332})^{-1} = 3,686 \times 1,033 = 3,807 \text{ кПа}$$

$$I = 0,4 \times \frac{\sqrt[3]{0,00396}}{18,987} = 0,00333 \text{ кПа} \times c = 3,33 \text{ Па} \times c$$

4. $M_{\text{зар}} = 4 \text{ г}$, $L = 3 \text{ м}$

$$\bar{R} = \frac{3}{\sqrt[3]{2 \times 1 \times 0,66 \times 0,004}} = \frac{3}{0,1741} = 17,23$$

$$\Delta P = \frac{70}{17,23} \times (\sqrt{\lg 17,23 - 0,332})^{-1} = \frac{70}{17,23} \times (\sqrt{1,24 - 0,332})^{-1} = 4,06 \times 1,050 = 4,263 \text{ кПа}$$

$$I = 0,4 \times \frac{\sqrt[3]{0,00528}}{17,23} = 0,00403 \quad \text{кПа} = 4,03 \text{Па}$$

Отримані дані представлені в таблиці 3.5.

Таблиця 3.5

Залежність тиску від маси на відстані 3 м від генератора ударних хвиль

М _{вп} , кг	0,001	0,002	0,003	0,004
ΔP, кПа	2,43	3,23	3,807	4,263

Розрахований за вищезгаданою методикою [317] тиск, який утвориться при вибуху заряду від 0,001 кг до 0,004 кг, на відстані 3 м, становить від 2,43 кПа до 4,263 кПа, причому при масі заряду 0,001 не утворюється тиск, значення якого є меншим за межу допустимого тиску для приміщень. При тиску вибуху більшому за 3 кПа може зруйнуватись віконне скло, а при 5 кПа люди можуть зазнати легких травм, контузій та навіть можуть пошкодитися будівлі.

Проведемо розрахунки тиску, який утворюватиметься на відстані L=1- 5 метрів, за формулою 3.14.

Розрахунки проведемо за методикою “розрахунку характеристик вибуху” де \bar{R} – приведений радіус зони вибуху

$$\Delta P = \frac{7}{3} \times \left(\sqrt{1 + R^3} - 1 \right)^{-1}, \quad \text{кПа} \quad (2.16)$$

при (L=1 м, M_{зар}= 4 г)

$$\bar{R}_1 = \frac{1}{\sqrt[3]{2 \times 1 \times 0,004 \times 0,66}} = \frac{1}{0,174} = 5,74$$

$$1) \Delta P = \frac{7}{3} \times \left(\sqrt{1 + 5,74^3} - 1 \right)^{-1} = \frac{7}{3} \times \left(\sqrt{1 + 189,119} - 1 \right)^{-1} = \frac{7}{3} \times (12,79)^{-1} = 2,33 \times 0,078 = 0,18$$

при (L=2 м, M_{зар}= 4 г)

$$\bar{R}_2 = \frac{2}{\sqrt[3]{2 \times 1 \times 0,004 \times 0,66}} = \frac{2}{0,174} = 11,49$$

$$2) \Delta P = \frac{70}{11,49} \times (\sqrt{\lg 11,49 - 0,332})^{-1} = \frac{70}{11,49} \times (\sqrt{1,060 - 0,332})^{-1} = 6,09 \times 1,17 = 7,12 \text{ кПа}$$

при (L=3 м, M_{зар}= 4 г)

$$\bar{R}_3 = \frac{3}{\sqrt[3]{2 \times 1 \times 0,004 \times 0,66}} = \frac{3}{0,174} = 17,24$$

$$3) \Delta P = \frac{70}{17,24} \times (\sqrt{\lg 17,24 - 0,332})^{-1} = \frac{70}{17,24} \times (\sqrt{1,24 - 0,332})^{-1} = 4,06 \times 1,05 = 4,263 \text{ кПа}$$

при (L=4 м, M_{зар}= 4 г)

$$\bar{R}_4 = \frac{4}{\sqrt[3]{2 \times 1 \times 0,004 \times 0,66}} = \frac{4}{0,174} = 22,99$$

$$4) \Delta P = \frac{70}{22,99} \times (\sqrt{\lg 22,99 - 0,332})^{-1} = \frac{70}{22,99} \times (\sqrt{1,36 - 0,332})^{-1} = 3,04 \times 0,99 = 3,0096 \text{ кПа}$$

при (L=5 м, M_{зар}= 4 г)

$$\bar{R}_5 = \frac{5}{\sqrt[3]{2 \times 1 \times 0,004 \times 0,66}} = \frac{5}{0,174} = 28,73$$

$$5) \Delta P = \frac{70}{28,73} \times (\sqrt{\lg 28,73 - 0,332})^{-1} = \frac{70}{28,73} \times (\sqrt{1,46 - 0,332})^{-1} = 2,44 \times 0,94 = 2,294 \text{ кПа.}$$

З розрахунків видно, що допустима маса заряду та відстані, на якій буде утворюватись граничне значення тиску в 4,263 кПа, не залежить від значення маси заряду, яка дорівнює 0,004 кг. Дані щодо розподілу тиску залежно від відстані наведено в таблиці 3.6.

Таблиця 3.6

Залежність тиску від відстані до генератора ударних хвиль при вибуху заряду ВР масою в 4 г

L, м	1,00	2,00	3	4	5
ΔP, кПа	8,52	7,12	4,263	3,0096	2,294

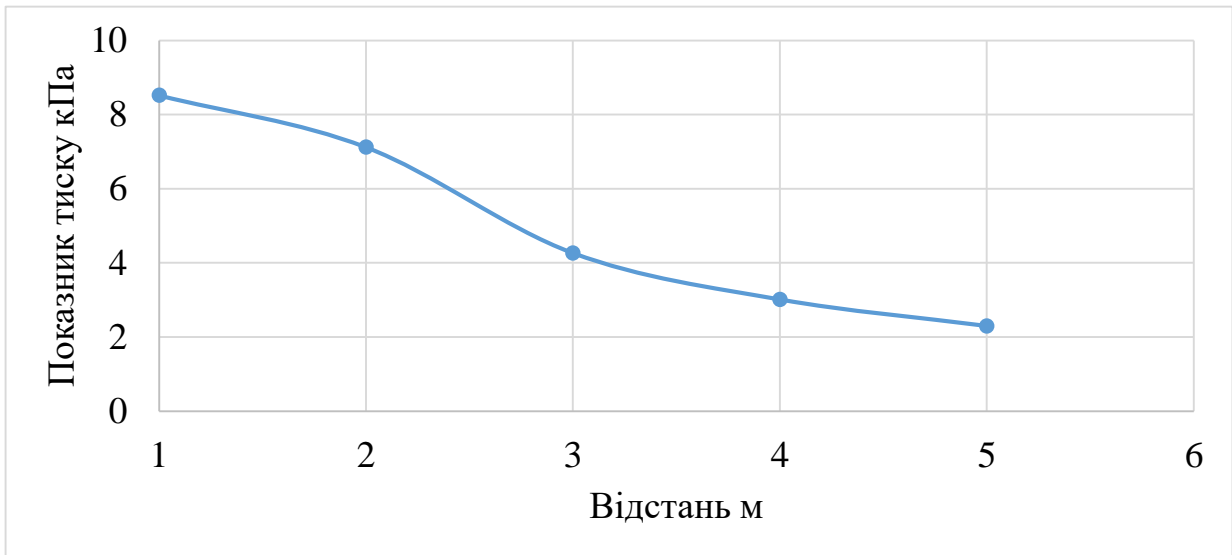


Рисунок 3.12 – Залежність тиску від відстані при масі заряду 4 г

Допустиме значення маси заряду становитиме 0,004 кг. На відстані 4 м від вогнища вибуху буде утворюватися тиск, рівний 3,0096 кПа. Але при використанні концентратора, тиск на вказаній відстані збільшиться мінімум у 8 разів, оскільки енергія вибуху не буде розсіюватись у вигляді сфери, а концентруватиметься в сегменті з кутом приблизно 30 градусів [319-321].

Моделювання кута поширення та зони дії ударної хвилі на відстані до 4 м показано на рис. 3.12. Для розрахунку проекції ударної хвилі, яка поширюється під кутом в 30° , прийmemo, що ударна хвиля розділяється на дві половини – кожна з яких буде рівна прямій та гіпотенузі, яка поширюється разом з нею з кутом в 15° . Таким чином, проекція УХ буде покривати на відстані 1 м коло з діаметром $D1 = 0,534$ м. Результати на відстанях 2, 3 та 4 м показані в таблиці 3.7.

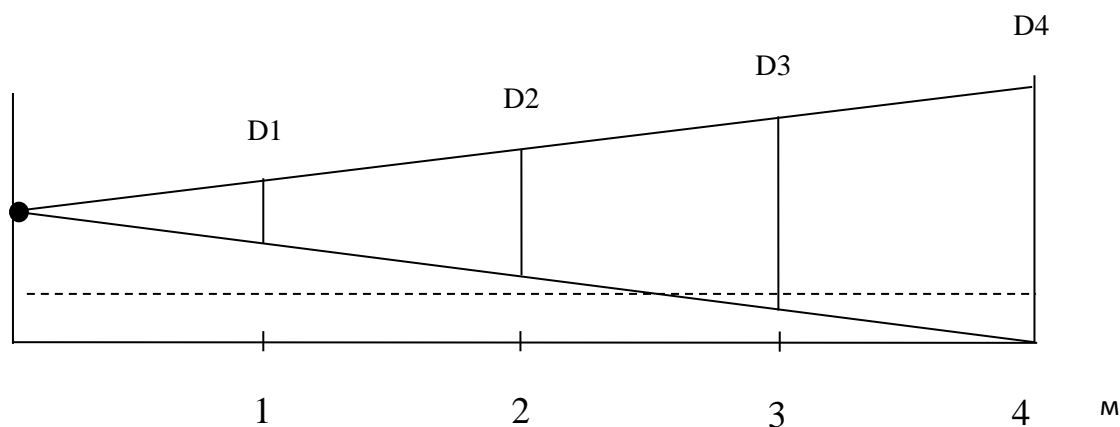


Рисунок 3.13 – Параметри ударної хвилі при масі заряду 4 г

Таблиця 3.7

Проекція тиску УХ на відстані 4 м від джерела УХ

D1, м	D2, м	D3, м	D4, м
0.534	1.068	1.602	2,136

Як видно з таблиці 3.7, при напрямненому вибуху приймаємо, що ударна хвиля буде поширюватися під мінімальним кутом в 30° , що відповідає надзвуковій швидкості поширення УХ в 8М, що дорівнює швидкості детонації піроксилінового порошу, яка становить близько 3000м/с.

Висновки за розділом

1. Теоретично обґрунтовано, що дія ударної хвилі на дифузійне полум'я може привести до його гасіння внаслідок одночасної дії чинників, які поділяються на ті, що діють перед, у фронті та за фронтом ударної хвилі. Їх почергова дія на дифузійне полум'я повинна привести до відриву, зміщення, охолодження та фрагментації полум'я. Обґрунтовано, що дія серій ударних хвиль повинна чинити вищу вогнегасну дію ніж дія одинарної ударної хвилі внаслідок багаторазового повторення зазначених ефектів.

2. Теоретично встановлено, що ударні хвилі повинні значно підвищити вогнегасну ефективність об'ємних вогнегасних речовин. Виявлено, що основними явищами, які будуть сприяти підвищенню ефективності пожежогасіння в процесі проходження ударної хвилі через аерозольне середовище, буде відрив полум'я, захоплення інполярними частинами полум'я речовини об'ємної дії, збільшення тиску газоаерозольної суміші в зоні полум'я та локальне підвищення концентрації частинок внаслідок ефекту Бернуллі.

3. Теоретично обґрунтовано, що підвищення ефективності гасіння об'ємними вогнегасними речовинами відбувається через одночасний вплив багатьох факторів, а саме: підвищення тиску у фронті ударної хвилі, збільшення концентрації частинок вогнегасного аерозолю, стискання та розтягування зони горіння та інгібувальний вплив вогнегасної речовини. Виявлено, що основними чинниками, які будуть сприяти підвищенню ефективності пожежогасіння в процесі проходження ударної хвилі через полум'я, буде його відрив, захоплення інполярними частинами полум'я об'ємної вогнегасної речовини, збільшення тиску вогнегасної речовини в зоні полум'я та локальне підвищення концентрації частинок дисперсної фази твердої вогнегасної речовини внаслідок ефекту Бернуллі. Одночасна дія всіх цих факторів на полум'я повинна призвести до відриву полум'я та його загасання.

4. Теоретично розраховані маси вибухового заряду та значення тиску, що утворюється на відстані в 4 м, які становлять: для 1 г заряду – 2,43 кПа, для 4 г – 3,0096 кПа. Також проведено теоретичні розрахунки зміни зони тиску на відстані від 1 до 5 м для заряду в 4 г. Значення тисків становили відповідно від 8,52 кПа до 2,294 кПа. Значення ΔP , отримане на відстані 4 м, є в допустимих межах і може бути використане з метою пожежогасіння.

5. Обґрунтовано, що створений спосіб гасіння повинен забезпечити мінімізацію викидів в атмосферу CO_2 , та комбінованих газових сумішей на його основі, оксидів азоту. Виключити або мінімізувати використання інших екологічно неприйнятних засобів гасіння дифузійного полум'я – піноутворювачів, хладонів, їх комбінацій та інш. Також визначено, що зазначений спосіб повинен забезпечити зменшення часу гасіння пожеж до секунд, через що унеможливити викид значних кількостей продуктів повного та неповного горіння в атмосферу.

РОЗДІЛ 4

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ З ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРИПИНЕННЯ ГОРІННЯ УДАРНИМИ ХВИЛЯМИ У КОМБІНАЦІЇ З ГАЗОВИМИ ВОГНЕГАСНИМИ РЕЧОВИНАМИ-РОЗРІДЖУВАЧАМИ ТА ВОГНЕГАСНИМИ АЕРОЗОЛЯМИ

4.1 Експериментальні дослідження з визначення вогнегасної здатності бінарних сумішей вогнегасних аерозолів та газових вогнегасних речовин - розріджувачів

Відомо [125], що хімічна природа пального суттєво впливає на процес горіння піротехнічних виробів, крім цього пальне виступає в ролі пластифікатора і зручність формування та вогнегасна ефективність аерозолів буде залежати від природи пального та його повноти термічного перетворення при горінні. Тому наступним етапом було проведення досліджень із встановлення вогнегасної ефективності аерозолів при близьких до стехіометричних концентраціях компонентів.

4.1.1 Визначення ефективності рецептури АУС для гасіння комбінованим способом

Враховуючи що в роботах [322-331] зазначено, що АУС взяті в концентраціях близьких до їх стехіометричних, які також широко використовуються в піротехніці та забезпечують найвищу ефективність гасіння і відповідно мінімальну вогнегасну концентрацію. Одержані результати отримані за вищенаведеною методикою представлені в таблицях 4.1 - 4.2. В якості пального було обрано вже випробувані в роботі [82] як компонент АУС ідітол та сахароза, які доступні та широко використовуються в піротехніці. В якості окисника – нітрат калію. АУС готували перемішуванням та подальшим розчиненням компонентів в розчиннику у співвідношеннях: ідітол – 20 % нітрат калію – 80%.

Таблиця 4.1

Вогнегасна ефективність аерозолів, одержаних спалюванням АУС на основі ідітолу

№ з/п	Вміст компонентів АУС (% мас.)		(г/м ³)
	KNO ₃	ідітол	
1	80	20	22,6*
2	80	20	25,6
3	78	20	27,4
4	75	20	28,6

*- для CH₄

Таблиця 4.2

Вогнегасна ефективність аерозолу, одержаного спалюванням сахарозовмісних АУС

№ з/п	Вміст компонентів АУС (% мас.)		(г/м ³)
	KNO ₃	сахароза	
1	70	30	16,7
2	68	28	23,0

Результати з визначення мінімальної вогнегасної концентрації за розробленою методикою наведеною в розділі 2 показали, що високу ефективність проявили обидва зразки АУС як на основі ідітолу, так і сахарози, компоненти яких є доступними та недорогими. Сахароза як паливо було відкинута враховуючи, що форс полум'я при її використанні є дещо інтенсивніший, а зразки АУС на її основі довго сохнуть та є гідрофільні оскільки в якості розчинника використовується вода. Крім цього, механічна міцність зразків є невисокою і від незначних ударів вони можуть зазнавати пошкоджень. На протипагу сахарозі,

ідітол представляє собою смолу, яка легко подрібнюється розчиняється в розчинниках та відповідно її можна легко змішувати з окисником. Таким чином, враховуючи простоту виготовлення, дешевизну та доступність компонентів – ідітолу та нітрату калію, а також задовільні експлуатаційні показники, для подальших досліджень було обрано АУС на основі ідітолу та нітрату калію. Крім того, зазначений АУС має невисоку швидкість згорання, помірний форс полум'я та тривалий період зберігання.

4.1.2. Особливості впливу бінарних сумішей вогнегасного аерозолі та газів - розріджувачів на дифузійне полум'я n-гептану.

Відомо [322-327], що при спалюванні АУС з кожного його грама утворюється 0,3-0,5 л газоаерозольної суміші, яка складається з дисперсних частинок солей калію, натрію або кальцію. При згорянні АУС утворюються також інертні гази-флегматизатори – CO_2 , N_2 , водяна пара та ін., і дисперсні частинки солей. При взаємодії цих частинок утворюється складна система, структура і склад якої постійно змінюється з часом. Так, в момент утворення газоаерозольної системи вона складається з ультрадисперсних часточок солей калію, які можуть формувати структури з вмістом води та CO_2 . Такі структури будуть чинити набагато ефективнішу вогнепригнічувальну дію завдяки комбінованій дії інгібіторів та флегматизаторів. У таблиці 4.3 наведено склади АУС й продуктів їхнього горіння. Як видно з таблиці, при горінні вміст газів-флегматизаторів є невеликим, хоча з аналізу видно, що збільшення їх концентрації веде до підвищення вогнегасної ефективності.

Щодо газів-розріджувачів, до яких, зокрема, входять діоксид вуглецю, азот, аргон та їх суміші, то вони нетоксичні, не утворюють токсичних продуктів термічного розкладу, не руйнують озоновий шар, є більш доступними і дешевими, ніж хладони, їх суміші та інші вогнегасні засоби об'ємної дії. Однією з перших газових вогнегасних речовин, яку запропоновано як альтернативу хладонам, – був саме діоксид вуглецю (CO_2). Відомий спосіб гасіння пожежі, що включає подачу в осередок пожежі діоксиду вуглецю у вигляді снігового аерозолі [57-59].

Таблиця 4.3

Характеристики АУС [84, 332]

Характеристика АУС	АПГ	ГВА	ПАГ
Температура горіння, °С	2467	1127	1227
Компонентний склад ТПК (%)			
KNO ₃	-	51,0	85,0
KClO ₄	85,0	-	-
KCl	-	25,0	-
Полімерні смоли	9	22	15
Каталізатор горіння	6	2	-
Газоподібні продукти аерозолі (%)			
H ₂ O	27	2	5
CO ₂	28	38	7
CO	7	4	22
H ₂	2	1	23
N ₂	-	7	-
Загалом	64	52	57
Конденсовані продукти аерозолі (%)			
K ₂ CO ₃	-	33	39
KCl	35	14	-
KOH	1	1	4
Загалом	36	48	43

Недоліком способу є велика витрата газу, мала ефективність, оскільки інертні гази чинять на вогнище пожежі лише охолоджувальний та розбавляючий вплив, не впливаючи на хімізм реакції горіння. Для досягнення позитивного ефекту необхідне витіснення кисню з зони горіння та зниження його концентрації нижче 16 % і відповідно заміна його газами флегматизаторами. Подача газу-флегматизатора призводить до значної витрати газу та необхідності відповідної кількості подаючої арматури та ємностей для його зберігання.

Основними вогнегасними факторами аерозолі є ефективне флегматизування та гасіння гомогенного горіння, що підтвердили автори роботи [168] при незначних концентраціях аерозолі – 15 г/м³ та CO₂ – 9 %. Таким чином, поєднання двох вогнегасних компонентів в одному, дозволяє отримати

універсальний вогнегасний засіб для гасіння як гомогенних, так і гетерогенних горючих середовищ. Сумісне застосування вогнегасних аерозолів та газів підводить до питання їх сумісності, а загалом до можливого синергізму між компонентами аерозолу та газу.

Відомо, що в результаті згоряння аерозольотворювальних речовин зазвичай утворюються карбонатні та хлоридні солі лужних металів. Вирішення питання сумісного застосування аерозолів та газів пов'язане з їх характеристиками. Аналіз загальних закономірностей процесів інгібування показує, що підвищити ефективність інгібувальних засобів можна знизивши вміст окислювача в горючій суміші або в зоні горіння. Відповідно, робить висновок автор [192], газові флегматизатори, додатково розбавляють, знижують концентрацію кисню в горючій системі і тим самим різко підвищують ефективність вогнегасної дії інгібітора. Автори [159-161] вказують, що додавання газів флегматизаторів, а зокрема азоту приводить до зменшення в 2,5 рази вогнегасної концентрації хладону 114B2 при гасінні n-гептану. Розбавлення суміші природного газу з повітрям на 10 % N_2 зменшує вогнегасну концентрацію хладону до 2-х разів, а добавка 20 % – приводить до зменшення концентрації хладону до 0,5–0,6 %. Те саме спостерігається при добавці CO_2 . В роботі [176], показано що, суміш CO_2 з хладоном 1301 має значно нижчі вогнегасні концентрації ніж азот та аргон. Автори [181], розрахувавши температуру полум'я, показали, що гази флегматизатори знижують температуру полум'я, а інгібувальний ефект на полум'я посилюється завдяки зменшенню температури реакції горіння, що приводить до синергізму та відповідно підвищення ефективності пожежогасіння такою сумішшю.

Таким чином, гомогенні вогнегасні суміші інгібіторів та теплових флегматизаторів володіють значними вогнегасними характеристиками. Для встановлення залежностей та вогнегасної ефективності було проведено експериментальне визначення вогнегасної ефективності сумішей аерозолу та газу CO_2 . Визначення ефективності гасіння бінарною газоаерозольною сумішшю проводили за раніше описаним методом «Камери». Здатність гасіння визначали

таким чином. Запалювальна суміш алюмінію та нітрату калію підпалювалась над поверхнею n-гептану. Давався час горіння 10 секунд, після чого камеру заповнювали аерозолем та подавали газ. Після заповнення сумішшю протягом 180 секунд фіксували ознаки горіння. В першій серії дослідів було визначено здатність аерозольно-газової суміші (АГС) гасити горіння n-гептану при подачі суміші після його займання за вказаною методикою.

Результати експерименту показані в табл. 4.4. Як видно з результатів дослідів, суміш добре гасить та запобігає горінню n-гептану, на який діє таке високотемпературне джерело, як піротехнічна суміш пудри алюмінію з нітратом калію. Лише в одному випадку, коли концентрація газу була недостатньо високою і при підпалюванні n-гептану в результаті займання його парів сталося два хлопки. В решті випадків, як при підпалюванні n-гептану, так і при заповненню сумішшю, коли гептан горів в присутності запалювальної суміші, горіння припинялось у всіх випадках.

Таблиця 4.4

Ефективність гасіння n-гептану бінарними сумішами вогнегасного аерозолю з CO₂

№	Склад рецептури	Час подачі АГС	Результат
2	Аерозоль – 51 г/м ³	Після запалювання ЗС	Гасіння, Відсутність спалахів
4	Аерозоль – 15 г/м ³ CO ₂ -4 %	Після запалювання ЗС	Гасіння. Відсутність повторного займання
5	Аерозоль – 10 г/м ³ CO ₂ -15 %	Після запалювання ЗС	Гасіння. Відсутність повторного займання

Залежність вогнегасної концентрації АГС (на основі ідітолу) від добавки CO₂ при гасінні дифузійного полум'я n-гептану показана на рис. 4.1.

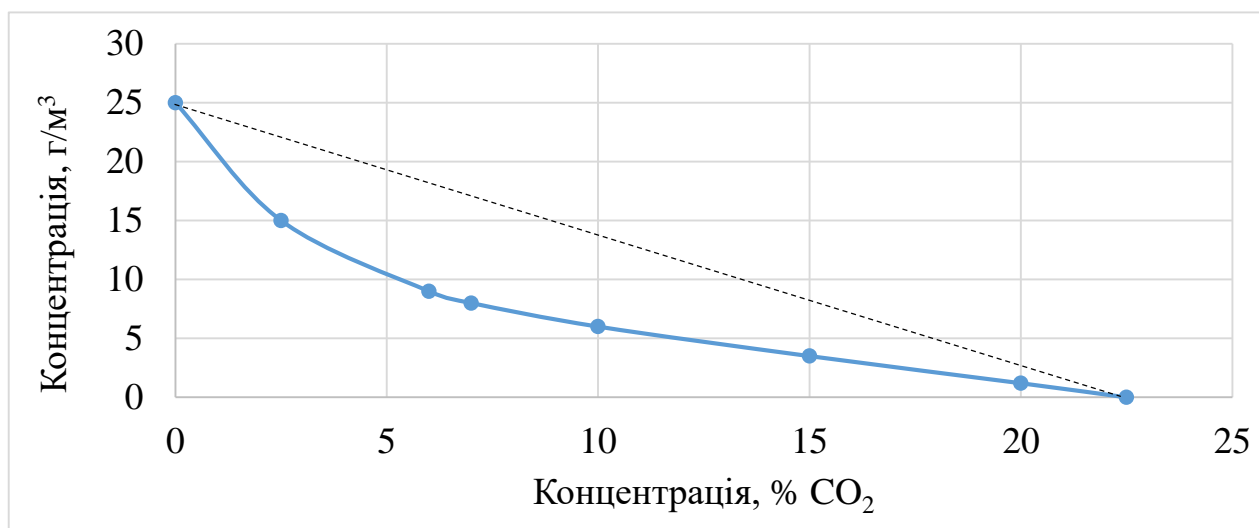


Рисунок 4.1 – Залежність вогнегасної концентрації АУС (на основі ідітолу) від добавки CO₂ при гасінні дифузійного полум'я n-гептану

З результатів експерименту видно, що навіть незначна кількість введеного інертного газу в об'єм твердофазового аерозолі суттєво знижує вогнегасну концентрацію останнього, а при подальшому збільшенні – зводить процес гасіння до створення повністю негорючого середовища, тобто забезпечується флегматизування. Відомо [316], що вогнегасна ефективність аерозолів не залежить від порядку введення інертних газів, а залежить тільки від їх концентрації. Під час пожежі частина аерозолі після контакту з полум'ям виноситься вгору гарячими потоками конвекції, і для їх охолодження через взаємодію з навколишнім повітрям необхідний певний проміжок часу. Крім того, певна частина цього аерозолі після охолодження може седиментувати і буде виведена з процесу гасіння. Все це призводить до зменшення концентрації аерозолі. Введення відносно холодного газу з температурою 20-24°C сприяє швидкому встановленню такого теплового режиму, при якому вогнегасна дія аерозолі проявляється більш ефективно. Роль газової фази у підвищенні вогнегасної ефективності аерозолів може бути пояснена тим, що компоненти газової фази CO₂ і H₂O сприяють утворенню карбонатних і гідратованих форм твердої фази. Як вказано в [151, 154], при збільшенні вологості вогнегасна

ефективність аерозолу оксидів металів K, Na, зростає. При горінні заряду АУС утворюється K_2O , який може прореагувати з CO_2 або з H_2O з утворенням K_2CO_3 або KOH , або одночасно з CO_2 і H_2O з утворенням $KHCO_3$. У цих випадках об'єм газової фази, а відповідно і аерозолу, зменшується, що спричиняє збільшення концентрації твердої фази в одиниці об'єму аерозолу. Таким чином, добавка CO_2 значно впливає на вогнегасну ефективність аерозолу і її роль в процесах гасіння аерозолями необхідно розглядати нарівні та одночасно з наявністю твердої фази.

Зважаючи на те, що досліджуваною нами вогнегасною речовиною є суміш аерозолу та CO_2 , необхідно зосередити увагу також на взаємодії газової та аерозольної фаз.

Про те, що найчастіше вогнегасні дисперсні склади впливають на процес припинення горіння комбінованим способом -- сукупністю кількох, або навіть всіх перерахованих видів впливу, йдеться у роботах [118, 323, 324]. Тому правильніше вважати, що при використанні будь-яких вогнегасних дисперсних складів діють всі перераховані механізми гасіння, тільки проявляються вони в різній мірі і з різним внеском в загальну ефективність припинення процесу горіння. Основна складність полягає у встановленні головного (домінуючого) механізму вогнегасної дії компонентів. Це обумовлено тим, що даний механізм може бути різним залежно від особливостей конкретного процесу горіння, способу і інтенсивності подачі порошку в зону горіння.

Таким чином, не враховуючи концентрацію твердої фази, добавка до неї інертних газів, таких як CO_2 , N_2 чи H_2O , повинна підвищити теплопоглинальну здатність бінарної суміші аерозолу та газів флегматизаторів.

Як видно з таблиці 4.5, при збільшенні вогнегасної ефективності теплопоглинальна здатність бінарної аерозолегазової суміші зростає з приблизно 9% - при концентрації аерозолу 50 г/м^3 з добавкою 50% CO_2 до 27% - при добавці бінарної суміші з співвідношеннями компонентів – 150 г/м^3 та добавкою 50% CO_2 . Величина загального теплопоглинання і частка теплоти згорання метаноповітряної суміші, що поглинається аерозолем, який складається з 50 % (мас.) $K_2CO_3 \cdot 2 H_2O$ та 50 % CO_2 збігається з результатами авторів [229], які

вказують на високу теплопоглинальну здатність аерозолів при високих їх концентраціях.

Таблиця 4.5

Значення теплоти поглинання вогнегасного аерозолу [232, 235]

$C_A, \text{г/м}^3$	$\sum Q, \text{кДж}$	% поглинання
50	315,750	8,9
75	473,625	13,3
100	631,500	17,8
150	947,250	26,7

Отже, добавляння CO_2 до аерозолу на основі неорганічних солей калію значно підвищує вогнегасну ефективність отриманої бінарної аерозольногазової суміші. Результатом добавляння до аерозолу вуглекислого газу стало зменшення вогнегасної концентрації компонентів кінцевої бінарної суміші до 30% при оптимальних співвідношеннях компонентів в бінарній аерозольно-газовій суміші – аерозолу 15 г/м^3 – вуглекислого газу – 4%, при яких суміш є вогнегасною для дифузійного полум'я *n*-гептану.

4.1.2.1. Вплив добавок CO_2 на температуру дифузійного *n*-гептанового полум'я.

Далі було досліджено дію на дифузійне та кінетичне полум'я бінарної аерозольно-вуглекислої суміші (БАВС). При цьому був встановлений вплив БАВС на температуру *n*-гептанового дифузійного полум'я. Отримані результати показані на графіку (рис. 4.2).

Як видно з результатів експерименту, охолоджувальна ефективність аерозолу з добавкою CO_2 є значно вищою за дію азоту, враховуючи що кількість добавки CO_2 в 2 рази менша за азот. При цьому, як видно з графіка вона більш ефективно зменшують температуру дифузійного *n*-гептанового полум'я (рис. 4.2) вже при низьких концентраціях добавки. Так при добавлянні 1,5 % CO_2 до аерозолу температура полум'я у перші 10 секунд зменшується приблизно на 65 °С. Подальше добавляння ще 1 % CO_2 призводить до зниження температури ще

на 85 °С. При максимальному збільшенні концентрації CO₂ до 5 % відбувається зниження температури полум'я загалом на 134 °С, до 565 °С. Таким чином, можна стверджувати про значно вагомійший вплив на температури дифузійного та кінетичного полум'я при дії на них БАВС. Подальше додавання CO₂ вище 5 % приводить до затухання полум'я.

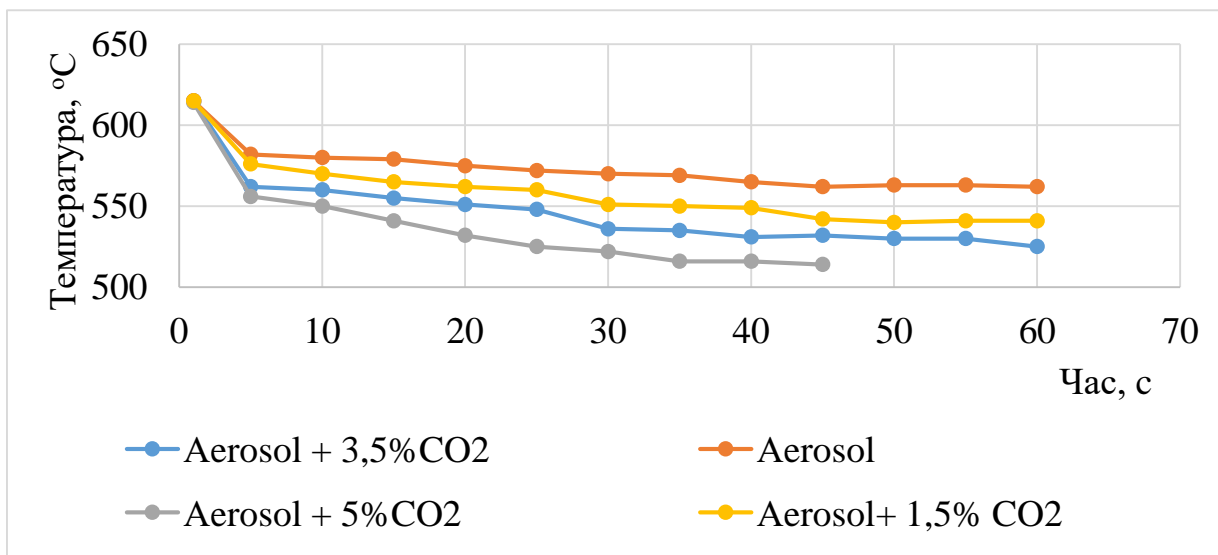


Рисунок 4.2 – Залежність зміни температури (t) дифузійного полум'я п-гептану в часі (τ с) залежно від концентрації азоту при сталій концентрації аерозолу в БАВС в 10 г/м³

Що стосується кінетичного полум'я, то на рисунку 4.3 показано динаміку зменшення його температури при додаванні зазначених кількостей БАВС. У всіх випадках температура полум'я при внесенні його в БАВС різко зменшувалась. Мінімально температура зменшувалась на 80 °С при внесенні самого лише аерозолу та максимально майже на 230 °С при внесенні БАВС в кінетичне полум'я з співвідношенням аерозолу 10 г/м³ та CO₂ – 5%.

При дії на кінетичне полум'я БАВС з концентраціями аерозолу до 25 г/м³ і добавкою CO₂ до 15% також не вдавалось досягнути гасіння такого полум'я. Полум'я набувало червонуватого забарвлення, незначно відривалось, але не гасло. Вплив добавки БАВС на температуру кінетичного полум'я п-гептану показаний на рис 4.3. Як видно з графіка, на цьому рисунку добавка БАВС вже при незначних концентраціях зменшує температуру кінетичного полум'я.

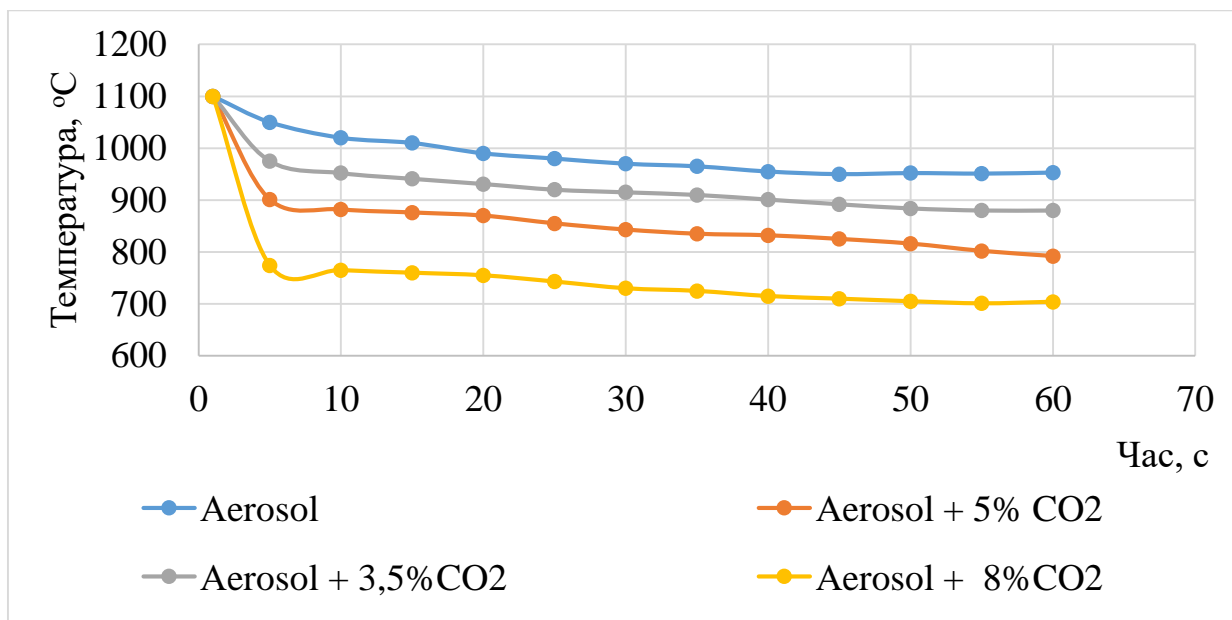


Рисунок 4.3 – Залежність зміни температури (t) кінетичного полум'я n -гептану в часі (τ с) залежно від концентрації CO_2 при сталій концентрації аерозолу в БАВС в 35 г/м^3

Виходячи з результатів досліджень [333], можна констатувати цікаві закономірності, які полягають у різниці значень, на які знижується температура, як дифузійного так і кінетичного полум'я при дії на них бінарних вогнегасних сумішей з значною різницею в концентраціях аерозолу та газів. Особливість полягає в тому, що бінарна газоаерозольна суміш при взаємодії з кінетичним полум'ям швидше всього не потрапляє у великій кількості всередину нього, але приводить до зниження його температури завдяки обтіканню самого полум'я. Також цікавим є те, що БАВС при подачі її всередину пальника разом з горючою сумішшю загасити кінетичне полум'я n -гептану неможливо навіть при великих її концентраціях, в той же час дифузійне полум'я гаситься при цьому значно легше, а різниця в концентраціях БАВС становить до 4 разів.

4.1.2.2. Вплив співвідношення аерозолі та азоту на вогнегасну ефективність бінарної аерозольно-азотної суміші при гасінні дифузійного полум'я n-гептану

Для підтвердження того, що сумісна дія аерозолі з добавками азоту приведе до значного підвищення вогнегасної ефективності кінцевої бінарної аерозольно-азотної суміші (БААС), було проведено серію експериментів на установці «Камера» та отримано відповідні залежності, які показані на рис. 4.4. Графік зміни вогнегасної концентрації був побудований з умовою, що індивідуальна вогнегасна концентрація аерозолі, утвореного з АУС на основі ідітолу, для n-гептану становить $25,6 \text{ г/м}^3$, а азоту для n-гептану – 33 % [333].

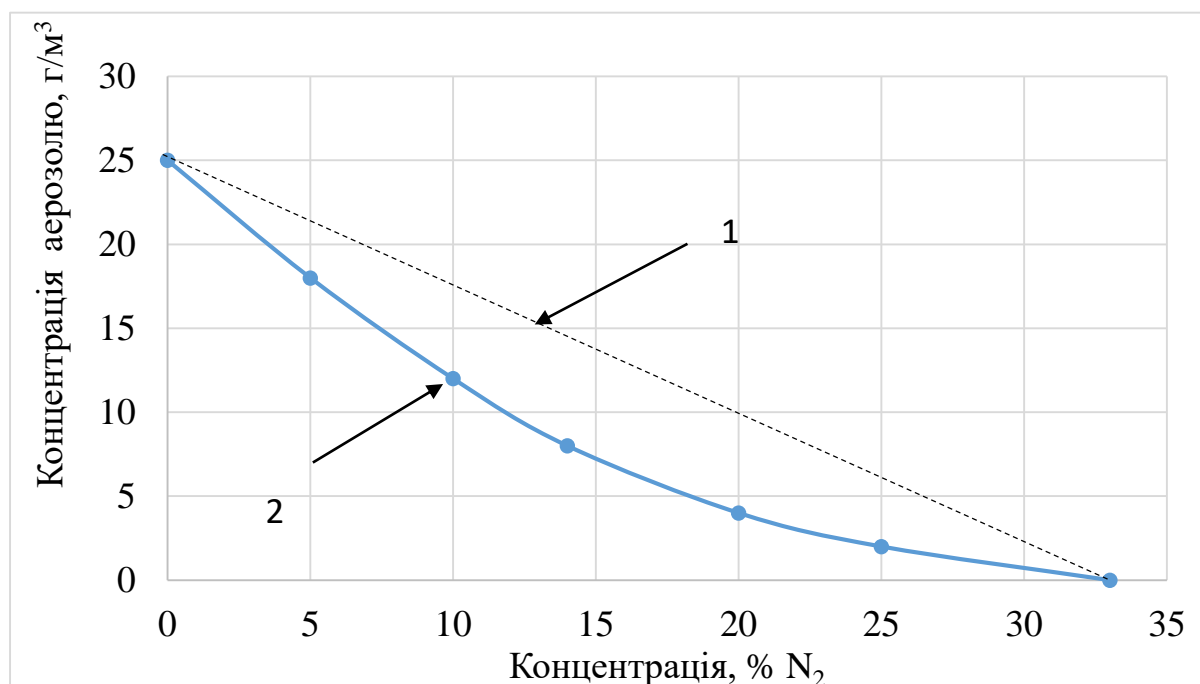


Рисунок 4.4 – Графік змінення вогнегасної концентрації БААС для дифузійного полум'я гептану, залежно від співвідношення аерозолі г/м^3 та азоту % N_2 : 1 - пряма залежності (теоретична) у разі адитивності
2 - експериментальна пряма

На рисунку 4.4 наведено графік залежності зміни вогнегасної концентрації для дифузійного полум'я n-гептану від співвідношення вмісту вогнегасного

аерозолі, та азоту за їх сумісного комбінованого подавання у випробувальну камеру.

Як видно з графіка, експериментальні значення компонентів БААС, розташовані нижче значень у разі адитивності, відповідно зафіксовано синергізм між компонентами БААС.

4.1.2.3. Залежність вогнегасної ефективності БААС при гасінні кінетичного полум'я n-гептану, від зміни концентрації N_2 при сталій концентрації аерозолі 45 г/м^3

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

Далі було досліджено вогнегасну дію на кінетичне полум'я БААС. При дії на кінетичне полум'я БААС 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 4.5 показано динаміку зменшення температури при добавлянні зазначених кількостей азоту. У всіх випадках температура полум'я при внесенні його в БААС 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 БААС з співвідношенням аерозолі 45 г/м^3 азоту – 15%.

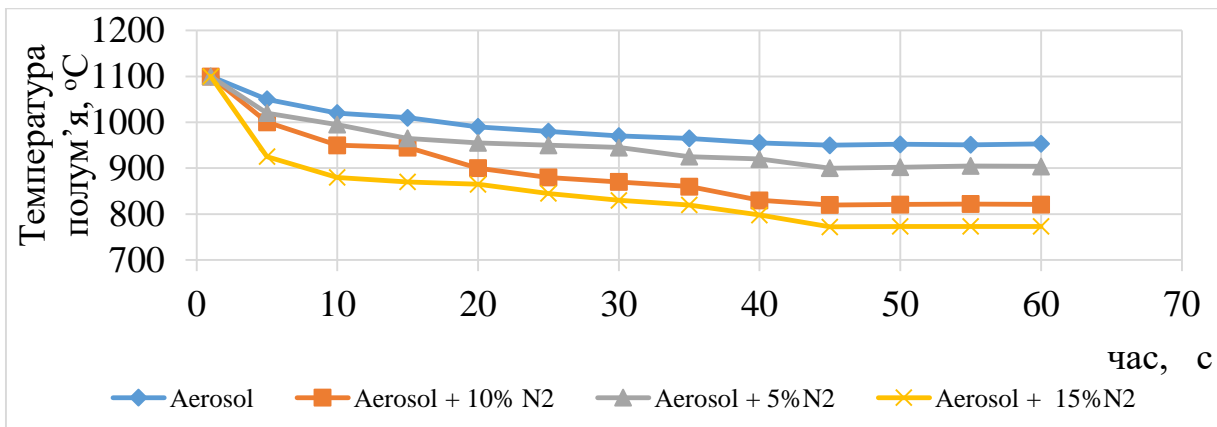


Рисунок 4.5 – Залежність зміни температури (t) кінетичного полум'я n -гептану в часі (τ с) залежно від концентрації азоту при сталій концентрації аерозолі в БААС в 45 г/м^3

Далі було проведено дослідження з визначення впливу БААС на температуру n -гептанового дифузійного полум'я. Отримані результати показані на рис. 4.6.

Як видно з результатів експерименту, охолоджувальна ефективність аерозолі з добавкою різної концентрації азоту є незначною, але все ж таки зменшує температуру дифузійного n -гептанового полум'я (рис. 4.6). Сам аерозоль зменшує температуру полум'я теж приблизно на $40 \text{ }^\circ\text{C}$ при концентрації лише 10 г/м^3 . При добавлянні $2,5 \%$ азоту до аерозолі температура полум'я у перші 5 секунд зменшується приблизно на $50 \text{ }^\circ\text{C}$. Подальше добавляння 5% азоту призводить до зниження температури за перших 5 секунд до $65 \text{ }^\circ\text{C}$ спочатку і пізніше загалом до $70 \text{ }^\circ\text{C}$. При найбільшому збільшенні концентрації азоту до 10% відбувається більш різке зниження температури полум'я на приблизно $75 \text{ }^\circ\text{C}$, і в кінцевому результаті температура зменшується загалом на $100 \text{ }^\circ\text{C}$, до $565 \text{ }^\circ\text{C}$. 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.

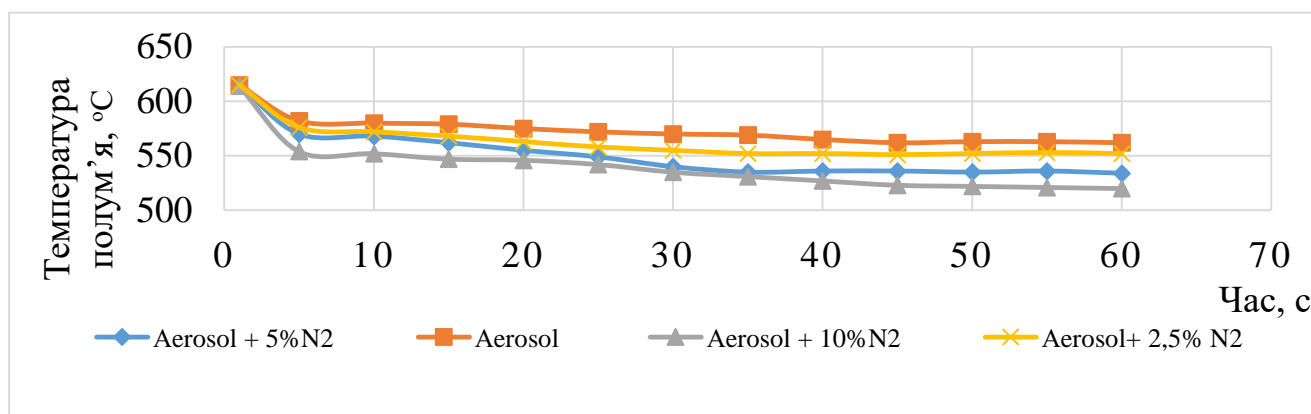


Рисунок 4.6 – Залежність зміни температури (t) дифузійного полум'я n-гептану в часі (τ с) залежно від концентрації азоту при сталій концентрації аерозолу в БААС в 10 г/м³

Для підтвердження того, що дія БААС завдає комбінованого впливу на кінетичне та дифузійне полум'я, було визначено особливості гасіння аерозолем та аерозольно-азотною сумішшю та проведено розкадрування процесу гасіння зазначеною сумішшю.

Результати розкадрування показані на рис.4.7. Як видно з рис.4.7 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 °С.

Далі показано процес розкадрування гасіння аерозольно-азотною сумішшю. Для визначення особливостей впливу БААС на кінетичне та дифузійне полум'я було проведено відеофіксацію гасіння БААС камерою NIKON 1 J4 з частотою кадрів 120 на секунду. Результати розкадрування дифузійного полум'я n-гептану БААС із співвідношенням аерозолу – 15 г/м³ та азоту – 7,5% показано на рис. 4.7. На рисунку 4.8 показано вплив на кінетичне полум'я БААС з співвідношенням аерозолу – 45 г/м³ та азоту від 10 % до 20 %.

При гасінні дифузійного полум'я (рис.4.7) воно слабо забарвлювалось, після чого воно починало пульсувати, поз 3-4 рис. 4.7, зменшувалось у розмірах та

гасло. Зріз пальника показано на рисунках горизонтальною рисою, а розміри полум'я та його відрив показані стрілками.

Загалом поведінка дифузійного та кінетичного полум'я при дії на них БААС є різною, зважаючи на те, що кінетичне полум'я загасити БААС так само і як БАВС навіть при значних концентраціях не вдається, а дифузійне полум'я гаситься при низьких концентраціях компонентів БААС. Ймовірною причиною цього є різна температура полум'я, яка для кінетичного полум'я становить близько 1100 °С, а для дифузійного полум'я в два рази менше – 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.4.8, поз. 5).

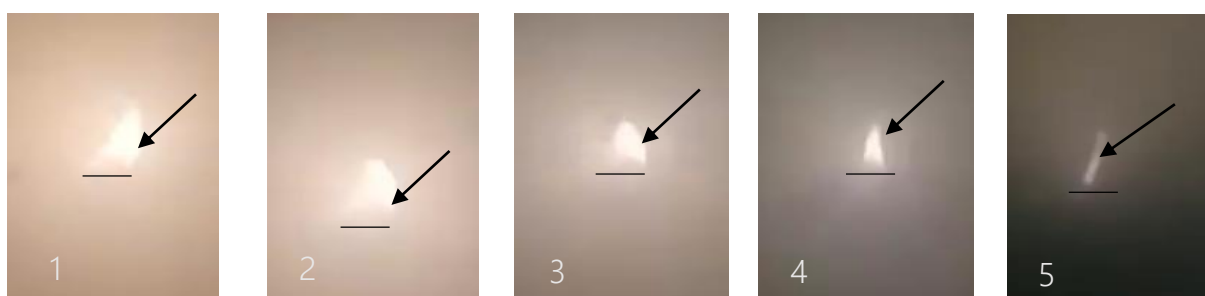


Рисунок 4.7 – Процес гасіння дифузійного полум'я n-гептану БААС при співвідношенні аерозоль -15 г/м³, N₂ -7,5%

Як видно з рис.4.8 поз. 1 при дії на кінетичне полум'я БААС відбувається спочатку змінення кольору полум'я, подеколи воно незначно відривається та згодом повертається у вихідне становище і продовжує горіти. Причому при збільшенні кількості азоту до 15% (рис 4.8) відрив максимальний становить 4 мм, та при 20% (рис.4.9) воно відривається дещо більше, до — 12мм, що показано стрілкою (горизонтальною рисою позначено зріз пальника).

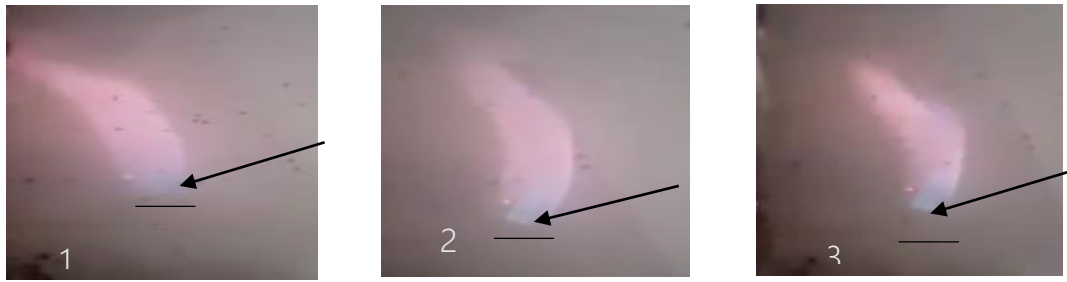


Рисунок 4.8 – Вплив БААС на кінетичне полум'я n-гептану: 1 – БААС аерозоль – 45 г/м³ та 10 % азот; 2 – БААС аерозоль – 45 г/м³ та 15 % азот; 3 – БААС аерозоль – 45 г/м³ та 20 % азот

4.1.2.4. Обговорення результатів дослідження впливу добавок азоту на вогнегасну ефективність та особливості гасіння БААС кінетичного та дифузійного полум'я n-гептану

При визначенні ефективності впливу азоту на вогнегасну ефективність бінарної аерозольно-азотної суміші, як витікає з отриманих результатів, закономірним є спільне зменшення вогнегасних концентрацій аерозолу та азоту. Це обумовлено синергічною дією між компонентами БААС завдяки розбавленню горючого середовища газом-флегматизатором та значним зростанням інгібувальної дії аерозолу. Внесення дифузійного полум'я n-гептану в камеру з БААС, коли повітря подається в горючу суміш ззовні при стехіометричному співвідношенні горючого та окисника, не призводить до його гасіння навіть при значних концентраціях БААС. Причому, як витікає з результатів експерименту, для гарантованого гасіння, газоаерозольна 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 n-гептану всередину БААС, коли повітря подається ззовні при концентрації аерозолу в 4 рази меншій. Таким чином зниження температури полум'я відбувається через комплексну інгібувально-охолоджувальну дію компонентів БААС на полум'я.

На основі результатів вимірювань температури кінетичного полум'я можна сказати, що сам аерозоль не чинить при невисоких концентраціях значної вогнепригнічувальної дії, і лише при збільшенні концентрації аерозолю, його вогнегасна дія значно зростає, що відбувається через ймовірно більший охолоджувальний ефект. Причому при внесенні в аерозоль гептанового пальника з кінетичним полум'ям, його температура різко знижувалась приблизно на 120 °С, на 10 секунді, що видно з графіка на рис. 4.3, але це не призводило до його гасіння. Далі температура кінетичного полум'я незначно зменшувалась, та стабілізувалась на значенні приблизно в 950 °С. Добавляння до аерозолю азоту в кількості 5% призводило до зменшення температури на початку до 1000°С що видно з графіка на рис.4.5, після чого температура стабілізувалась на позначці 905 °С. Подальше збільшення концентрації азоту до 10% призвело до зменшення температури в кінцевому результаті, до позначки 887 °С, а добавка 15 % спичинила зниження температури до 866 °С, причому зниження температури на перших 10 секундах відбулось навіть більше – до 849 °С, а потім температура стабілізувалась на позначці 866°С.

Вимірювання температури дифузійного полум'я показали подібні результати (рис.4.6) і при добавлянні самого аерозолю у концентрації 10 % температура полум'я знижувалась з 620 °С до 580 на 5 секунді після чого температура зменшувалась ще приблизно до 560 °С та стабілізувалась на 40 секунді на значенні в 564 °С. Полум'я при цьому зменшувалось в розмірах та пульсувало з частотою 3-8 Гц. Добавляння 2,5% азоту до аерозолю ще більше зменшило температуру в момент внесення полум'я в БААС, далі також відбувалось зниження температури та на 35 секунді температура стабілізувалась на позначці приблизно 553 °С. Збільшення концентрації азоту в БААС з 2,5 % до 5 % призвело до більш різкого зниження температури, при внесенні пальника всередину камери на 5 секунді температура знизилась до 568 °С після чого також продовжилось незначне зниження температури, яка стабілізувалась на 540 °С. При збільшенні в БААС концентрації азоту до 10% початкове зменшення температури продовжувалось ще більше та сягнуло до 554 °С після чого температура

стабілізувалась на 522 °С. 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 °С від початкової.

Результати розкадрування 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 аерозолу 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 N₂ в БААС призводило до незначного збільшення відриву та теж незначного зменшення розмірів полум'я (рис. 4.6).

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

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

введенні пального зменшується приблизно на 100 °С, після чого полум'я відривається і гасне. Таким чином, незважаючи на те, що дію БААС ще необхідно досліджувати та визначити домінуючий механізм гасіння, вона володіє значною вогнегасною ефективністю, яка є значно вищою за вогнегасну ефективність окремо взятих компонентів БААС аерозолю та азоту.

Таким чином, отримані дані щодо значень вогнегасної ефективності та особливостей гасіння БААС можуть бути основою, для створення екологічно чистих вогнегасних систем для гасіння горючих гомогенних та гетерогенних середовищ. Визначені співвідношення аерозолю та азоту забезпечують задовільні умови для життєдіяльності людини при гасінні пожеж у замкнутих об'ємах. При застосуванні для гасіння БААС концентрація кисню в захищуваному приміщенні не знижується нижче 16 %, що дає змогу перебувати нетривалий час людям всередині захищуваного об'єму. Сам аерозоль не чинить сильної токсичної дії [23] при вогнегасних концентраціях 40-50 г/м³ і при меншій концентрації в суміші з нейтральним екологічно чистим азотом підходить як альтернатива вогнегасному компоненту для автоматичних систем для забезпечення гасіння об'ємів з перебуванням людей та живих організмів [335-337].

Таким чином проведеними в роботі дослідженнями встановлено, що добавка газів – розріджувачів до аерозолю неорганічних солей калію призводить до значного підвищення вогнегасної ефективності бінарної аерозольно-газової суміші завдяки синергізму між її компонентами. Результатом добавлення до аерозолю газів–розріджувачів стало зменшення вогнегасної концентрації компонентів бінарної суміші до 30% при оптимальних співвідношеннях компонентів в БААС аерозоль –10 г/м³, азот – 12,1 %, та БАВС аерозоль – 10 г/м³, азоту – 12,1 %, за яких суміш є вогнегасною, для дифузійного полум'я п-гептану при оптимальних концентраціях компонентів. Визначено інтенсивність та значення зменшення температури дифузійного полум'я при перебуванні його в бінарних газоаерозольних сумішах, які полягають у тому що добавка газів–розріджувачів ймовірно призводить до зменшення тепловиділення і, як наслідок, зменшення температури полум'я.

Отримані залежності та характеристики аерозольно-азотних сумішей можуть бути підґрунтям для створення ефективних вогнегасних систем для захисту та гасіння об'єктів з можливим короткостроковим перебуванням людей.

4.1.2.5. Встановлення ефективних рецептур бінарних газоаерозольних сумішей з високою вогнегасною ефективністю

В таблиці 4.6 наведено вогнегасні значення бінарних сумішей аерозолю з CO₂ та N₂. Як бачимо, добавка лише 2,5% CO₂ зменшує вогнегасну концентрацію аерозолю до 2 разів, що забезпечує можливість перебування людини в цьому середовищі до 20 хвилин. При добавлянні N₂ до суміші також відбувається зменшення вогнегасної концентрації аерозолю, але не в такій мірі, як у випадку з CO₂. Подальше збільшення кількості CO₂ та N₂ в суміші приводить до збільшення вогнегасної ефективності до 3 –х разів.

Таблиця 4.6

Вогнегасні концентрації сумішей аерозолю з CO₂ та N₂

Концентрації вогнегасної речовини			Примітка
Аерозоль г/м ³	CO ₂ %	N ₂ %	
18	2,5		Вогнегасна концентрація. безпечна для людини
12	5		Вогнегасна концентрація. безпечна для людини
5	12		Оптимальна вогнегасна концентрація
18		5	Вогнегасна концентрація. безпечна для людини
12		12	Вогнегасна концентрація. безпечна для людини
7,5		15	Оптимальна вогнегасна концентрація

Аналізуючи вогнегасні співвідношення зазначених компонентів можна стверджувати, що концентрація окремих компонентів в бінарній суміші є безпечною для людини, що дає можливість перебувати певний час в цьому середовищі людям.

4.2. Застосування ударних хвиль для припинення та запобігання горіння газових горючих середовищ

Планування експериментальних досліджень виконуємо згідно із рекомендаціями для планування експерименту в технологічних дослідженнях [338, 339]. Згідно цих рекомендацій найбільше розповсюдження отримали повнофакторні експерименти, в яких фактори k варіюють на двох рівнях, тобто експерименти типу 2^k . Менш популярні експерименти типу 3^k , оскільки із зростанням числа рівнів факторів різко зростає кількість дослідів.

4.2.1. Математичне планування експерименту для визначення тривалості часу гасіння пожежі ударними хвилями

Методика проведення експериментальних досліджень.

Тому для проведення експериментальних досліджень приймаємо експерименти типу 2^k . При виконанні повнофакторного експерименту кількість дослідів визначають за залежністю

$$N = 2^k . \quad (1)$$

При розроблені планів для різних значень k привертає увагу та обставина, що включення кожного нового фактора приводить до подвоєння числа дослідів в плані. Реалізація таких планів стає важкою і дорогою задачею та крім того вимагає великих витрат часу. Ефективність повного факторного експерименту в цьому випадку помітно знижується. Тому ця обставина привела до ідеї виконання дробового факторного експерименту.

Для позначення дробового факторного експерименту використовують запис виду 2^{k-p} , де p – кількість взаємодій в повному факторному експерименті типу 2^k , яка підлягає заміні новими (додатковими) факторами. Якщо $p = 1$, то експеримент типу 2^{k-1} називається піврепликою від повного факторного експерименту типу 2^k . При $p = 2$ маємо чвертьреплику і т. д.

Виходячи з наведених положень для виконання експериментальних досліджень приймаємо дробовий факторний експеримент. Такий підхід пояснюється значною кількістю факторів, які впливають на аргумент при проведенні кожного із запланованих експериментальних досліджень.

Планування експериментальних досліджень для визначення тривалості часу гасіння пожежі методом ударної хвилі.

Фактори (основні), які впливають на тривалість часу гасіння пожежі τ в мс методом ударної хвилі:

- q – густина теплового потоку від осередку пожежі, кВт/м²;
- A – концентрація аерозолі в середовищі пожежі, г/м³;
- Γ – концентрація газів CO₂ або N₂ в середовищі пожежі, %;
- P – тиск ударної хвилі, Па.

Кодування факторів необхідне для перекладу натуральних значень факторів в безрозмірні величини, щоб мати нагоду побудувати план-матрицю експерименту. Результати кодування наведені в табл. 1.

Таблиця 4.7

Кодування факторів

Код та рівні факторів	Густина теплового потоку q , кВт/м ²		Концентрація аерозолі A , г/м ³		Концентрація газу Γ , %				Тиск ударної хвилі P , Па	
					при проведенні дослідів на основі CO ₂		при проведенні дослідів на основі N ₂			
Код фактора	\tilde{x}_1	$\ln \tilde{x}_1$	\tilde{x}_2	$\ln \tilde{x}_2$	\tilde{x}_3	$\ln \tilde{x}_3$	\tilde{x}_3	$\ln \tilde{x}_3$	\tilde{x}_4	$\ln \tilde{x}_4$
Верхній (+1)	90	4,5	12	2,48	16	2,77	21	3,04	6050	8,7
Нульовий (0)	48	-	7,45	-	9,75	-	12,25	-	3145	-
Нижній (-1)	6	1,79	2,9	1,06	3,5	1,25	3,5	1,25	240	5,48

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

$$x_i = \frac{2(\ln \tilde{x}_i - \ln \tilde{x}_{i \max})}{\ln \tilde{x}_{i \max} - \ln \tilde{x}_{i \min}} + 1. \quad (4.2)$$

$$x_1 = \frac{2(\ln q - 4,5)}{4,5 - 1,79} + 1 = 0,74 \ln q - 2,32;$$

$$x_2 = \frac{2(\ln A - 2,48)}{2,48 - 1,06} + 1 = 1,41 \ln A - 4,9;$$

при проведенні дослідів на основі CO₂

$$x_3 = \frac{2(\ln \tilde{A} - 2,77)}{2,77 - 1,25} + 1 = 1,32 \ln \tilde{A} - 3,64;$$

при проведенні дослідів на основі N₂

$$x_3 = \frac{2(\ln \tilde{A} - 3,04)}{3,04 - 1,25} + 1 = 1,12 \ln \tilde{A} - 3,4;$$

$$x_4 = \frac{2(\ln \tilde{D} - 8,7)}{8,7 - 5,48} + 1 = 0,62 \ln \tilde{D} - 4,4.$$

4.2.1.1. Складання план-матриці експерименту

Складаємо план-матрицю дробового факторного експерименту (чвертьреплику) типу 2^{4-2} (табл. 2). Рівняння для визначення тривалості часу τ гасіння пожежі з введенням членів, які враховують взаємодію факторів, записуємо в кодових змінних

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_4, \quad (4.3)$$

де $y = \tau$, мс.

Таблиця 4.8

План-матриця дробового факторного експерименту типу 2^{4-2}

№ дослідів	x ₁	x ₂	x ₃ = x ₁ x ₂	x ₄ = x ₁ x ₃
1	+1	+1	+1	+1
2	-1	+1	-1	+1
3	+1	-1	-1	-1
4	-1	-1	+1	-1

Рандомізація дослідів. Для гарної відтворюваності результатів дослідів приймаємо число повторних дослідів $r = 2$. Встановлюємо випадковий порядок постановки дослідів в часі. В даному випадку отримали таку послідовність проведення дослідів: 2, 4, 1, 4, 3, 1, 3, 2. В цій послідовності кожне поєднання рівнів (номери дослідів) трапляються двічі. Паралельні досліди передбачаються для оцінки відтворюваності процесу і проведення статистичних оцінок.

4.2.1.2. Реалізація плану експерименту

В процесі виконання дослідів використовуємо план-матрицю дробового факторного експерименту типу 2^{4-2} (табл. 2), а отримані результати заносимо в табл. 4.9., та 4.10.

Таблиця 4.9

Умови та результати дослідів дробового факторного експерименту типу 2^{4-2}
з вогнегасною системою на основі газу CO_2

№	q		A		Г		P		Перший дослід u_{1i} , мс	Другий дослід u_{2i} , мс	Середнє значення \bar{y}_i , мс	$\ln \bar{y}_i$
	x_1	Значення	x_2	Значення	x_3	Значення	x_4	Значення				
1	+1	90	+1	12	+1	16	+1	6050	1425	1445	1435	7,27
2	-1	6	+1	12	-1	3,5	+1	6050	15	15	15	2,71
3	+1	90	-1	2,9	-1	3,5	-1	240	5000	5000	5000	8,52
4	-1	6	-1	2,9	+1	16	-1	240	85	75	80	4,38

Таблиця 4.10

Умови та результати дослідів дробового факторного експерименту типу 2^{4-2}
з вогнегасною системою на основі газу N_2

№	q		A		Г		P		Перший дослід u_{1i} , мс	Другий дослід u_{2i} , мс	Середнє значення \bar{y}_i , мс	$\ln \bar{y}_i$
	x_1	Значення	x_2	Значення	x_3	Значення	x_4	Значення				
1	+1	90	+1	12	+1	21	+1	6050	1580	1505	1542,5	7,34
2	-1	6	+1	12	-1	3,5	+1	6050	15	20	17,5	2,86
3	+1	90	-1	2,9	-1	3,5	-1	240	5000	5000	5000	8,52
4	-1	6	-1	2,9	+1	21	-1	240	125	120	122,5	4,81

Визначення значень коефіцієнтів регресії.

Дробовий факторний експеримент типу 2^{4-2} з вогнегасною системою на основі газу CO_2 .

$$b_0 = \frac{\sum_{i=1}^N \ln \bar{y}_i}{N} = \frac{7,27 + 2,71 + 8,52 + 4,38}{4} = 5,72;$$

$$b_1 = \frac{\sum_{i=1}^N (x_{1i}) \cdot \ln \bar{y}_i}{N} = \frac{(+1)7,27 + (-1)2,71 + (+1)8,52 + (-1)4,38}{4} = 2,17;$$

$$b_2 = \frac{\sum_{i=1}^N (x_{2i}) \cdot \ln \bar{y}_i}{N} = \frac{(+1)7,27 + (+1)2,71 + (-1)8,52 + (-1)4,38}{4} = -0,73;$$

$$b_3 = \frac{\sum_{i=1}^N (x_{3i}) \cdot \ln \bar{y}_i}{N} = \frac{(+1)7,27 + (-1)2,71 + (-1)8,52 + (+1)4,38}{4} = 0,1;$$

$$b_4 = \frac{\sum_{i=1}^N (x_{4i}) \cdot \ln \bar{y}_i}{N} = \frac{(+1)7,27 + (+1)2,71 + (-1)8,52 + (-1)4,38}{4} = -0,73.$$

На підставі отриманих значень коефіцієнтів рівняння регресії має такий вигляд для вогнегасної системи на основі газу CO₂

$$y = 5,72 + 2,17x_1 - 0,73x_2 + 0,1x_3 - 0,73x_4. \quad (4.4)$$

Дробово-факторний експеримент типу 2⁴⁻² з вогнегасною системою на основі газу N₂.

$$b_0 = \frac{\sum_{i=1}^N \ln \bar{y}_i}{N} = \frac{7,34 + 2,86 + 8,52 + 4,81}{4} = 5,88;$$

$$b_1 = \frac{\sum_{i=1}^N (x_{1i}) \cdot \ln \bar{y}_i}{N} = \frac{(+1)7,34 + (-1)2,86 + (+1)8,52 + (-1)4,81}{4} = 2,05;$$

$$b_2 = \frac{\sum_{i=1}^N (x_{2i}) \cdot \ln \bar{y}_i}{N} = \frac{(+1)7,34 + (+1)2,86 + (-1)8,52 + (-1)4,81}{4} = -0,78;$$

$$b_3 = \frac{\sum_{i=1}^N (x_{3i}) \cdot \ln \bar{y}_i}{N} = \frac{(+1)7,34 + (-1)2,86 + (-1)8,52 + (+1)4,81}{4} = 0,19;$$

$$b_4 = \frac{\sum_{i=1}^N (x_{4i}) \cdot \ln \bar{y}_i}{N} = \frac{(+1)7,34 + (+1)2,86 + (-1)8,52 + (-1)4,81}{4} = -0,78.$$

На підставі отриманих значень коефіцієнтів рівняння регресії має такий вигляд для вогнегасної системи на основі газу N₂

$$y = 5,88 + 2,05x_1 - 0,78x_2 + 0,19x_3 - 0,78x_4. \quad (4.5)$$

Перевірка відтворюваності дослідів. При однаковому числі паралельних дослідів r на кожному поєднанні рівнів факторів відтворюваність процесу перевіряється за критерієм Кохрена

$$G = \frac{S_{pi\max}^2}{S_p^2} \leq G_{(0,05;N;f_r)}, \quad (4.6)$$

де $S_{pi\max}^2$ – найбільше значення дисперсії розсіювання S_{pi}^2 (береться з третього стовпця табл. 5);

$N = 4$ – кількість дослідів для нашого випадку;

$f_r = r - 1 = 2 - 1 = 1$ – число ступенів вільності кожної оцінки;

$G_{(0,05;N;f_r)}$ – табличне критичне значення критерію Кохрена (табл. 6).

Перевірка відтворюваності дослідів з вогнегасною системою на основі газу CO₂.

Визначаємо дисперсію розсіювання. Для цього скористаємося допоміжною табл. 4.11.

Таблиця 4.11

Визначення дисперсії розсіювання значень результатів експерименту S_p^2

№ дослідів	$S_{pi} = \ln \hat{\sigma}_{i(1,2)} - \ln \bar{\sigma}_i$	S_{pi}^2
1	$7,26 - 7,27 = -0,01$	0,0001
1	$7,27 - 7,27 = 0$	0
2	$2,71 - 2,71 = 0$	0
2	$2,71 - 2,71 = 0$	0

3	$8,52 - 8,52 = 0$	0
3	$8,52 - 8,52 = 0$	0
4	$4,44 - 4,38 = 0,06$	0,036
4	$4,32 - 4,38 = -0,06$	0,036
$S_p^2 = \sum_{i=1}^8 S_{pi}^2 = 0,0721$		

Таблиця 4.12

Значення $G_{(0,05;N;f_r)}$

N	f _r		
	1	2	3
2	0,9985	0,9750	0,9392
3	0,9669	0,8709	0,7977
4	0,9065	0,7679	0,6841
5	0,8412	0,6838	0,5981

Визначаємо критерій Кохрена та порівнюємо із допустимим значенням

$$G = \frac{0,036}{0,0721} = 0,4993 < G_{(0,05;4;1)} = 0,9065.$$

Відтворюваність процесу забезпечується.

Дисперсія відтворюваності (похибка дослідів)

$$S_a^2 = \frac{S_p^2}{N(r-1)} = \frac{0,0721}{4(2-1)} = 0,018.$$

4.2.1.3 Перевірка адекватності лінійної моделі

Перевірка відтворюваності дослідів з вогнегасною системою на основі газу N₂.

Визначаємо дисперсію розсіювання. Для цього скористаємося допоміжною табл. 4.13.

Визначення дисперсії розсіювання значень результатів експерименту S_p^2

№ дослідю	$S_{pi} = \ln \hat{\sigma}_{i(1,2)} - \ln \bar{\sigma}_i$	S_{pi}^2
1	$7,36 - 7,34 = 0,02$	0,0004
1	$7,32 - 7,34 = -0,02$	0,0004
2	$2,71 - 2,86 = -0,15$	0,0225
2	$2,99 - 2,86 = 0,13$	0,0169
3	$8,52 - 8,52 = 0$	0
3	$8,52 - 8,52 = 0$	0
4	$4,83 - 4,81 = 0,02$	0,0004
4	$4,79 - 4,81 = -0,02$	0,0004
$S_p^2 = \sum_{i=1}^8 S_{pi}^2 = 0,041$		

Визначаємо критерій Кохрена та порівнюємо із допустимим значенням

$$G = \frac{0,0225}{0,041} = 0,5487 < G_{(0,05;4;1)} = 0,9065.$$

Відтворюваність процесу забезпечується.

Дисперсія відтворюваності (похибка дослідю)

$$S_a^2 = \frac{S_p^2}{N(r-1)} = \frac{0,041}{4(2-1)} = 0,01.$$

Оцінка значущості коефіцієнтів регресії виконується за допомогою критерію Стюдента. Коефіцієнт вважається значущим, якщо виконується нерівність

$$|b_i| \geq \Delta b_i = t_{(0,05; f_B)} \frac{S_e}{\sqrt{N}}, \quad (4.7)$$

де $t_{(0,05; f_B)}$ – табличне значення критерія Стюдента при 5% рівні значущості з числом ступенів вільності $f_B = N$ (табл. 8).

Таблиця 4.14

Значення $t_{(0,05; f_B)}$

$f_B = N$	$t_{(0,05; f_B)}$
1	12,71

2	4,30
3	3,18
4	2,78
5	2,57

В нашому випадку $t_{(0,05; 4)} = 2,78$. Тоді для гасіння з вогнегасною системою на основі газу CO_2 $\Delta b = 2,78 \frac{\sqrt{0,0721}}{\sqrt{4}} = 0,134$, а для гасіння з вогнегасною системою на основі газу N_2 $\Delta b = 2,78 \frac{\sqrt{0,041}}{\sqrt{4}} = 0,202$.

Апріорно відомо, що коефіцієнт b_3 в обох рівняннях менший за Δb_i (тобто він є не значущим), впливає на параметр y , тобто на цей параметр y впливає фактор Γ . Тому є можливість включити в апроксимуючий поліном також коефіцієнт b_3 .

Перевірка адекватності лінійної моделі виконується за допомогою критерію Фішера. Адекватність обґрунтована, якщо виконується нерівність у випадку, якщо $S_a^2 \ll S_{aa}^2$

$$F = \frac{S_a^2}{S_{aa}^2} \leq F_{(0,05; f_{aa}; f_a)}, \quad (4.8)$$

де S_{ad}^2 - дисперсія адекватності;

$$S_{aa}^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (\ln \bar{y}_i - y_{i \hat{a}.})^2}{N - r - 1}, \quad (4.9)$$

$N = 4$ – число незалежних оцінок дисперсії (кількість незалежних дослідів);

$r = 2$ – число паралельних дослідів (число повторних дослідів);

\bar{y}_i – середнє значення відгуку в i -му досліді;

$y_{\text{моді}}$ – розраховане за моделлю значення відгуку в i -му досліді (за залежністю (4));

$F_{(0,05;f_{ad};f_g)}$ – критерій Фішера при 5%-му рівні значущості з числом ступенів вільності дисперсії адекватності $f_{ад} = N-r-1$ та числом ступенів вільності дисперсії відтворюваності $f_{в} = N$ (табл. 4.9).

Визначаємо значення $y_{\text{мод.}i}$ за моделлю (4.4)

$$y_{\text{мод.}1} = 5,72 + 2,17 \cdot (+1) - 0,73 \cdot (+1) + 0,1 \cdot (+1) - 0,73(+1) = 6,53;$$

$$y_{\text{мод.}2} = 5,72 + 2,17 \cdot (-1) - 0,73 \cdot (+1) + 0,1 \cdot (-1) - 0,73(+1) = 1,99;$$

$$y_{\text{мод.}3} = 5,72 + 2,17 \cdot (+1) - 0,73 \cdot (-1) + 0,1 \cdot (-1) - 0,73(-1) = 9,25;$$

$$y_{\text{мод.}4} = 5,72 + 2,17 \cdot (-1) - 0,73 \cdot (-1) + 0,1 \cdot (+1) - 0,73(-1) = 4,91.$$

Тоді s_{ad}^2 буде

$$s_{\hat{a}\hat{a}}^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (y_i - y_{i\hat{a}\hat{a}})^2}{N-r-1} = \frac{(7,27-6,53)^2 + (2,71-1,99)^2 + (8,52-9,25)^2 + (4,38-4,91)^2}{4-2-1} = 1,88.$$

Критерій Фішера

$$F = \frac{0,018}{1,88} = 0,0957 < F_{(0,05;1;4)} = 7,7086,$$

тобто модель (4) адекватна.

Таблиця 4.15

Значення $F_{(0,05;f_{ad};f_g)}$

$f_{в} = N$	$f_{ад} = N-r-1$	
	1	2
1	161,45	199,5
2	18,513	19,0
3	10,128	9,5521

4	7,7086	6,9443
5	6,6079	5,7861
6	5,9874	5,1433
7	5,5914	4,7374
8	5,3177	4,4590

Визначаємо значення $y_{\text{мод.}i}$ за моделлю (5)

$$y_{\text{мод.}1} = 5,88 + 2,05 \cdot (+1) - 0,78 \cdot (+1) + 0,19 \cdot (+1) - 0,78(+1) = 6,56;$$

$$y_{\text{мод.}2} = 5,88 + 2,05 \cdot (-1) - 0,78 \cdot (+1) + 0,19 \cdot (-1) - 0,78(+1) = 2,08;$$

$$y_{\text{мод.}3} = 5,88 + 2,05 \cdot (+1) - 0,78 \cdot (-1) + 0,19 \cdot (-1) - 0,78(-1) = 9,3;$$

$$y_{\text{мод.}4} = 5,88 + 2,05 \cdot (-1) - 0,78 \cdot (-1) + 0,19 \cdot (+1) - 0,78(-1) = 5,58.$$

Тоді s_{ad}^2 буде

$$s_{\bar{a}\bar{a}}^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (\bar{y}_i - y_{i\bar{a}\bar{a}})^2}{N - r - 1} = \frac{(7,34 - 6,56)^2 + (2,86 - 2,08)^2 + (8,52 - 9,3)^2 + (4,81 - 5,58)^2}{4 - 2 - 1} = 2,42.$$

Критерій Фішера

$$F = \frac{0,01}{2,42} = 0,0041 < F_{(0,05;1;4)} = 7,7086,$$

тобто модель (4.5) адекватна.

Переведення рівнянь (4.4) і (4.5) з кодіваними факторами у вигляд з натуральними змінними.

Для приведення рівнянь (4.4) і (4.5) з кодіваними факторами у вигляд з натуральними змінними використаємо залежність (4.2), за допомогою якої отримано значення кодових значень в залежності від натуральних,

Тоді при проведенні досліду на основі CO_2 отримуємо

$$y = 5,72 + 2,17(0,74 \ln q - 2,32) - 0,73(\ln A - 4,9) + 0,1(1,32 \ln \tilde{A} - 3,64) - \\ - 0,73(0,62 \ln P - 4,4) = 7,116 + 1,6 \ln q - 0,73 \ln A + 0,132 \ln \tilde{A} - 0,45 \ln P.$$

При переході до тривалості гасіння будемо мати

$$\ln \tau = \frac{e^{7,116} \ln q^{1,6} \ln \tilde{A}^{0,132}}{\ln A^{0,73} \ln P^{0,45}}.$$

Після потенціювання отримуємо

$$\tau = \frac{1230,6 q^{1,6} \tilde{A}^{0,132}}{A^{0,73} P^{0,45}}, \text{ мс.} \quad (4.10)$$

Основна увага нами спрямована на визначення значення тиску ударної хвилі в залежності від густини теплового потоку та концентрації складових вогнегасної речовини. Крім цього, ставиться умова, що процес гасіння повинен виконуватися на протязі часу $\tau \leq 1000$ мс.

В цьому випадку значення тиску ударної хвилі при використанні вогнегасної системи на основі газу CO_2 можна визначити за залежністю

$$P = \frac{1,59 q^{3,56} \tilde{A}^{0,29}}{A^{1,62}}, \text{ Па.} \quad (4.11)$$

При проведенні досліду на основі N_2 отримуємо

$$y = 5,88 + 2,05(0,74 \ln q - 2,32) - 0,78(\ln A - 4,9) + 0,19(1,12 \ln \tilde{A} - 3,4) - \\ - 0,78(0,62 \ln P - 4,4) = 7,72 + 1,52 \ln q - 0,78 \ln A + 0,21 \ln \tilde{A} - 0,48 \ln P.$$

При переході до тривалості гасіння будемо мати

$$\ln \tau = \frac{e^{7,72} \ln q^{1,52} \ln \tilde{A}^{0,21}}{\ln A^{0,78} \ln P^{0,48}} .$$

Після потенціювання отримуємо

$$\tau = \frac{2251,2q^{1,52} \tilde{A}^{0,21}}{A^{0,78} P^{0,48}} , \text{ мс.} \quad (4.12)$$

За аналогією значення тиску ударної хвилі при використанні вогнегасної системи на основі газу N_2 можна визначити за залежністю

$$P = \frac{5,41q^{3,17} \tilde{A}^{0,44}}{A^{1,62}} , \text{ Па.} \quad (4.13)$$

Для аналізу отриманих результатів розглянемо вплив складових залежностей (4.11) і (4.13) на величину тиску ударної хвилі P .

Розглянемо вплив густини теплового потоку q на значення ударної хвилі P за залежністю (4.11) при використанні вогнегасної системи на основі газу CO_2 . Приймаємо межі зміни $q = 6 \dots 18$ кВт/м²; $q = 6 \dots 50$ кВт/м² Визначаємо кількість точок для побудови графічних залежностей

$$N_{CO_2} = \sqrt{\frac{q_{\max}}{q_{\min}}} + 3 = \sqrt{\frac{18}{6}} + 3 \approx 5. \quad N_{CO_2} = \sqrt{\frac{q_{\max}}{q_{\min}}} + 3 = \sqrt{\frac{50}{6}} + 3 \approx 6$$

Інтервал варіювання

$$I = \frac{q_{\max} - q_{\min}}{N_{CO_2} - 1} = \frac{18 - 6}{5 - 1} = 3 \text{ кВт/м}^2; \quad I = \frac{q_{\max} - q_{\min}}{N_{CO_2} - 1} = \frac{50 - 6}{6 - 1} = 8,8 \text{ кВт/м}^2.$$

Тоді $q_1 = 6$ кВт/м²; $q_2 = 9$ кВт/м²; $q_3 = 12$ кВт/м²; $q_4 = 15$ кВт/м²; $q_5 = 18$ кВт/м².

Результати розрахунку за залежністю (4.11) зображені на рис. 4.9.



Рисунок – 4.9 Вплив потужності теплового потоку на величину тиску ударної хвилі: 1 – при $\Gamma(\text{CO}_2) = 3,5\%$; $A = 2,9 \text{ г/м}^3$; 2 – при $\Gamma(\text{CO}_2) = 9,75\%$; $A = 7,45 \text{ г/м}^3$; 3 – при $\Gamma(\text{CO}_2) = 16\%$; $A = 12 \text{ г/м}^3$

За аналогією було отримано графічну залежність впливу густини теплового потоку на величину тиску ударної хвилі при її використанні на основі газу N_2 (рис. 4.10).

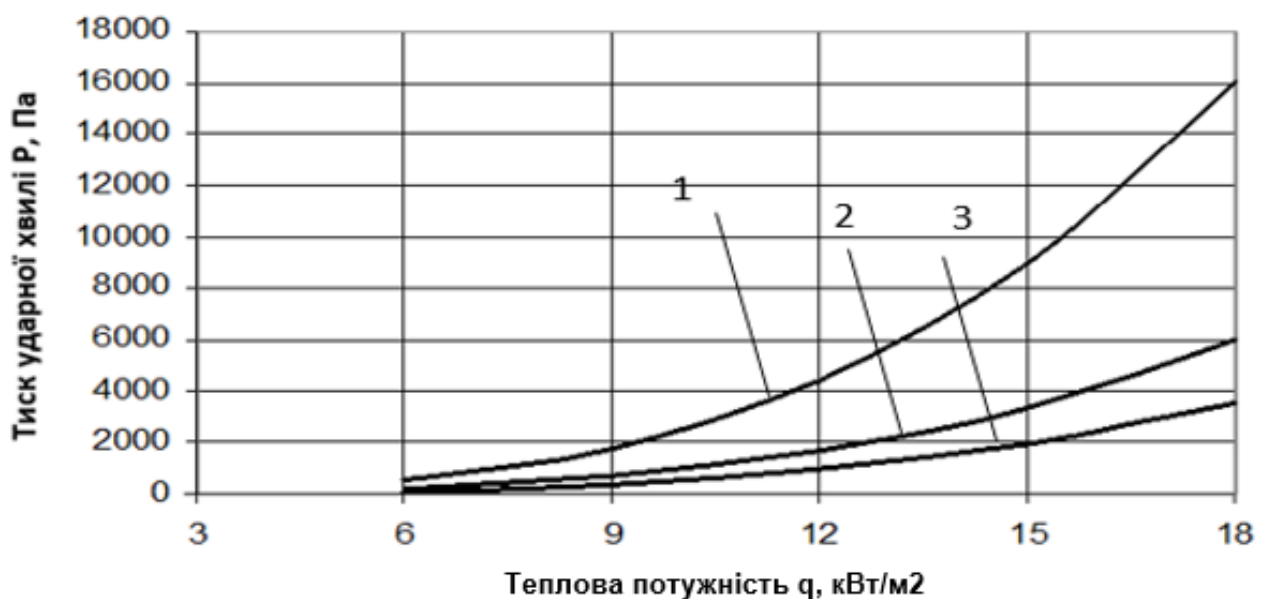


Рисунок 4.10 – Вплив теплової потужності полум'я на величину тиску вибухової хвилі: 1 – при $\Gamma(\text{N}_2) = 3,5\%$; $A = 2,9 \text{ г/м}^3$; 2 – при $\Gamma(\text{N}_2) = 12,25\%$; $A = 7,45 \text{ г/м}^3$; 3 – при $\Gamma(\text{N}_2) = 21\%$; $A = 12 \text{ г/м}^3$

Для випадку $q = 6 \dots 50 \text{ кВт/м}^2$: $q_1 = 8,8 \text{ кВт/м}^2$; $q_2 = 17,6 \text{ кВт/м}^2$; $q_3 = 26,4 \text{ кВт/м}^2$; $q_4 = 32,5 \text{ кВт/м}^2$; $q_5 = 41,2 \text{ кВт/м}^2$; $q_6 = 50 \text{ кВт/м}^2$. Результати розрахунку за залежністю (4.11) зображені на рис. 4.11.

$$P_1 = \frac{1,59q^{3,56} \tilde{A}^{0,29}}{A^{1,62}} = q^{3,56} \cdot 0,41; P_2 = q^{3,56} \cdot 0,12; P_3 = q^{3,56} \cdot 0,06.$$

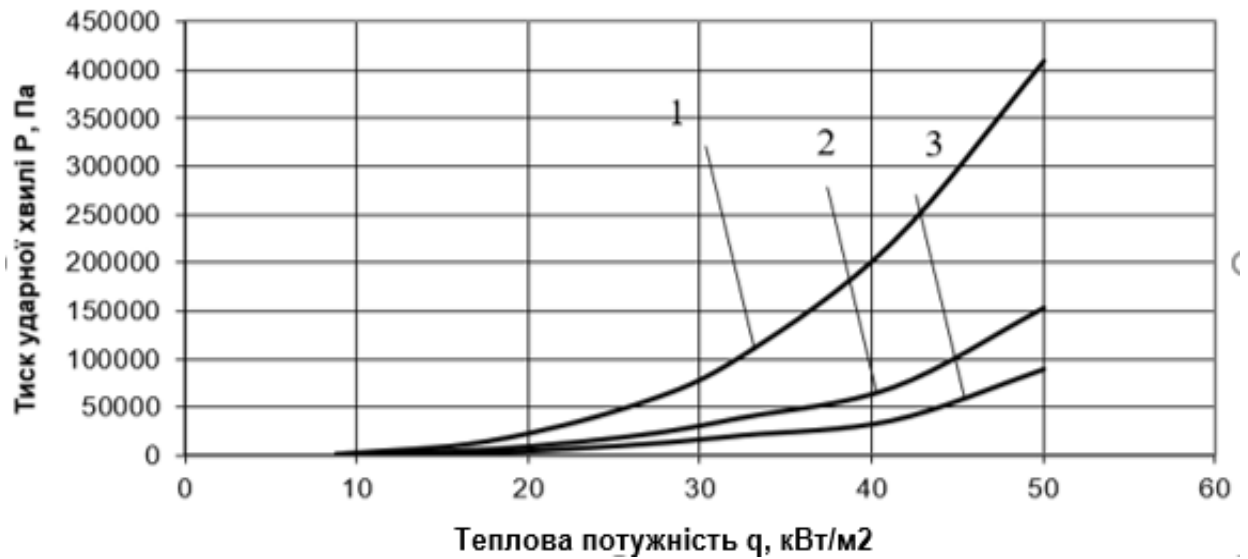


Рисунок 4.11 – Вплив теплової потужності полум'я на величину тиску ударної хвилі: 1 – при $\Gamma(\text{CO}_2) = 3,5\%$; $A = 2,9 \text{ г/м}^3$; 2 – при $\Gamma(\text{CO}_2) = 9,75\%$; $A = 7,45 \text{ г/м}^3$; 3 – при $\Gamma(\text{CO}_2) = 16\%$; $A = 12 \text{ г/м}^3$

За аналогією було отримано графічну залежність впливу густини теплового потоку на величину тиску ударної хвилі при використанні в її основі газу N_2 (рис 4.3).

$$P = \frac{5,41q^{3,17} \tilde{A}^{0,44}}{A^{1,62}}.$$

Визначаємо кількість результатів для побудови графічної залежності

$$N_{\text{N}_2} = \sqrt{\frac{q_{\max}}{q_{\min}}} + 3 = \sqrt{\frac{50}{6}} + 3 \approx 6.$$

Визначаємо значення інтервалу

$$I = \frac{q_{\max} - q_{\min}}{N_{\text{CO}_2} - 1} = \frac{50 - 6}{6 - 1} = 8,8 \text{ кВт/м}^2.$$

Будуємо три графічні залежності 1 – при $\Gamma(\text{N}_2) = 3,5\%$, $A = 2,9 \text{ г/м}^3$; 2 – при $\Gamma(\text{N}_2) = 12,25\%$, $A = 7,45 \text{ г/м}^3$; 3 – при $\Gamma(\text{N}_2) = 21\%$, $A = 12 \text{ г/м}^3$.

Розрахунки для кожної графічної залежності виконуємо з використанням залежності (4.13), які приводимо до виду

$$P_1 = \frac{5,41q^{3,17} \tilde{A}^{0,44}}{A^{1,62}} = q^{3,17} \cdot 1,68; P_2 = q^{3,17} \cdot 0,63; P_3 = q^{3,17} \cdot 0,37.$$

Результати розрахунків зображені на рис. 4.12.

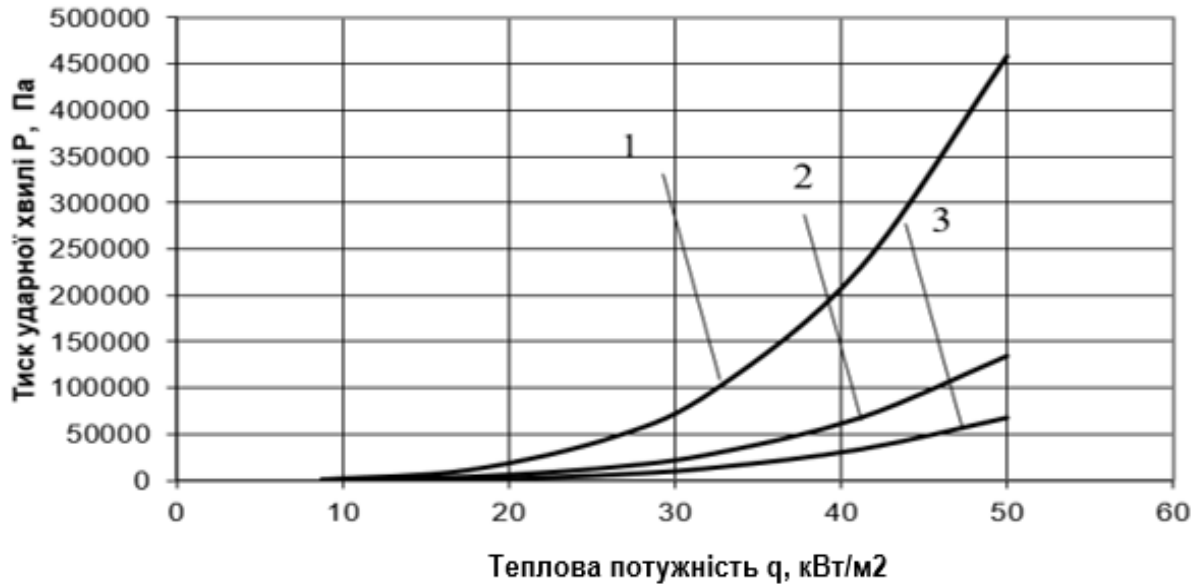


Рисунок 4.12 – Вплив теплової потужності полум'я на величину тиску ударної хвилі: 1 – при $\Gamma(\text{N}_2) = 3,5\%$; $A = 2,9 \text{ г/м}^3$; 2 – при $\Gamma(\text{N}_2) = 12,25\%$; $A = 7,45 \text{ г/м}^3$; 3 – при $\Gamma(\text{N}_2) = 21\%$; $A = 12 \text{ г/м}^3$

Визначаємо густину теплового потоку від факела полум'я за залежністю [340]

$$q = \frac{\sigma(T_{\phi}^4 - T_o^4)}{\frac{1}{\dot{A}_{\phi}} + \frac{1}{\dot{A}_o} - 1 + \frac{3\bar{\alpha}\delta}{4}}, \text{ Вт/м}^2$$

де $\sigma = 5,7 \cdot 10^{-8} \text{ Вт/(м}^2\text{К}^4)$ – стала Стефана–Больцмана; T_{ϕ} – температура факела, К; T_o – температура середовища, К; $A_{\phi} = 0,9$ – ступінь чорноти факела полум'я [341]; $A_o = 0,6$ – ступінь чорноти об'єкта, на який передається тепловий потік [341]; $\bar{\alpha}$ – осереднений за спектром коефіцієнт поглинання середовища (за даними роботи [342] $\bar{\alpha} = 0,45/l_c$, де l_c – найбільша товщина шару середовища між факелом полум'я і об'єктом, на який передається тепловий потік, м); x – дійсна відстань між факелом полум'я і об'єктом, м.

Після підстановки даних, отримуємо

$$q = \frac{5,7 \cdot 10^{-8} (893^4 - 293^4)}{\frac{1}{0,9} + \frac{1}{0,6} - 1 + \frac{3 \frac{0,45}{1,75}}{1,75}} = 16900 \text{ Вт/м}^2$$

Отже $q = 16,9 \text{ кВт/м}^2$.

Площа проекції факела S_{ϕ} при його ширині $0,04 \text{ м}$ і висоті $0,12 \text{ м}$ дорівнює $S_{\phi} = 0,0024 \text{ м}^2$. Тоді теплова потужність факела буде $Q = 16,9 \cdot 0,0024 = 0,06 \text{ кВт}$.

Відповідно до закону Ньютона-Рихмана кількість тепла q , яка віддається одиницею поверхні тіла за одиницю часу, пропорційна різниці температур поверхні тіла, наприклад, T_{ϕ} і навколишнього середовища T_0 . В цьому випадку густину теплового потоку можна визначити з використанням залежності

$$q = \alpha(T_{\phi} - T_0),$$

де α - коефіцієнт тепловіддачі при горінні факела, $\text{Вт/м}^2\text{К}$ ($\alpha = 25 \text{ Вт/м}^2\text{К}$ [343]).

Тоді

$$q = 25(893 - 293) = 15000 \text{ Вт/м}^2.$$

Отже $q = 15 \text{ кВт/м}^2$.

Для подальших розрахунків приймаємо $Q = 0,06 \text{ кВт}$. При використанні ударної хвилі в комбінації з CO_2 та відстані між факелом і системою для вибуху $L = 1,75 \text{ м}$, а сила тиску була при різних концентраціях CO_2 в межах $1900 \dots 11000 \text{ Па}$. В цьому випадку площа дії ударної хвилі складала $0,7 \text{ м}^2$. Тоді сила дії ударної хвилі на факел була в межах $1330 \dots 7700 \text{ Н}$.

Виходячи з цього положення бачимо що для руйнування і гасіння факела необхідно співвідношення між потужністю ударної хвилі та його руйнування і тепловою потужністю $k = 22167 \dots 128333 \text{ Н/кВт}$, або $31667 \dots 163332 \text{ Па/кВт}$.

4.3. Визначення вогнегасної ефективності одинарних ударних хвиль

За попередньо описаною методикою були отримані результати експериментів з визначення вогнегасної ефективності ударної хвилі потужністю від 150 Па . Результати вимірювання потужностей ударних хвиль датчиком ВМР-

180 [236] показані на графіках (рис. 4.13.) і (рис.4.14.), а результати експерименту з визначення вогнегасної ефективності ударної хвилі вказані в таблиці 4.16.



Рисунок 4.13 – Показник тиску ударної хвилі потужністю 215 Па, час ($\tau \approx 250$ мс)



Рисунок 4.14 – Показник тиску ударної хвилі потужністю 316 Па, час ($\tau \approx 200$ мс)

Як зазначалося вище, моменти, які підтверджували вогнегасну ефективність, а також перехідні стани нестабільності були зафіксовані камерою Nikon1 j4 з частотою 1200 кадрів в секунду. Відповідно було зафіксовано моменти нестабільності полум'я при тиску УХ - 190 Па (рис. 4.15), моменти гасіння

одинарною ударною хвилею потужністю УХ в 215 Па (рис. 4.16), і потужністю 316 Па (рис. 4.17). Інтенсивність випромінювання полум'я для зазначеного тигля становила 4 кВт/ м².

Таблиця 4.16

Вогнегасна ефективність УХ при впливі ударної хвилі потужністю від 100 Па до 215 Па на відстані 1,75 м під час гасіння n-гептану C₇H₁₆

№	P Па	Результат
1	100	Без змін
2	130	Невелика турбулізація полум'я.
3	160	Турбулізація, частковий відрив полум'я.
4	190	Турбулізація, крайня нестабільність, відрив полум'я. (рис. 4.15)
5	215	Фрагментація, гасіння полум'я через відрив (рис. 4.16)

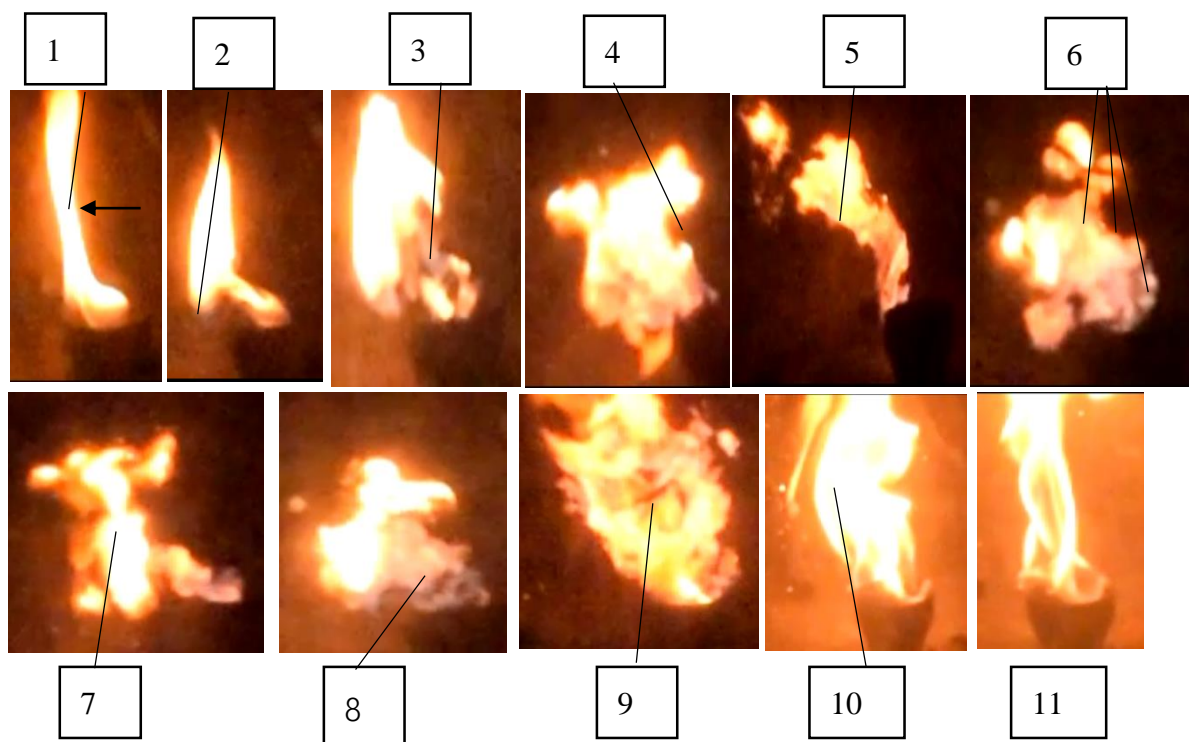


Рисунок 4.15 – Розкадрування моменту впливу на полум'я ударної хвилі

P = 190 Па, час ($\tau \approx 800$ мс): Стрілкою вказано напрямок руху ударної хвилі. F=4 кВт/м².

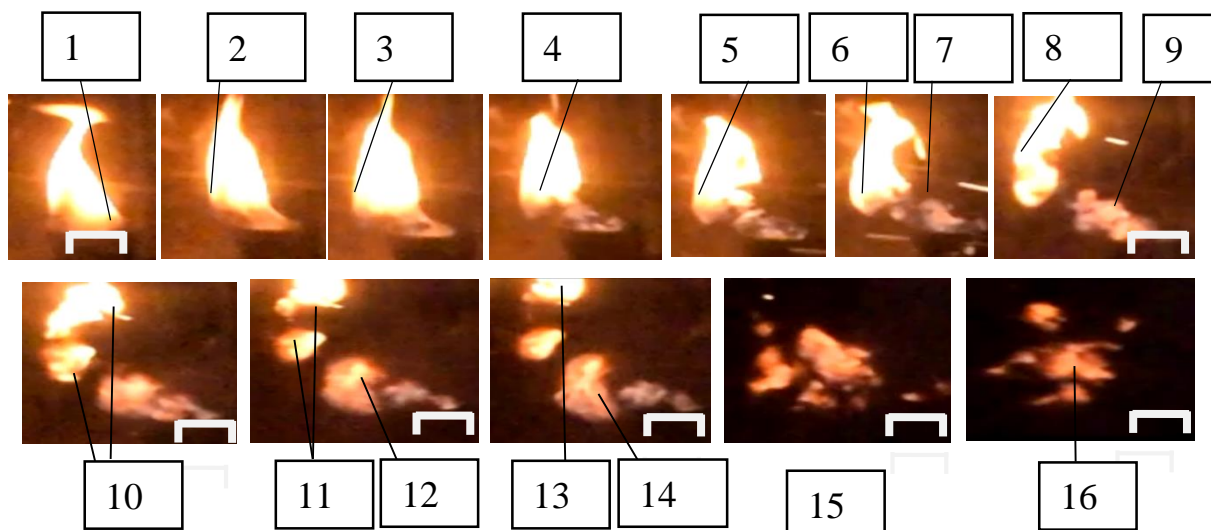


Рисунок 4.16 – Розкадрування процесу гасіння полум'я n-гептана потужністю 4 кВт/м² ударною хвилею з тиском $P = 215$ Па: Тривалість гасіння ($\tau \approx 350$ мс). Стрілкою вказано напрямок руху ударної хвилі

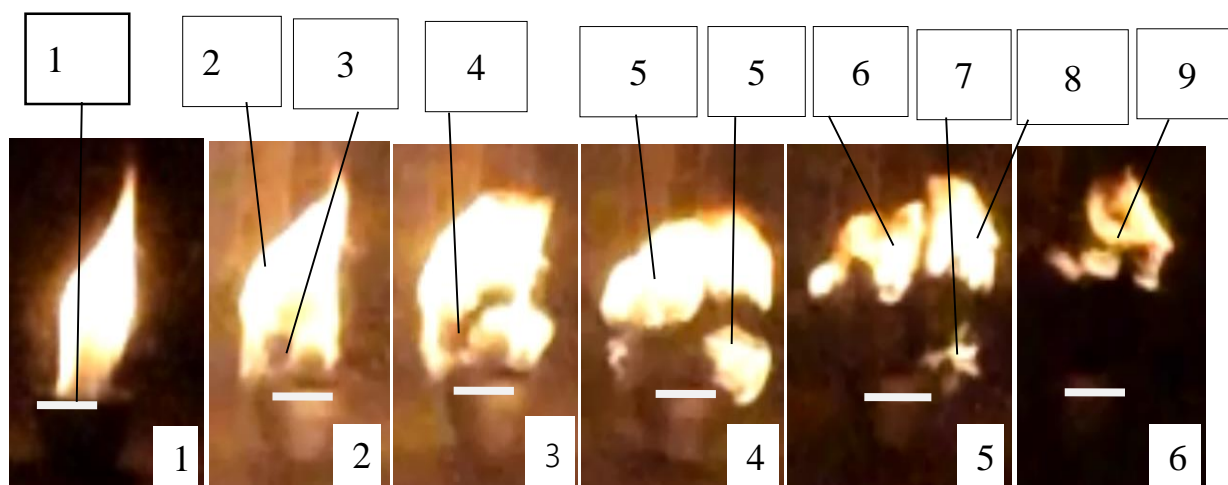


Рисунок 4.17 – Розкадрування моменту гасіння полум'я n-гептану C_7H_{16} ударною хвилею $P = 316$ Па. Час гасіння ($\tau \approx 300$ мс): Стрілкою вказано напрямок руху ударної хвилі. $F=4$ кВт/м²

Результати експерименту показали, що в діапазоні потужностей УХ від 100 до 160 Па полум'я відчуває певний вплив, що призводить до його незначної нестабільності, але не гасіння. При цьому полум'я турбулізується, збільшується в об'ємі, іноді трохи відривається, але до фрагментації, після якої відбувалося б гасіння, не доходить. Після цього полум'я стабілізується. Так при дії ударної хвилі з тиском у фронті близько 190 Па, час турбулізації полум'я дорівнював близько 800 мс. При розкадруванні, показаному на рисунку 4.15, можна помітити етапи проходження УХ через полум'я і його стан при цьому. Так на рисунку 4.15 (п. 1) показаний контакт фронту УХ з полум'ям. Стрілкою вказано місце розташування

тигля, більшою стрілкою напрямком руху ударної хвилі, видно характерну дугу підходу УХ до полум'я (час τ близько 5 мс); рис. 4.15 (п. 2) – видимий зсув полум'я від поверхні на цілий корпус тигля $\tau = 25$ мс; рис. 4.15 (п. 3) – початок відриву, стрілкою вказана зона відриву полум'я яка розтягується і збільшується в розмірах $\tau = 42$ мс; рис. 4.15 (п. 4) – частковий відрив і чітка турбулізація полум'я; рис. 4.15 (п. 5) – подовження полум'я, часткова фрагментація; рис. 4.15 (п. 6) – збільшення обсягу, турбулізація і фрагментація полум'я, зниження температури на окремих ділянках – зміна кольору. рис. 4.15 (п. 6-7) – збільшений об'єм, турбулізація, фрагментація; рис. 4.15 (п. 10,11) – повернення полум'я в стабільний стан $\tau = 800$ мс. Як видно на початковому етапі взаємодії з УХ, полум'я проходить декілька характерних етапів, які можуть призвести до гасіння на початковій стадії при достатній потужності УХ. Але якщо потужності УХ не вистачає – істотного відриву полум'я від поверхні горючої рідини не буде, і полум'я переходить у нестабільний стан, в якому перебуває близько секунди, і повертається у стабільний стан.

Наступна серія дослідів була проведена з УХ більшої потужності – 215 Па, вплив якої призвів до гасіння полум'я. При впливі ударної хвилі тиском близько 215 Па гасіння відбувалося таким чином рис. 4.16 (п. а) Початок впливу УХ на полум'я, стрілкою вказано місце тигля, більшою стрілкою напрямком руху ударної хвилі; рис. 4.16 (п. 2) – стрілкою вказано крайню точку зміщення полум'я при контакті з фронтом УХ; рис. 4.16 (п. 3) – подальше зміщення і частковий відрив полум'я; рис. 4.16 (п. 4) – відрив полум'я на розмір полум'я від тигля. Стрілкою вказано крайню точку зсуву; рис. 4.16 (п. 5) – відрив полум'я. Стрілкою вказано крайню точку від тигля; рис. 4.16 (п. 7). Відрив і початок фрагментації полум'я; рис. 4.16 (п. 7) – повний відрив полум'я. Початок фрагментації рис. 6.8 (п. 7) – поділ полум'я на 3 частини; рис. 4.16 (п. 11-13) – подальша фрагментація на більш дрібні частини; рис. 4.16 (п. 14-16) – розсіювання частин полум'я, гасіння.

У разі гасіння ударної хвилею тиском близько 215 Па процес можна поділити на 3 умовні етапи. Перший етап включає в себе вплив зони з надлишковим тиском на полум'я, ефект від якого видно на рис. 4.16 (п. 2-8). При

цьому відбувається відрив полум'я і утворення зони нагрітих газів і продуктів горіння між полум'ям і поверхнею тигля, що можна побачити по «слід», відірваного полум'я, який, судячи з кольору газу, має меншу температуру. При цьому в процесі відриву полум'я цей «слід» стає більш довгим, і паралельно відрив, в ньому відбувається з догоранням горючої суміші, що видно на рис. 4.16 (п. 11-14). Далі йде етап, на якому на полум'я діє зона релаксації, під дією якої полум'я розтягується і фрагментується (рис. 4.16, п. 10-14). При цьому чітко помітно утворення трьох окремих об'єктів полум'я (рис. 4.16, п. 11,12), а також (4.16, п. 13,14). Після проходження УХ утворені фрагменти полум'я догорають, розсіюються і гаснуть (рис. 4.16, п. 15,16).

При подальшому збільшенні потужності УХ процес гасіння відбувається трохи швидше за дещо іншим механізмом. Процес гасіння УХ потужністю близько 316 Па показаний на рис. 4.17. Як бачимо, при проходженні УХ через полум'я n-гептану, воно трохи зсувається від краю тигля – і вже починає фрагментуватися (час отримання кадру 20 мс) (рис. 4.17, п. б і в), далі йде подальша фрагментація полум'я і його поділ на окремі об'єкти (п. г-е). Далі полум'я чітко фрагментується на 3 фрагмента, які ще більше відриваються від краю тигля і розлітаються в різні сторони (рис. 4.17, п. 6-9). Після фрагментації полум'я гасне (рис. 4.17, п. 10).

Таким чином, на підставі проведених досліджень вогнегасної ефективності УХ впливає, що вогнегасна ефективність ударної хвилі в умовах випробувальної камери досить висока, як і теоретично було спрогнозовано і обґрунтовано. Експеримент показав, що дія ударної хвилі потужністю близько $\Delta P = 215$ Па (+35 Па) на полум'я n-гептану призводить до гасіння через видимий відрив і фрагментацію полум'я, а тиск в 316 Па призводить до більш ефективного гасіння і вже відразу після незначного відриву відбувається фрагментація.

В результаті розтягування полум'я в зоні горіння при проходженні УХ значно знижується адіабатна температура горіння. Таким чином, якщо температура горіння знизиться до 1000 С° то процес горіння припиниться, що цілком ймовірно при впливі УХ на полум'я і на простір навколо нього.

Зрозуміло, що дія ударної хвилі виведе газову суміш за межі стехіометричної концентрації, а й за межі області займання, відповідно збільшиться обсяг надлишкових компонентів реакції, які не прореагували, що підтверджується кадрами, на яких видно зміну кольору полум'я (рис. 4.17, п. 6, 8, 12, 14), що відповідно призведе до різкого зниження тепловиділення полум'я і, як наслідок, температури горіння, і в результаті до гасіння ударною хвилею, що підтверджується в роботах [344 - 346].

Існує велика ймовірність того, що в основному вогнегасний ефект ударної хвилі полягає в динамічному впливі газового середовища на полум'я. Аналогічний приклад – це вплив на полум'я вітру зі швидкістю 2 м/с: полум'я відхиляється на 45°, при цьому значно збільшується коефіцієнт захоплення повітря [118], який може призвести до різкого охолодження і відриву полум'я завдяки зменшенню швидкості згоряння. Подібні умови відтворюються при проходженні ударної хвилі через полум'я, але швидкість проходження ударної хвилі набагато більше, ніж 2 м/с і становить залежно від вибухової речовини, значення більше ніж швидкість звуку – 340 м/с (1 М) в 3 і більше разів. Зрозуміло, що різниця між ударною хвилею і подувом вітру полягає в потужності і швидкості впливу на полум'я. Дія ударної хвилі, як і бокового вітру, призведе до дестабілізації полум'я в просторі і втрати ним своєї відповідної структури. При впливі ударної хвилі в момент її проходження через полум'я може відбутися його часткова турбулізація. А при турбулізації, як відомо [118], відбувається захоплення ще великих газових обсягів, які оточують полум'я, що призведе до досягнення більш нестабільного стану, коли полум'я може відірватися. Виходячи з цього, очевидно, що ударна хвиля призведе до ефекту гасіння лише за умови відповідної потужності, вектора впливу, забезпечуючи відрив полум'я і, відповідно, подальше його гасіння. Але в цьому випадку можливе подальше відновлення горіння через повторне займання від бортів резервуара або нагрітих конструкцій.

Таким чином, для визначення ефективності гасіння запропонованим методом необхідно визначити безпечні і водночас ефективні з точки зору гасіння потужності ударних хвиль. Виходячи з цього, діапазон досліджуваних тисків був

визначений враховуючи безпечні потужності ударних хвиль, які не можуть призвести до значних руйнувань конструкцій і травматичних впливів на людину, що становить відповідно до 500 Па, а це 1/10 від безпечного тиску для людини [347].

Також зазначений діапазон тиску ударної хвилі підтверджується аналізом подібних досліджень, але з акустичним впливом на полум'я. Так в роботі [264] зазначено, що горіння дифузійного полум'я припиняється при мінімальному звуковому тиску близько 35-45 Па, але при цьому не зазначений час впливу, при якому горіння припинялося.

Таким чином з результатів експерименту видно, що використання ударних хвиль для гасіння є досить ефективним, але при цьому вони повинні володіти достатньою потужністю, щоб забезпечити ефект гасіння. Виходячи з результатів теоретичного аналізу проведеного в розділі 3, підвищення вогнегасної ефективності повинні забезпечити серії ударних хвиль, дію котрих експериментально показано в наступному підрозділі.

4.4. Визначення вогнегасної ефективності серій ударних хвиль

З метою визначення вогнегасної ефективності серій ударних хвиль та їх потужності та частоти впливу на дифузійне полум'я n-гептану C_7H_{16} (ДПГ), було проведено серію експериментів з різними значеннями потужності та частоти впливу ударних хвиль за попередньо наведеною методикою. Спочатку було проведено визначення вогнегасної здатності серій з 3-х ударних хвиль тиском УХ $P = 175$ Па. Рис.4.18.

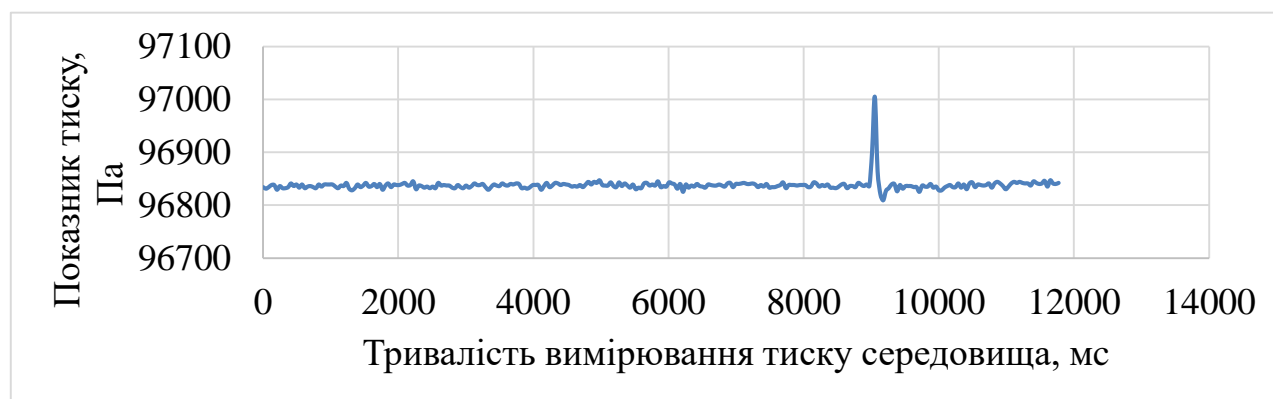


Рисунок 4.18 – Тиск серії з трьох УХ з тиском $P \approx 175$ Па

Результати експерименту (4.19) показали, що при збільшенні частоти впливу серії з 3-х ударних хвиль на дифузійне полум'я n-гептану до 8-12 Гц, гасіння відбувається при зниженні тиску одинарної УХ до 175 Па.

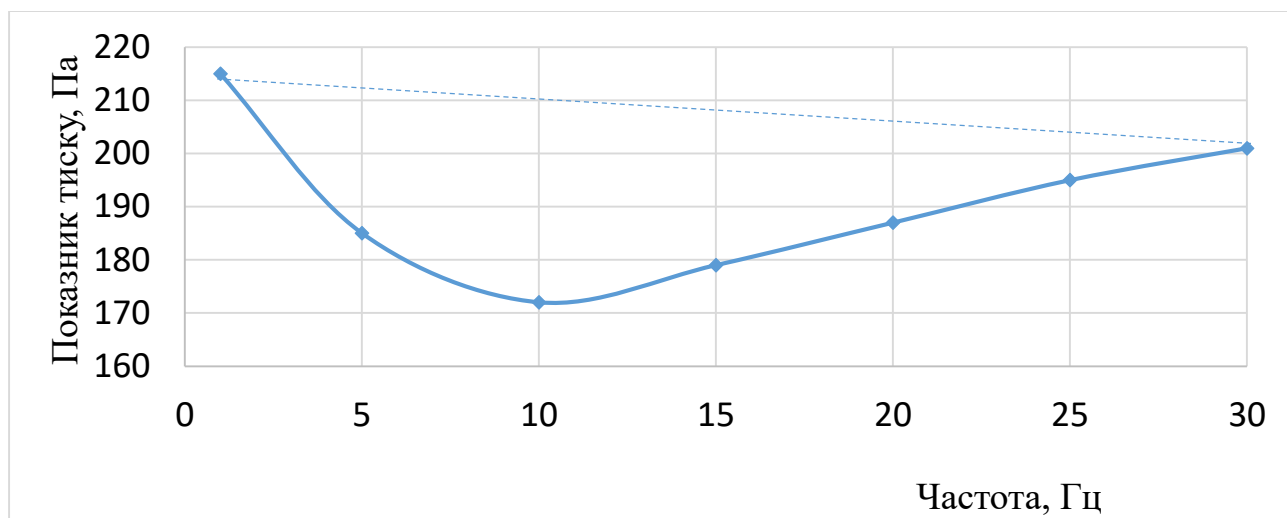


Рисунок 4.19 – Залежність вогнегасної ефективності УХ від їх частоти та потужності

Як видно з результатів експерименту (рис. 4.19), збільшення частоти дії УХ на полум'я приводить до зменшення потужності окремої ударної хвилі в серії. Збільшення частоти УХ до 10 Гц дає змогу зменшити тиск у фронті одинарної

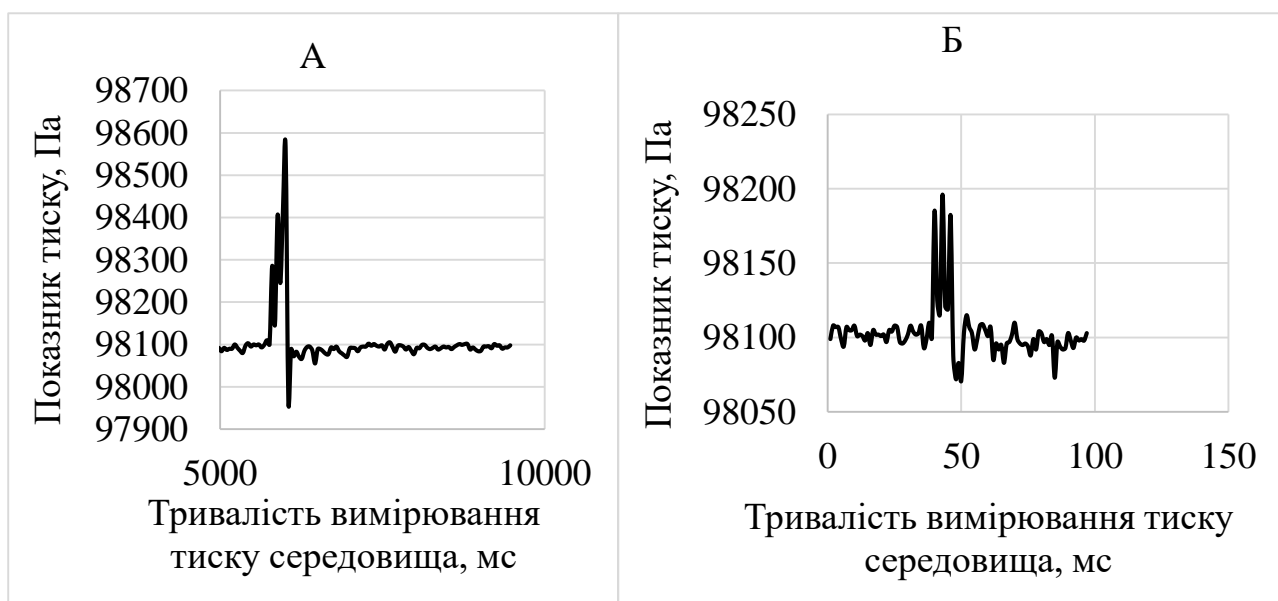


Рисунок 4.20 – Збільшення тиску при проходженні серії з трьох УХ з частотою 20 Гц та вихідною потужністю одинарної УХ ≈ 175 Па (А – 20 Гц, Б – 10 Гц)

УХ до 172 Па. Подальше збільшення частоти впливу УХ на ДПГ не приводить до зменшення тиску в фронті УХ. При проходженні серій УХ з високою частотою відбувається збільшення їх кінцевого тиску внаслідок їх накладення в просторі біля стінки. Так при частоті в 20 Гц кінцевий тиск біля стінки камери в результаті збільшується до 560 Па, що видно з графіка за результатами експерименту на (рис. 4.20, п. а). Вплив на полум'я серій УХ забезпечує їх накладення з отриманням кінцевого тиску значно вищого за первинний тиск одинарної хвилі, що стверджує автор [240], який вказує, що пропускання через газ потужних ударних хвиль одна за одною приводить до збільшення тиску до 4 разів. При дії на полум'я серії 3 УХ з частотою 10 Гц та тиском біля 200 Па збільшення тиску майже не відбувається, що також видно графіка (рис. 4.20, п. б).

Як видно з графіка (рис. 4.20, п. 1) кінцевий тиск після 3-ї хвилі не відрізняється від тиску одинарної ударної хвилі. При цьому гасіння полум'я відбувається ймовірно від збільшення тривалості часу впливу на нього надлишкової фази який становить в сумі до 300 мс. Після 1 ударної хвилі полум'я відривається встигає фрагментуватись і не повертається у вихідне положення. Після цього фрагменти полум'я догорають, а потім проходять ще 2 УХ, які остаточно його гасять. Щодо тривалості дії надлишкової фази тиску у фронті УХ на полум'я, то автори роботи [316] вказують, що збільшення тривалості фази надлишкового тиску дає змогу гасити більші розміри полум'я, але при цьому автори застосовували значно потужніші заряди вибухової речовини.

Таким чином, для гасіння полум'я в зазначеному тиглі будуть оптимальними значення тиску УХ в діапазоні від 170 Па до 180 Па, при частоті впливу УХ в діапазоні від 8 до 12 Гц.

Для виявлення особливостей гасіння серій УХ при визначених частотах на ДПГ було зафіксовано та проведено розкадрування процесу гасіння ДПГ при значеннях частоти УХ в 10 Гц, (рис 4.21) та 20 Гц (рис 4.22).

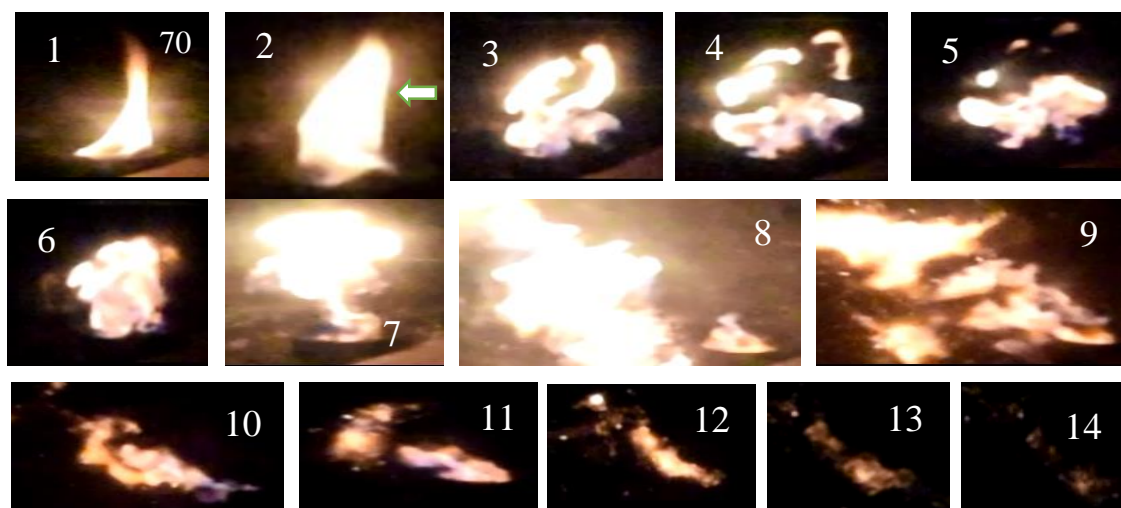


Рисунок 4.21 – Розкадрування процесу гасіння дифузійного полум'я гептану серіями по 3 ударні хвилі з частотою 10 Гц

Як видно з розкадрування, вплив серії УХ на ДПГ приводить до значної турбулізації полум'я, що видно на рис.4.21. (п. 3-12). При дії на полум'я першої УХ (4.21, п. 2 - 6) відбувається значне збільшення розмірів полум'я, його фрагментація під дією УХ та відрив від зрізу тигля. Наступна УХ (рис. 4.21, п. 7-9) приводить до зміщення відірваного полум'я від тигля в протилежну сторону від напрямку УХ. При цьому видно, що полум'я відхиляється під кутом приблизно 45° від тигля. Фрагментація при цьому посилюється, полум'я починає згасати, оскільки в зону горіння не надходить горюча пара n-гептану. Остання – третя УХ (рис.4.21, п. 12) завершує процес гасіння ДПГ повністю фрагментуючи та гасячи невеликий фрагмент полум'я, який залишився після дії 2-ї УХ. Час гасіння серією з 3-х УХ становить приблизно 320 мс, що в порівнянні з дією одинарної УХ, але більшої потужності УХ [348] є більший на 70 мс. Таким чином, дія на ДПГ серії з 3-х УХ потужністю близько 170 Па приводить до гасіння ДПГ після проходження 3-ї УХ внаслідок відриву та фрагментації полум'я. На рис. 4.20 було показано кінцевий тиск УХ близько 195 Па та частотою 20 Гц. Результати розкадрування впливу УХ з частотою 20 Гц на полум'я показані на рис. 4.22. При цьому тигель з n-гептаном був встановлений безпосередньо біля стінки камери.

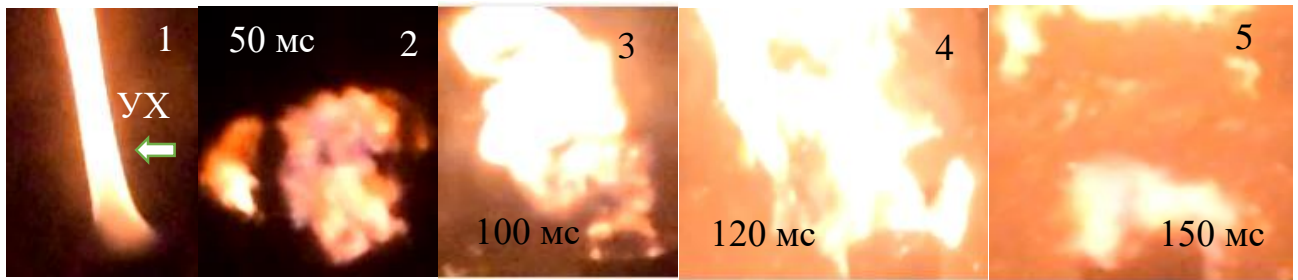


Рисунок 4.22 – Розкадрування дії серії 3 ударних хвиль з частотою 20 Гц на дифузійне полум'я n-гептана

Як видно з рис. 4.22, при проходженні УХ з частотою 20 Гц процес відриву полум'я відбувається так само (п. 2), але до остаточного гасіння це не приводить, оскільки після відриву полум'я значно турбулізується та збільшується в розмірах. Як видно з розкадрування, розміри полум'я після проходження 2-ї УХ (п. 4) значно збільшуються, що триває до 150 мс, коли проходить остання ударна хвиля (п. 5). При цьому вигоряння горючої суміші відбувається не повністю, полум'я продовжує існувати, але дія УХ закінчується.

Таким чином, гасіння серіями 3-х УХ з частотою 20 Гц та зазначеним тиском є менш ефективним, ймовірно внаслідок короткого часу впливу та недостатнього часу на вигорання фрагментів полум'я в повітрі після дії серії з 3-х УХ на ДПГ. Експериментально встановлено, що дія серій з 3-х ударних хвиль з тиском в фронті близько 172 Па при частоті 8 - 15 Гц має найвищу вогнегасну ефективність в умовах експериментальної камери.

4.5. Визначення вогнегасної ефективності комбінованих систем одинарних ударних хвиль та вогнегасних газів

Для підтвердження попередньо теоретично обґрунтованого підвищення вогнегасної ефективності газів CO_2 і N_2 під дією ударної хвилі, за основу були взяті експериментальні дані вогнегасної здатності одинарної УХ.

Виходячи з результатів експерименту з гасіння дифузійного п-гептанового полум'я самою УХ, було проведено експериментальне визначення вогнегасної ефективності газів CO_2 і N_2 при впливі на полум'я ударною хвилею в їх середовищі. Спочатку визначали вогнегасну ефективність комбінованих систем, ударна хвиля – CO_2 або N_2 при значеннях тиску у фронті УХ приблизно 125 Па (рис.4.23) і 180 Па (рис. 4.24). Поведінка полум'я при впливі на нього УХ з тиском 125 Па 180 Па залежно від зміни концентрації CO_2 і N_2 показана в таблицях 4.17 і 4.18, а на графіках (рис. 4.25, 4.26) показана залежність вогнегасної концентрації CO_2 і N_2 від потужності УХ.



Рисунок 4.23 – Ударна хвиля з надлишковим тиском 125 Па



Рисунок 4.24 – Ударна хвиля з надлишковим тиском 180 Па

Вплив ударної хвилі потужністю в 125 і 180 Па на вогнегасну ефективність CO₂ при гасінні дифузійного полум'я n-гептану C₇H₁₆

№	% CO ₂	Результат впливу УХ P = 125 Па	% CO ₂	Результат впливу УХ P = 180 Па
1	14	Нестабільність полум'я	3	Нестабільність полум'я
2	16	Частковий відрив полум'я	6	Частковий відрив полум'я
3	20,3	Гасіння відривом	8,2	Гасіння відривом
4	21,2	Миттєве гасіння	10,2	Миттєве гасіння

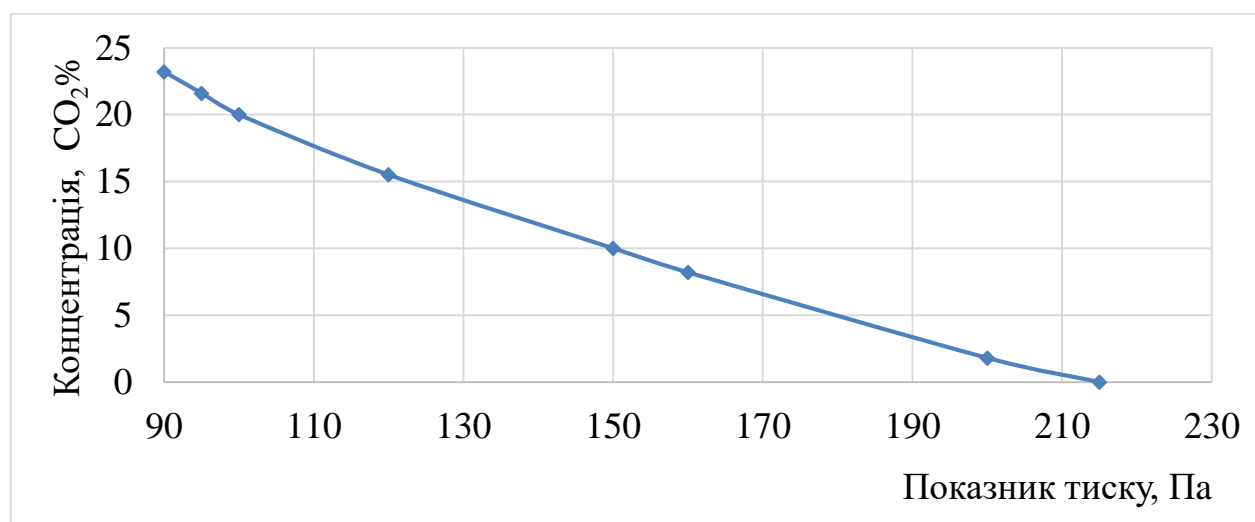


Рисунок 4.25 – Залежність вогнегасної концентрації CO₂ для n-гептану (C₇H₁₆) від потужності ударної хвилі (Па)

Вплив ударної хвилі потужністю в 125 і 180 Па на вогнегасну ефективність N₂ при гасінні дифузійного полум'я n-гептану C₇H₁₆

№	% N ₂	Результат впливу УХ P = 125 Па	% N ₂	Результат впливу УХ P = 180 Па
1	24	Нестабільність полум'я	12	Нестабільність полум'я
2	26	Частковий відрив полум'я	14	Частковий відрив полум'я
3	28	Гасіння відривом	15,4	Гасіння відривом
4	30,2	Миттєве гасіння	18	Миттєве гасіння

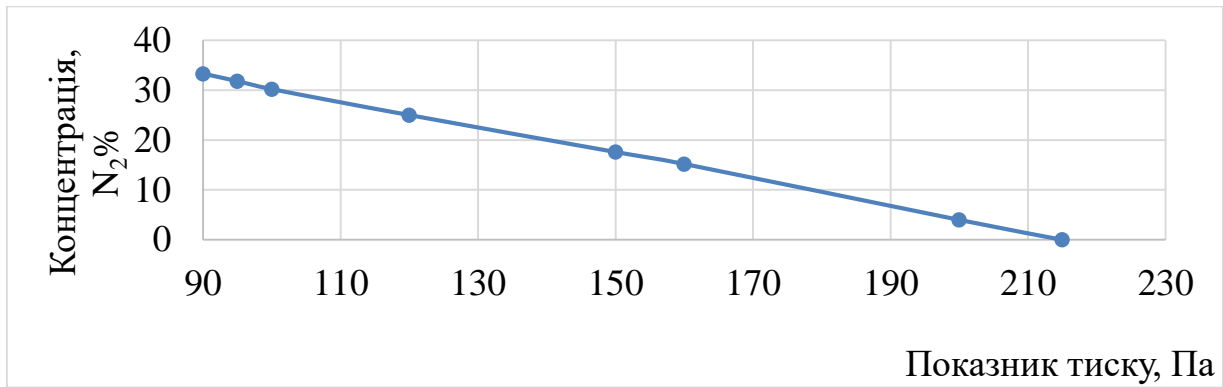


Рисунок 4.26 – Залежність вогнегасної концентрації N₂ для n-гептану (C₇H₁₆) від потужності ударної хвилі

Процес гасіння полум'я фіксували за допомогою камери Nikon 1 J4. Відеофіксація дозволяє визначити особливості поведінки полум'я в момент його гасіння при дії на нього УХ в зазначених умовах. На рис. 4.27 показано розкадрування етапів гасіння дифузійного полум'я CO₂ при дії полум'я n-гептану УХ з тиском у фронті 180 Па.

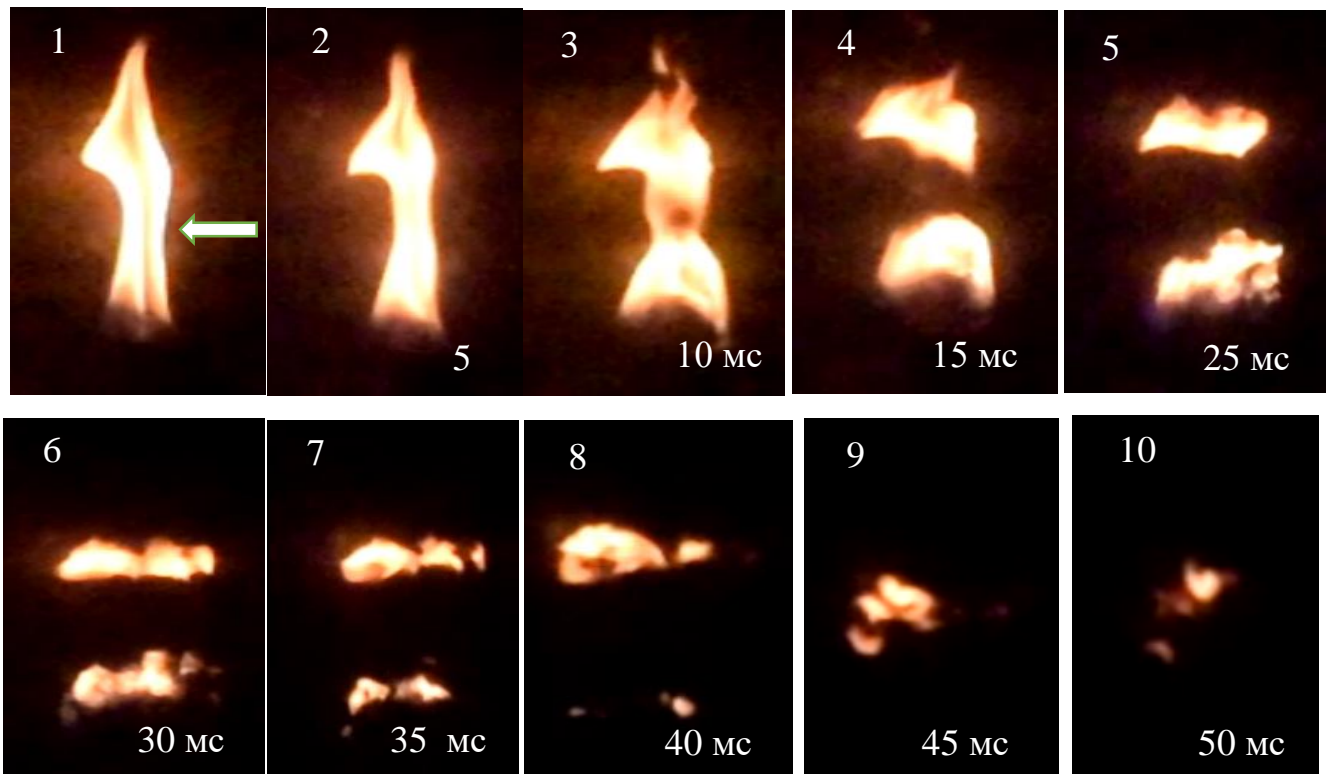


Рисунок 4.27 – Розкадрування у часі моменту гасіння дифузійного полум'я n-гептану ударною хвилею з потужністю $P = 180$ Па і концентрацією CO₂ = 8.2%, Час гасіння ≈ 50 мс: Стрілкою вказано напрямок ударної хвилі

Таким чином з таблиць 4.17. і 4.18. видно, що вогнегасна дія ударної хвилі з тиском у фронті в 125 Па забезпечує гасіння полум'я n-гептану при 20,3% CO₂ і 30,2% N₂. При збільшенні потужності ударної хвилі до 180 Па відбувається зменшення вогнегасної концентрації CO₂ до 8,2 %, а N₂ - до 15,4 % [349].

Для підтвердження висунутих вище припущень про дії комбінованої системи УХ + вогнегасний газ, на полум'я, було проаналізовано розкадрування процесу гасіння при дії УХ з тиском 180 Па і газами CO₂ і N₂ на дифузійне полум'я n-гептану. При розкадруванні гасіння CO₂ (рис. 4.27) було виявлено, що гасіння полум'я УХ відбувається при тиску в 180 Па за 50 мс, що менше в 7 разів ніж при гасінні самою лише УХ (≈350 мс) без газу. При цьому при порівнянні рисунків видно, що полум'я у всіх випадках за наявності CO₂ фрагментується на 2 великі частини (рис. 4.27, п. 4 - 6), які пізніше теж незначно фрагментуються (рис. 4.27, п. 7 - 8), зменшуються в розмірах (рис. 4.27, п. 9 - 10) і гаснуть. Відмінністю у гасінні УХ з добавкою газу є те, що при гасінні УХ з CO₂ або N₂, і самої УХ, фрагментація в останньому випадку виявляється більшою, оскільки полум'я ділиться на кілька частин, що можна побачити на рисунку 4.16, п. 14 – 16. Крім цього, як видно з рис. 4.27, при гасінні з наявністю газу, (рис. 4.27, п. 2 – 8), полум'я майже не зміщується від рівня тигля, не нахилиється і не сильно фрагментується з нахилом, як у випадку гасіння лише самою УХ (рис. 4.27, п. 10 - 16), а відразу поділяється на дві великі частини (рис. 4.27, п. 4 - 5) і гасне за 50 мілісекунд. Далі було проведено розкадрування процесу гасіння дифузійного полум'я азотом при його концентрації 15,5% і потужності ударної хвилі в 180 Па. У випадку з азотом (рис. 4.28) процес майже повністю повторюється, полум'я так само поділяється на дві великі частини (рис. 4.28), після чого вони незначно зменшуються в розмірах, відриваються і гаснуть за 84 мілісекунди (рис. 4.28).

Виходячи з результатів експерименту, і як видно з розкадрування процесу гасіння УХ з добавкою CO₂ або N₂, час гасіння відповідно зменшується у 7 і 4,2 рази порівняно з часом гасіння самою УХ. При цьому, як видно з результатів розкадрування, час фрагментації без дії газів значно більший, і при порівнянні з

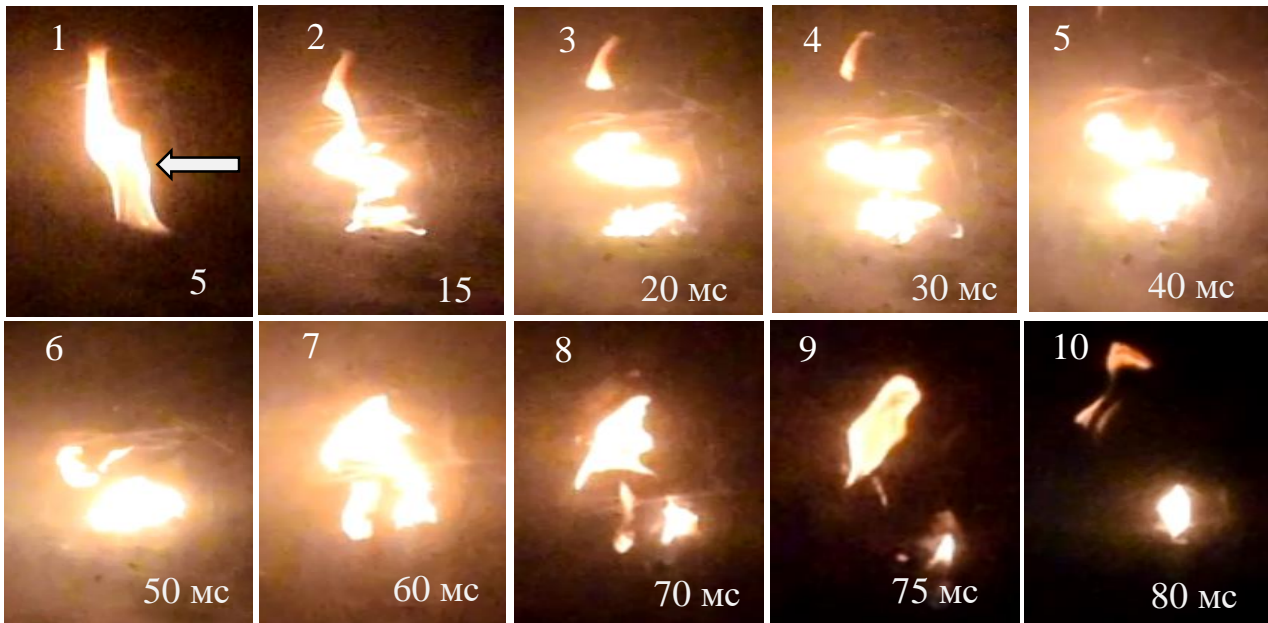


Рисунок 4.28 – Розкадрування в часі моменту гасіння дифузійного полум'я n-гептану ударною хвилею з потужністю $P = 180$ Па і концентрації $N_2 = 23.4\%$. Час гасіння ≈ 84 мс: Стрілкою зазначений напрямок ударної хвилі

комбінованим гасінням ударною хвилею і газами, у випадку з CO_2 фрагментація починається на 5 мілісекунді, з N_2 – на 15 мілісекунді, а в разі гасіння самою ударною хвилею помітна фрагментація полум'я починається на 100-110 мілісекунді. Значне зменшення часу початку фрагментації при додаванні газів вказує на посилення вогнегасної дії ймовірно в результаті значного збільшення тепловіддачі у зоні горіння, збільшення щільності газового середовища у фронті ударної хвилі, введення в зону горіння інертних компонентів, які поглинають тепло.

Таким чином, беручи до уваги значне зниження вогнегасної концентрації CO_2 і N_2 , можна стверджувати, що підвищення вогнегасної ефективності такої комбінованої системи досягається внаслідок синергізму між вогнегасними газами і УХ. При цьому вогнегасні гази CO_2 і N_2 забезпечують додатковий вогнегасний ефект у результаті спільної дії вищеперерахованих чинників (табл. 3.4) що призводить до ймовірного значного підвищення енергії активації реакції горіння, та значного ускладнення поширення полум'я неоднорідною газовою сумішшю, яка виникає після проходження УХ через полум'я.

Отже, ударна хвиля незначної потужності (215 Па) призведе до значного підвищення вогнегасної ефективності CO_2 і N_2 в умовах камери, при гасінні модельного вогнища горіння n-гептану в тиглі. При цьому ударні хвилі більшої потужності можуть значно підвищувати вогнегасну ефективність газових вогнегасних речовин, коли гасіння проводиться у великих масштабах, або в прихованих чи важкодоступних місцях завдяки їх відбиванню від стінок, обладнання, конструкцій, та інших перешкод, при значно нижчих концентраціях вогнегасних газів. При цьому у першу чергу, необхідно звернути увагу на те, що зниження вогнегасної концентрації газових вогнегасних речовин є прямим підтвердженням того, що дія УХ призведе до підвищення енергії активації, в основному внаслідок збільшення концентрації вогнегасного газу, який буде потрапляти в зону горіння в результаті фрагментації полум'я і створення по всьому його фронту умов для виникнення нестабільності Ріхтмаєра – Мешкова, що призведе до фрагментації фронту горіння, його охолодження і гальмування реакції завдяки взаємопроникненню газів і їх турбулентному перемішуванню в перехідному шарі «полум'я–атмосфера». Таким чином, одночасний вплив усіх зазначених факторів значно підвищує ефективність гасіння газовими вогнегасними речовинами при впливі на полум'я ударної хвилі. Як було визначено в попередньому розділі, ударна хвиля при тиску 190 Па до гасіння не призводить, але як показали результати експерименту, при додаванні CO_2 або N_2 був встановлений факт гасіння дифузійного полум'я n-гептану навіть при незначних їх концентраціях (рис. 4.25, 4.26). При цьому значно зменшується час гасіння, і якщо порівнювати гасіння ударної хвилею з тиском в 316 Па то час гасіння навіть при цьому становив близько 300 мілісекунд. Крім того, прискорюється початок фрагментації полум'я і зменшується необхідний для гасіння тиск у фронті ударної хвилі, при цьому зміщення полум'я не спостерігалось, як і у випадку гасіння менш потужною УХ з тиском 215 Па.

Відповідно отримані залежності, показали значне підвищення вогнегасної ефективності CO_2 і N_2 навіть при досить незначному тиску у фронті ударної хвилі.

4.6. Визначення вогнегасної ефективності комбінованих систем гасіння із серій ударних хвиль та вогнегасних газів

Далі було експериментально визначено вогнегасну ефективність комбінованих вогнегасних систем - газова об'ємна вогнегасна речовина (CO_2 , N_2) та серія потрійних ударних хвиль з частотою 1 - 30 Гц при гасінні дифузійного полум'я n-гептану. Результати експерименту показані на рис. 4.29 та 4.30.

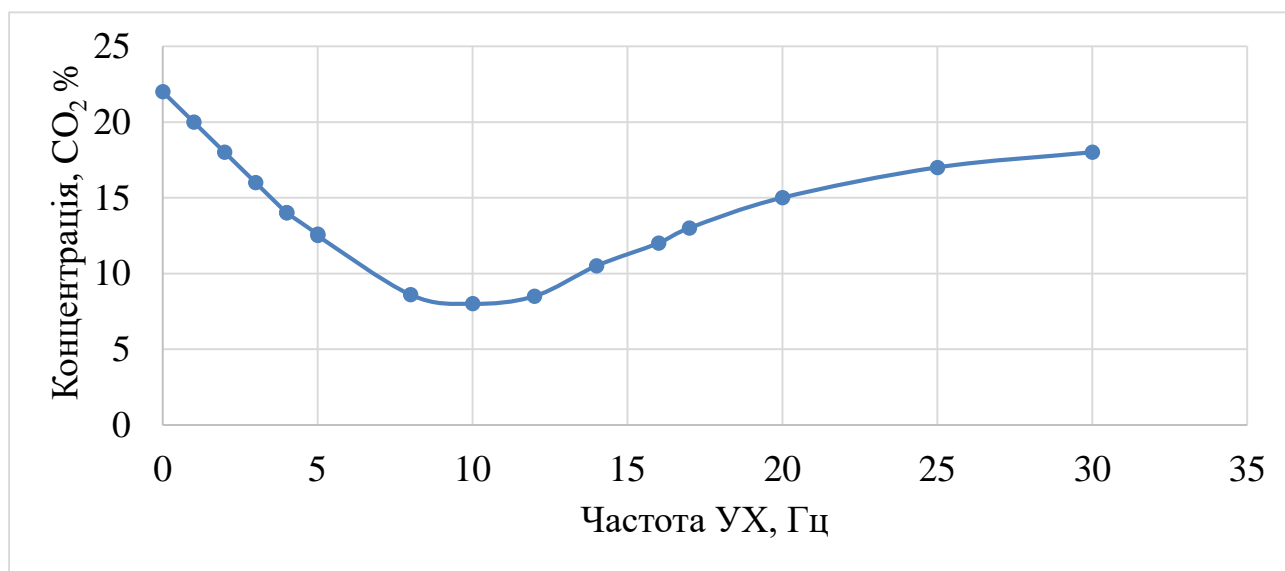


Рисунок 4.29 – Вогнегасна концентрація CO_2 , при впливі на ДПГ ударних хвиль з різною частотою

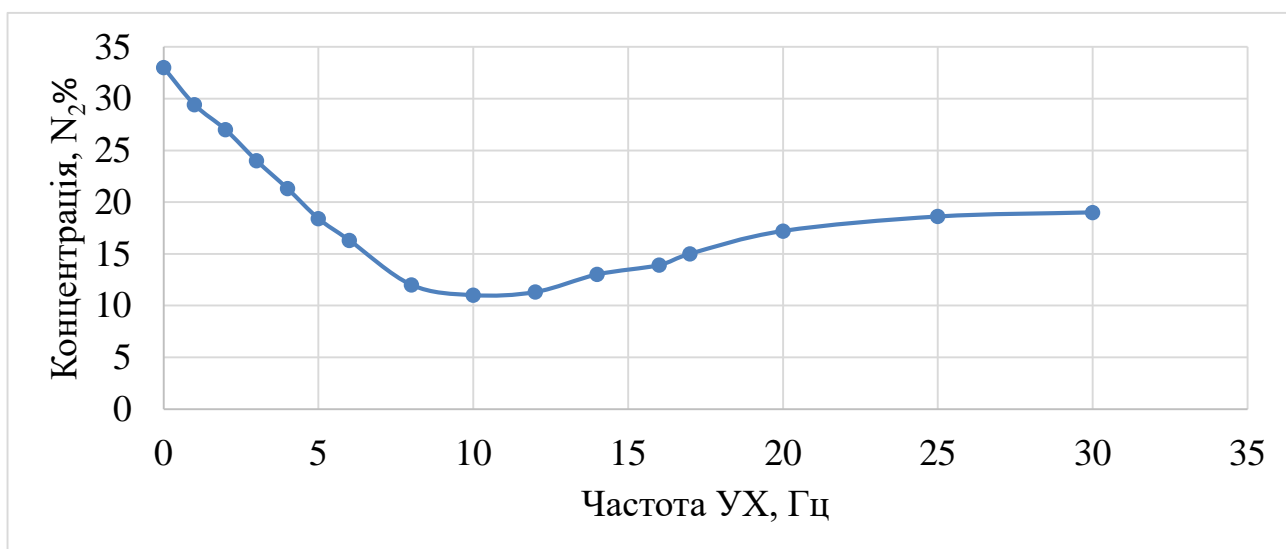


Рисунок 4.30 – Вогнегасна концентрація N_2 , при впливі на дифузійне полум'я гептану ударних хвиль з різною частотою

Результати експериментів показали, що серії УХ значно підвищують вогнегасну ефективність газів CO_2 (рис. 4.29) та N_2 (рис. 4.30).

Як видно з результатів експерименту, при частоті УХ в діапазоні 8-12 Гц спостерігається значне зниження вогнегасної концентрації зазначених газів. Так комбінована система з параметрами (концентрація CO_2 - 4,8 % $P(\text{УХ}) = 170$ Па $F(\text{УХ}) = 10$ Гц) забезпечує гасіння ДПГ в тиглі з розмірами 40 на 35 мм та $I = 4$ кВт/м². Щодо гасіння азотом, то комбінований вплив системи з параметрами (концентрація N_2 - 10.2 % $P(\text{УХ}) = 170$ Па $F(\text{УХ}) = 10$ Гц також забезпечує гасіння ДПГ в зазначеному тиглі.

Таким чином, як видно з результатів експерименту, комбінована дія УХ в діапазоні частот 8-12 Гц та з тиском близько 170 Па приводить до гасіння в зазначеному тиглі. Якщо порівняти розкадрування процесу гасіння ДПГ без дії об'ємної вогнегасної речовини та з нею то чітко видно різницю в поведінці полум'я, яка полягає у зміні кольору полум'я без добавки вогнегасної речовини при значному зменшенні тиску в фронті УХ, при якому відбувається гасіння. Синє забарвлення полум'я при дії на нього УХ вказує на більш повне змішування суміші внаслідок турбулізації полум'я при дії фронту УХ. Це збігається з твердженням авторів [350, 351], які вказують, що акустичний вплив на полум'я, який дещо подібний до дії УХ і приводить до змін в полум'ї у вигляді його нестійкості, а також турбулізації, які на їх думку приводять до кращого перемішування горючого, і як наслідок до підвищення температури та більш повного згоряння частинок вуглецю. При дії звукового випромінювання зміна коефіцієнтів дифузії в полум'ї може досягти 31% [316]. Автори роботи [352, 353] проводили дослідження з впливу вихрового кільця УХ на дифузійне полум'я пропану. В результаті було встановлено, що ударна хвиля може ефективно гасити дифузійне полум'я пропану при швидкості в 10-40 м/с. У всіх випадках швидкість УХ падала з відстанню пройденою УХ від початкової швидкості 1.9 М вже на відстані 3 метри швидкість падає до 1,1 М.

Загалом над вивченням дії ударних хвиль при гасінні займань та зокрема лісових пожеж працювали автори робіт [257-259]. Висновком з цих робіт є те, що

для гасіння необхідна потужна ударна хвиля, яка забезпечить остаточний відрив полум'я, а також те, що вплив ударної хвилі на дифузійне полум'я приводить до її збивання, але за умови недостатньої потужності ударної хвилі горіння може відновитись. На відміну від дії самої лише УХ, дія комбінованої системи може забезпечити відрив при значно менших значеннях тиску в фронті УХ та значно менших концентраціях вогнегасних газів, що видно з результатів та розкадрування на рис. 4.31, та 4.32.

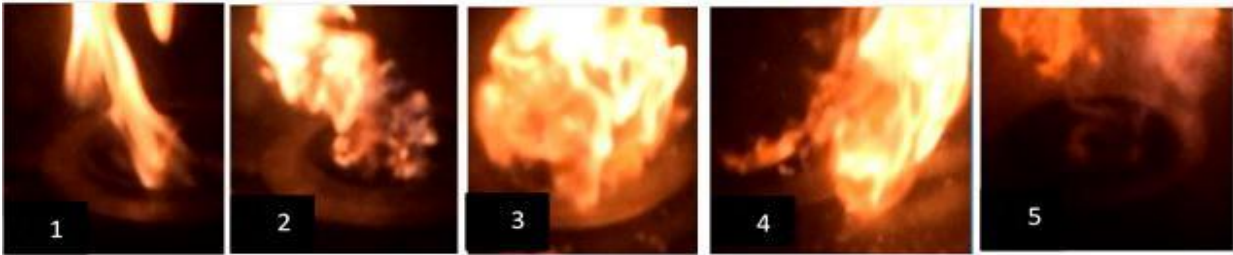


Рисунок 4.31 – Розкадрування при гасінні CO_2 , та впливі на ДПГ ударних хвиль з частотою 10Гц

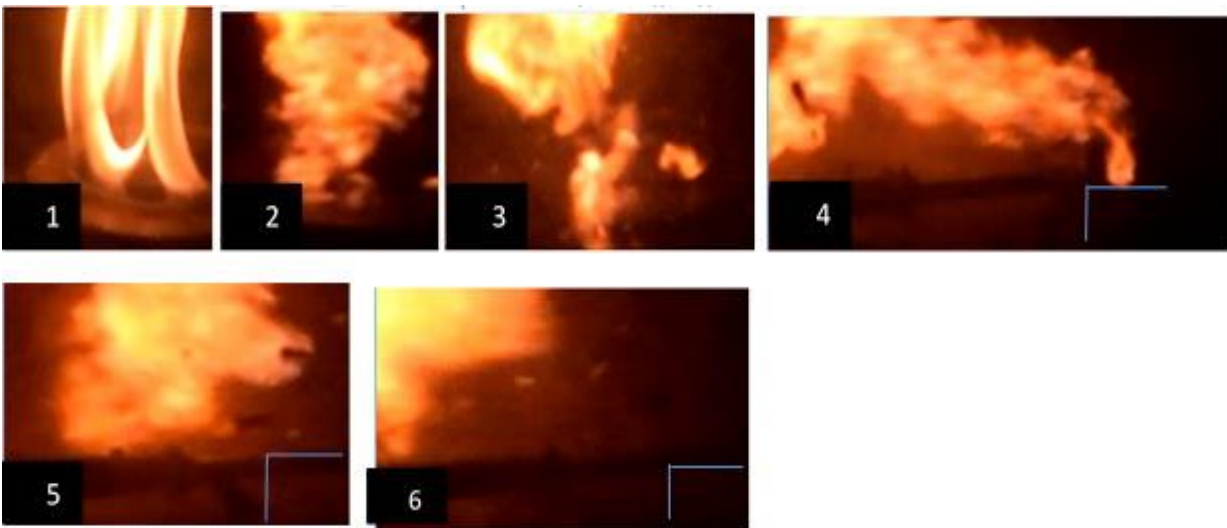


Рисунок 4.32 – Розкадрування при гасінні N_2 , та впливі на ДПГ ударних хвиль з частотою 10 Гц

Результати розкадрування процесу гасіння комбінованою вогнегасною системою серії УХ+ОВР показали суттєві зміни в процесі гасіння при порівнянні з гасінням одинарною УХ. Так при впливі на полум'я одинарної УХ гасіння відбувається без значного відхилення полум'я в протилежний бік від дії УХ. При гасінні ж серією УХ полум'я сильно турбулізується, відхиляється спочатку в протилежний бік від дії УХ (рис. 4.32, п. 3.) потім в іншу сторону (п. 4) після

проходження останньої УХ, після цього дещо відривається та загасає (п. 5). У випадку з азотом полум'я ще сильніше турбулізується (рис. 4.32, п. 2-4), значно збільшується в об'ємі, пізніше під дією УХ відривається, значно розтягується (п. 4.) та загасає під дією останньої 3-ї УХ (п. 6.). При цьому полум'я було загашене у всіх випадках, як видно з розкадрування (рис. 4.31) за таким самим механізмом який описаний в роботах [345, 354]. При цьому відбувався відрив, фрагментація полум'я і подальше гасіння ДПГ. При дії на ДПГ комбінованої системи УХ+ОВР отримували значно вищий вогнегасний ефект завдяки синергізму між ОВР та УХ, про що свідчить зменшення як концентрації вогнегасних газів, так і потужності УХ при збільшенні частоти серії УХ. При цьому вогнегасна концентрація об'ємної вогнегасної речовини значно зменшується, як видно з графіків на рис. 4.29 та 4.30.

Виходячи з результатів експериментів можна сказати, що комбінована дія на дифузійне полум'я газової вогнегасної речовини та ударних хвиль з частотою близько 10 Гц приведе до значного кінцевого вогнегасного ефекту внаслідок синергізму між ударною хвилею та об'ємною вогнегасною речовиною. Спільна дія УХ та газів забезпечує реалізацію таких основних вогнегасних факторів впливу на дифузійне полум'я: розбавлення зони горіння газами розчинниками; змінення концентрації реагуючих компонентів в зоні горіння і внаслідок цього - зменшення швидкості поширення полум'я по горючій гомогенній суміші, що приводить до значно легшого відриву полум'я від осередку горіння. Виходячи з результатів експерименту можна стверджувати що гасіння серіями 3-х УХ з збільшенням частоти до 30 Гц з зазначеним тиском є менш ефективним, ймовірно внаслідок значно меншої тривалості надлишкового впливу серій з 3-х УХ на ДПГ.

Таким чином виявлений діапазон ефективних частот впливу УХ на полум'я комбінованої системи, який лежить в межах 8-15 Гц, що видно з графіків на рисунках 4.29 та 4.30. Вогнегасна концентрація газів при цьому становить для CO_2 – від 22% до 7,5% та для азоту – від 33,5% до 12,5 %.

4.7. Визначення вогнегасної ефективності комбінованих систем на основі ударних хвиль та бінарних сумішей вогнегасного аерозолю та вогнегасних газів CO₂, N₂

У зв'язку з очікуваним підвищенням вогнегасної ефективності було збільшено розмір експериментального тигля. Спочатку була визначена вогнегасна ефективність УХ при гасінні дифузійного полум'я n-гептану (ДПГ) з тепловою потужністю випромінювання 14 кВт/м² (діаметр тигля 100 мм). Для цього була використана попередньо описана методика і встановлено, що вогнегасний тиск у фронті УХ при цьому становить 335 Па. Далі встановлено вплив УХ на вогнегасну ефективність бінарних газоаерозольних газових систем при гасінні ідентичного тигля з n-гептаном. Для визначення вогнегасної ефективності тернарної системи, що складається з вогнегасного аерозолю, газів (CO₂ або N₂) і УХ, була спочатку визначена вогнегасна ефективність аерозолю, отриманого з АУС на основі ідітолу при дії 1 УХ. Значення тиску одинарної УХ показано на графіку (рис. 4.33). Теплову інтенсивність випромінювання визначали приладом ПТП-01 на відстані 150 мм і отримали значення для тигля з діаметром 30 мм теплове випромінювання в 4 кВт/м², в 60 мм – 10 кВт/м² і для тигля 100 мм – 18 кВт/м² [355].



Рисунок 4.33 – Тиск одинарної ударної хвилі

Результати експерименту з визначення вогнегасної дії одинарної УХ та аерозолю показані на графіку (рис.4.34) а з серією з 3-х УХ та частотою 10 Гц – на графіку (рис.4.35). Експеримент з визначення вогнегасної ефективності

проводили таким чином: брали відповідну масу АУС, спалювали її в обсязі камери, перемішували вентилятором газ і аерозоль для рівномірного їх розподілу, і задіювали генератор УХ пропускаючи при цьому одну або кілька УХ з відповідною частотою.

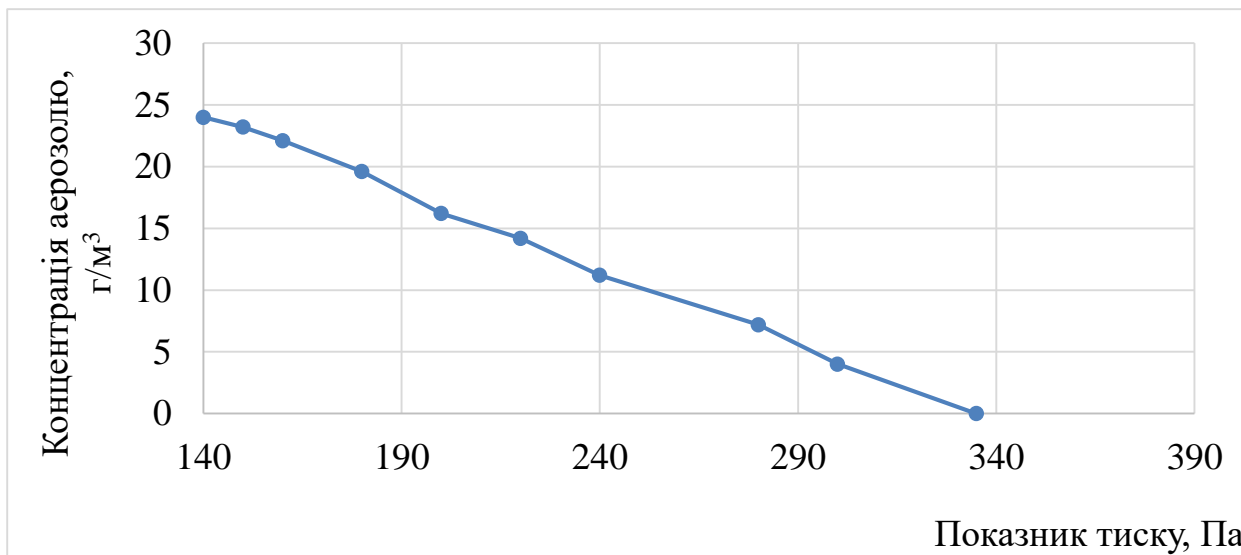


Рисунок 4.34 – Залежність вогнегасної ефективності аерозолі від потужності одинарної ударної хвилі

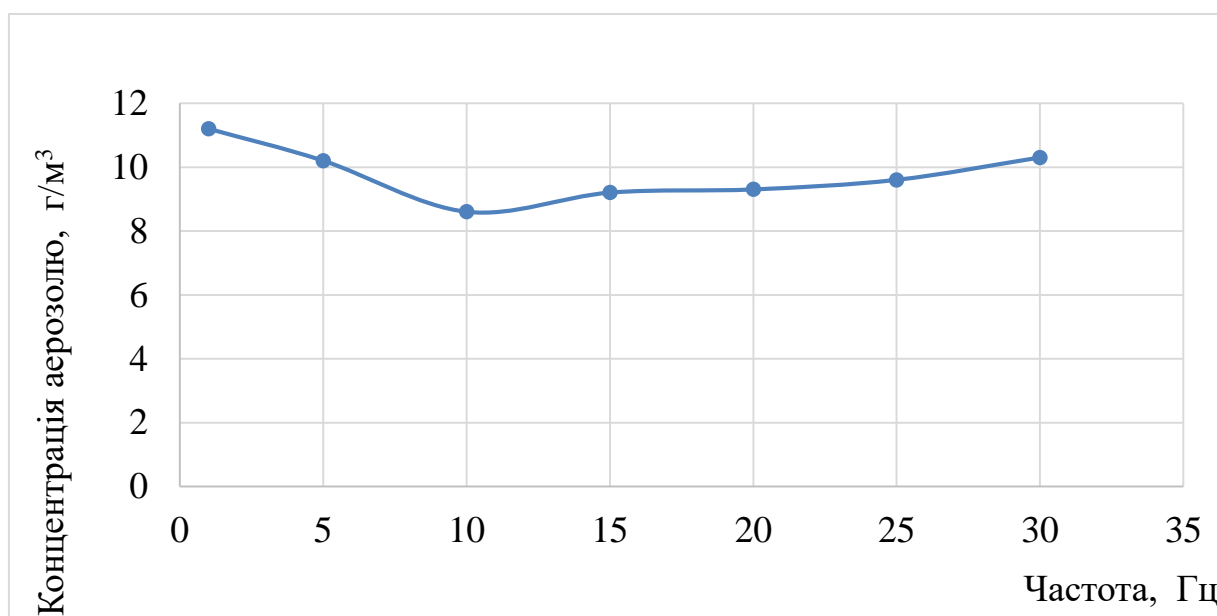


Рисунок 4.35 – Залежність вогнегасної ефективності аерозолі від частоти впливу ударної хвилі (серії по 3 УХ)

Як видно з рис. 4.34, при впливі на ДПГ 1 ударної хвилі вогнегасна концентрація аерозолі значно знижується. При збільшенні тиску УХ вогнегасна концентрація аерозолі падає і при досягненні 240 Па зменшується до 11,2 г/м³.

При застосуванні серії УХ максимальне зниження вогнегасної концентрації відбувається при частоті УХ в 10 Гц (рис. 4.35). При цьому зниження вогнегасної концентрації триває до 33%. Ці результати збігаються з результатами робіт [355, 356]. Відомо [356-359], що сам аерозоль має досить високу вогнегасну концентрацією, завдяки малим розмірам (до 50 мкм) частинок. З огляду на це УХ в аерозольному середовищі зазнає значної дисипації [251, 360]. Додавання газів до аерозолю забезпечує досягнення двох важливих цілей – збільшення вогнегасної ефективності створеної бінарної системи [251, 362] і зменшення в ній концентрації вогнегасного аерозолю, що призводить до збільшення ефективного вогнегасної відстані УХ, внаслідок зменшення дисипації. Таким чином, добавка газів до аерозолю призведе до зменшення дисипації УХ в утвореному середовищі і збільшення ефективною відстані вогнегасної дії УХ і загальною вогнегасної ефективності тернарної вогнегасної системи. Далі було проведено визначення вогнегасної ефективності потрійних систем: вогнегасний аерозоль + газ - флегматизатор (CO_2 , N_2) + УХ при впливі одинарної ударної хвилі. Результати експериментів показані на рис. 6.36 і 6.37.

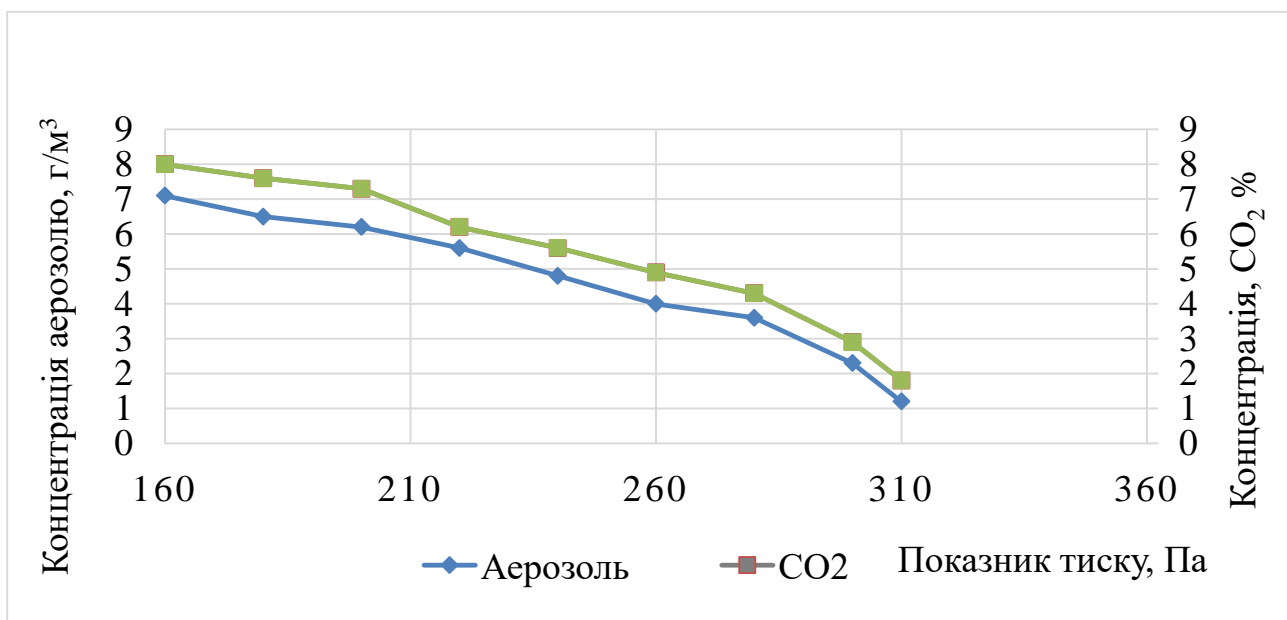


Рисунок 4.36 – Залежність вогнегасної ефективності бінарної суміші CO_2 і аерозолю від потужності одинарної ударної хвилі

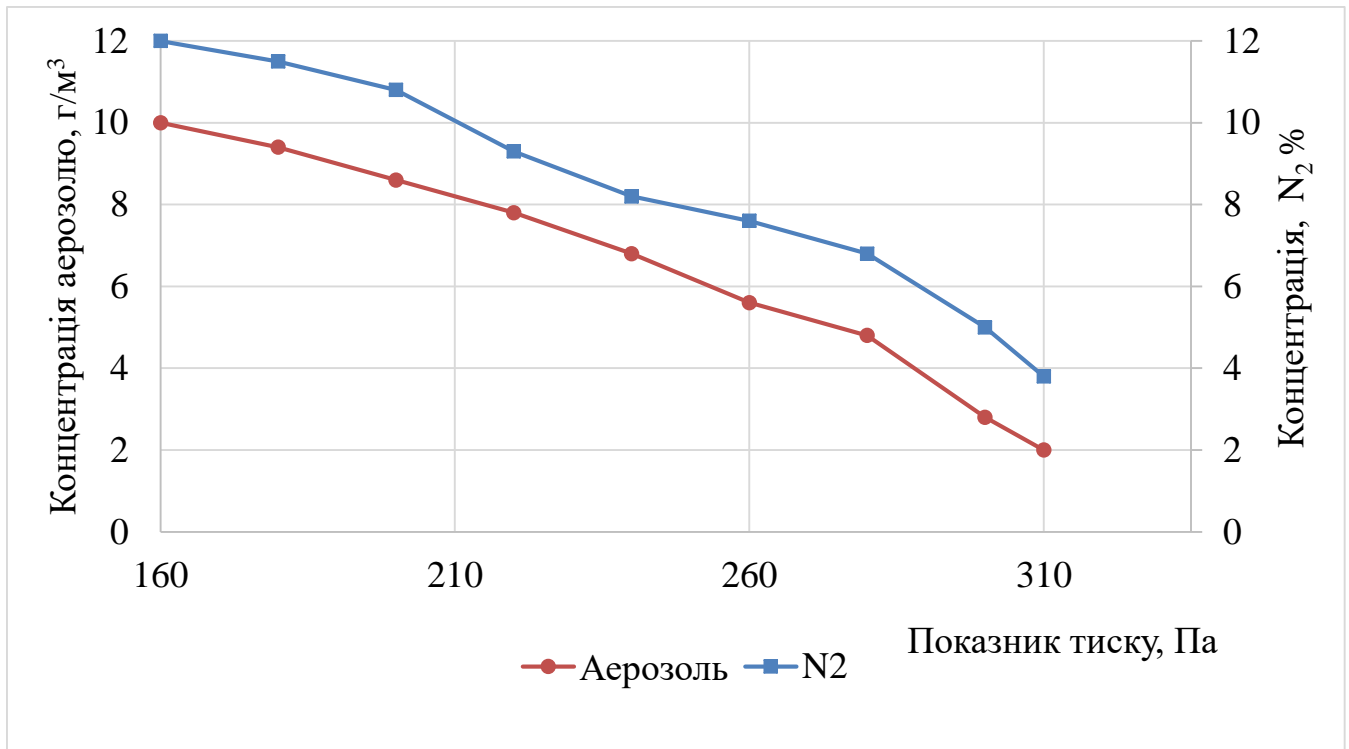


Рисунок 4.37 – Залежність вогнегасної ефективності бінарної суміші N₂ і аерозолу від потужності одинарної ударної хвилі

Як видно з графіків, при збільшенні тиску УХ вогнегасна концентрація аерозолу і газу CO₂ падає і оптимальними співвідношеннями компонентів в тернарній вогнегасній системі при тиску у фронті УХ близько 240 Па та співвідношення аерозолу – 4,8 г/м³ а CO₂ – 5,6%. Оптимальне співвідношення приймаємо виходячи з умови, що тиск УХ в найдальшій точці забезпечить вогнегасні значення виходячи з параметрів гасіння тернарною системою вогнегасний аерозоль + газ + УХ.

Також було визначено вогнегасну ефективність бінарної суміші вогнегасного аерозолу і азоту і отримано співвідношення: аерозолу – 7,8 г/м³, N₂ – 9,6%. З метою визначення часу і особливостей процесу гасіння було проведено розкадрування процесу гасіння (рис.4.38) тернарною вогнегасною системою при таких її параметрах: аерозолу – 4,8 г/м³ і CO₂ – 5,6% і з тиском в 240 Па одинарної ударної хвилі. Як видно з розкадрування (рис.4.38), при гасінні зазначеної системою полум'я відривається і фрагментується вже на 40 мс (рис. 4.38, п.5), що значно швидше, ніж в разі гасіння самою УХ, коли час гасіння

становить 350 мс. При цьому, процес відриву відбувається при мінімальному тиску в 240 Па в фронті УХ, потім полум'я значно фрагментується і завдяки комбінованій дії УХ і газів загасає на 65 мс (рис. 4.38, п. 8). Рівень тигля на розкадруванні (рис.4.38.) вказано стрілкою.

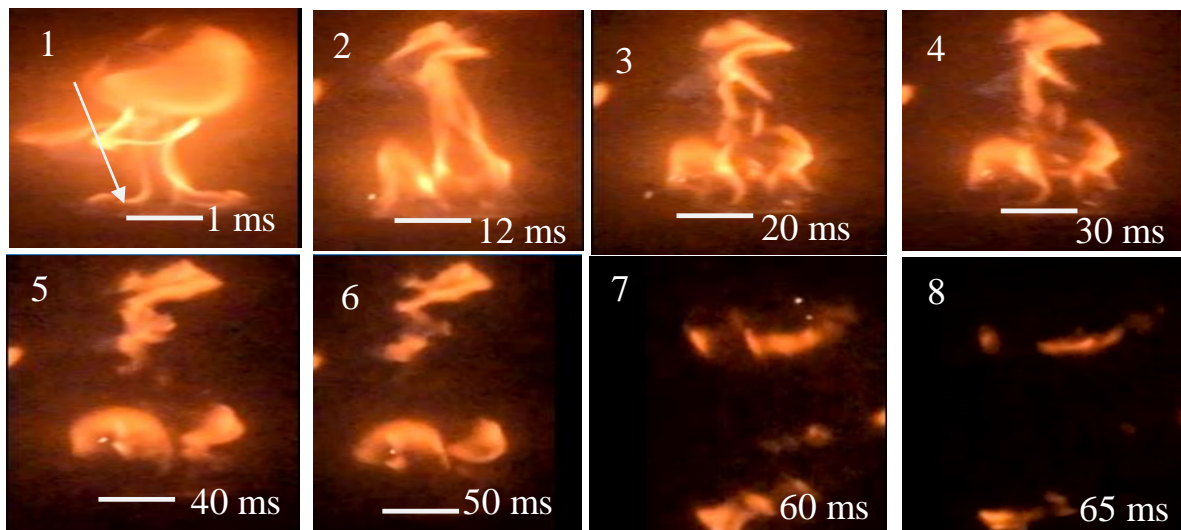


Рисунок 4.38 – Розкадрування процесу гасіння тернарною системою УХ ($P \approx 240$ Па); аерозоль - (4.8 г/м^3); CO_2 - (5.6%); Час гасіння 65 мс

Процес гасіння бінарною сумішшю з N_2 відбувається таким же чином, як і в випадку з CO_2 при дії УХ з тиском в 240 Па, при цьому полум'я також гасне внаслідок відриву і фрагментації через дії УХ. В результаті гасіння відбувається за час трохи більший, ніж при гасінні CO_2 , і становить ≈ 94 мс.

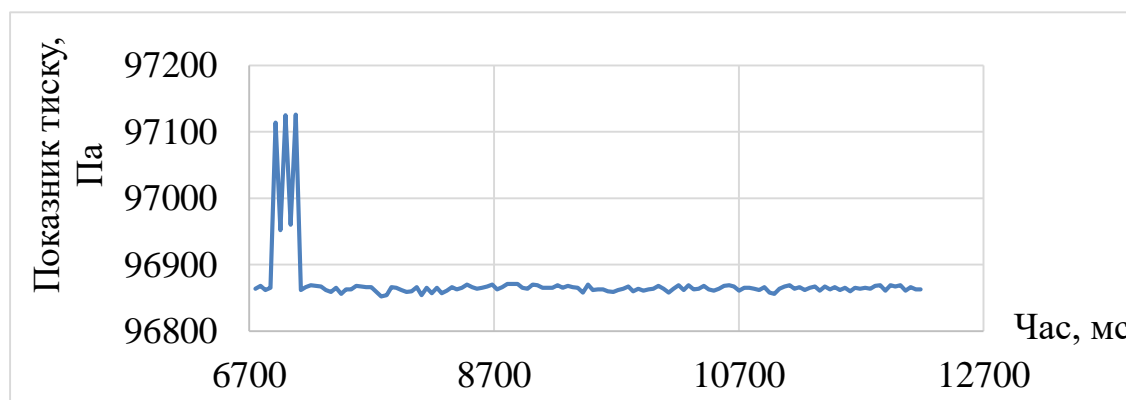


Рисунок 4.39 – Збільшення тиску при проходженні серії з 3-х УХ з частотою 10 Гц і потужністю $P \approx 240$ Па

Далі визначили вогнегасну ефективність бінарної суміші аерозоліу отриманого з АУС на основі ідітолу з добавками газів CO_2 і N_2 при впливі серій

УХ з частотою 10 Гц на ДПГ в газоаерозольній системі. Одне зі значень підвищення тиску в результаті дії 3-х УХ показано на графіку (рис. 4.39).

При цьому були отримані результати з вогнегасною концентрацією газів CO_2 і N_2 в зазначених умовах, які показані на графіках (рис. 4.40 та 4.41). На графіках (рис. 4.40) показана залежність вогнегасних концентрацій бінарної суміші аерозолу і CO_2 від частоти впливу серії 3-х ударних хвиль з $P(\text{УХ}) \approx 240$ Па, а на графіку (рис. 4.41) показана залежність вогнегасної ефективності бінарної суміші аерозолу і N_2 від частоти впливу серії з 3-х УХ ударних хвиль з $P(\text{УХ}) \approx 240$ Па.

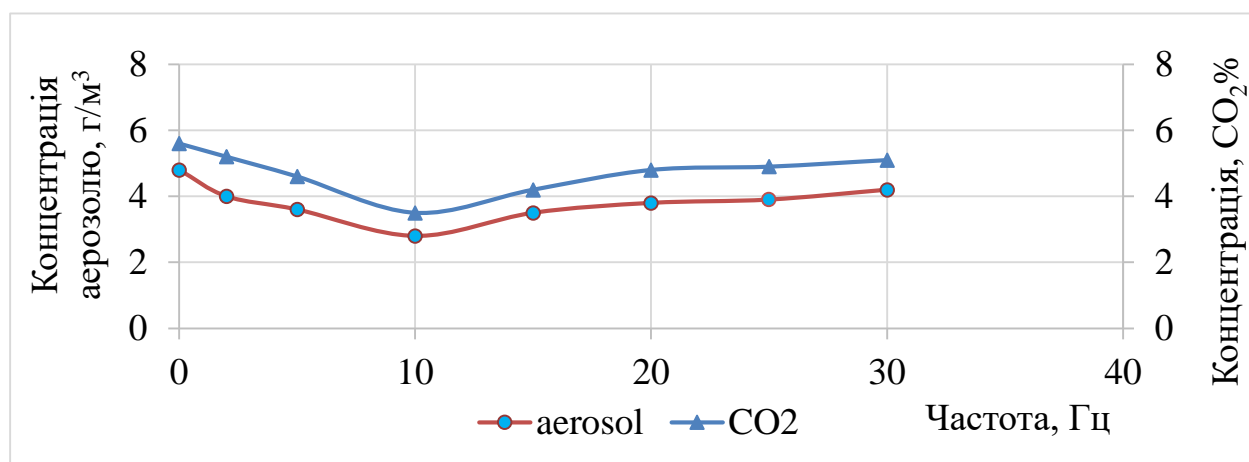


Рисунок 4.40 – Залежність вогнегасної ефективності бінарної суміші аерозолу і CO_2 від частоти впливу серії 3-х ударних хвиль з $P \approx 240$ Па

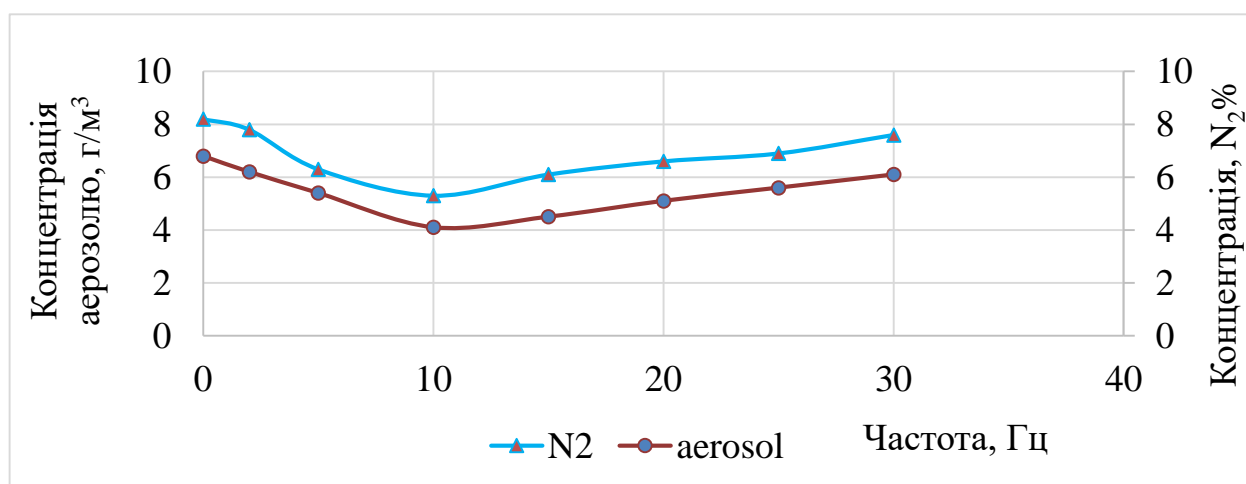


Рисунок 4.41 – Залежність вогнегасної ефективності бінарної суміші аерозолу і N_2 від частоти впливу серії 3-х ударних хвиль з $P \approx 240$ Па

Як видно з графіків (рис 4.40 і 4.41) при частоті впливу серій УХ в 10 Гц вогнегасна концентрація компонентів бінарної газоаерозольної суміші знижується відповідно до 2,8% CO_2 і $3,5 \text{ г/м}^3$ аерозолю. Для азоту вогнегасні концентрації відповідно падають, для аерозолю до $4,1 \text{ г/м}^3$ і до 5,3% для N_2 . Таким чином, при застосуванні тернарної системи: вогнегасний аерозоль + газ розчинник + дія серій УХ, у всіх випадках спостерігалось значне зменшення вогнегасних концентрацій аерозолю і газів при впливі УХ з частотою 10 Гц і тиском в 240 Па. Результати розкадрування процесу гасіння дифузійного полум'я n-гептану тернарною системою аерозолю, CO_2 і серіями УХ при частоті 10 Гц, показані на розкадруванні на рис.4.42.

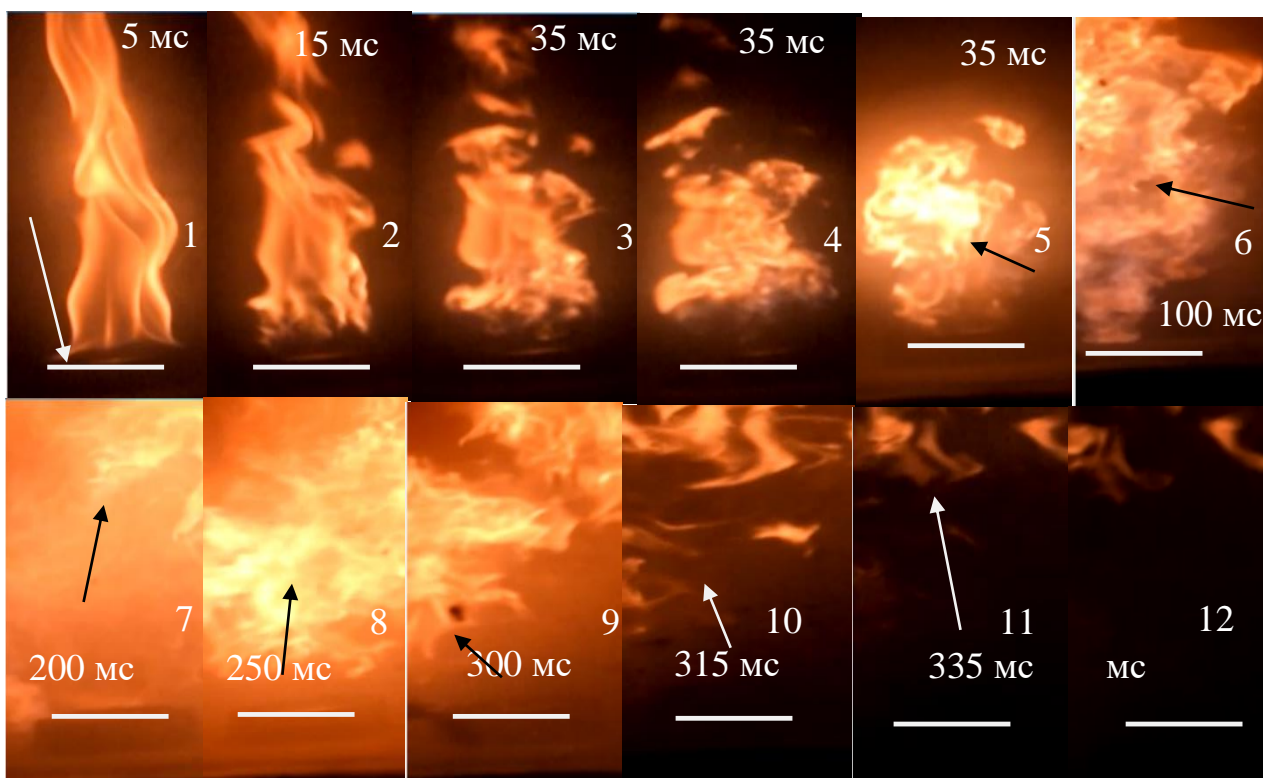


Рисунок 4.42 – Розкадрування процесу гасіння тернарною системою УХ (серія x 3-х УХ 10 Гц, $P = 240 \text{ Па}$) Аерозоль - 4.1 г/м^3 ; N_2 - 5.3%; Час гасіння – 55 мск

Розкадрування процесу гасіння зазначеною тернарною системою показало, що полум'я при одночасній дії УХ, аерозолю, та CO_2 значно турбулізується і відривається при меншому тиску у фронті УХ, ніж в разі гасіння самим газом або аерозолем. При цьому, після першої УХ помітно значну турбулізацію полум'я починаючи з 5 до 100 мс (рис. 4.42, п 1-6), але гасіння полум'я при цьому не

відбувається. Полум'я зміщується на деяку відстань від тигля, як показано на рисунку 4.42 стрілками, до проходження наступної ударної хвилі. Коли на 200 мс (рис. 4.42, п.7) проходить наступна УХ, це призводить до ще більшої турбулізації полум'я яке відривається від гирла витікання з тигля (тигель позначений лінією у всіх позиціях та вказаний стрілкою на рис. 4.42, п. 1). При цьому полум'я значно розтягується в просторі і хаотично збільшується в розмірах в діапазоні часу між 200 і 300 мс (рис. 4.42, п 7-9). Далі на 300 мс проходить 3-тя УХ, яка ще більше відносить полум'я від тигля, після чого воно значно фрагментується і приблизно через 55 мс гасне (п. 9-12).

4.8. Обговорення результатів експериментів з визначення вогнегасної ефективності комбінованої тернарної системи на основі УХ

Для підтвердження висунутих в третьому розділі припущень про високу вогнегасну ефективність комбінованої тернарної системи: УХ + вогнегасний газ + аерозоль, на полум'я, було проаналізовано розкадрування процесів гасіння при дії одинарної УХ з тиском 240 Па з аерозолем та газами CO_2 і N_2 на дифузійне полум'я n-гептану. При розкадруванні гасіння тернарною системою на основі CO_2 (рис. 4.38) було виявлено, що гасіння полум'я серією УХ відбувається при тиску в 240 Па за 35 мс після проходження останньої УХ, що менше в 10 разів ніж при гасінні самої лише УХ (≈ 350 мс) без газоаерозолю.

Таким чином, на розкадруванні можна побачити значну різницю при гасінні одинарною УХ, коли полум'я відразу після її проходження фрагментується, розсіюється і гасне та серією УХ, коли полум'я значно турбулізується, дещо розтягується, але до гасіння при цьому не доходить. Про процес гасіння, який відбувається при дії на полум'я серій з 3-х УХ, можна сказати, що при цьому відбувається зниження вогнегасних концентрацій від 33% до 50% газів та аерозолів менше на 33-55 % у порівнянні з вихідними значеннями індивідуальних концентрацій компонентів суміші, взятих для одинарної УХ.

Як видно з результатів експериментів, вплив УХ приводить до значного зниження вогнегасної концентрації бінарної суміші аерозолю та газів

розріджувачів. Розкадрування дії вогнегасної системи на ДПГ із зазначеними параметрами $P(UX) = 240$ Па, $C_a = 4,8$ г/м³; $CO_2 = 5,6$ %, показала значну різницю між поведінкою полум'я при дії на нього серій самої лише УХ, а також УХ в середовищі газів або аерозолі. При цьому можна сказати, що полум'я значно легше відривається і час відриву зменшується з 215 мс – при дії самої лише УХ, до 35 мс – при гасінні тернарною системою та серією УХ. Висока ефективність тернарної системи (УХ+газ+аерозоль) пояснюється комбінованою дією вогнегасних чинників компонентів тернарної вогнегасної системи. Крім цього, вогнегасний аерозоль та газ-розріджувач, як відомо [166, 327] є синергентами, що приводить до значно вищої вогнегасної ефективності вогнегасної системи ніж традиційні засоби пожежогасіння.

Свідченням синергізму можна вважати значне зниження вогнегасної концентрації аерозолі, газів-розріджувачів і потужності УХ в 5 і більше разів, при гасінні ДПГ в порівнянні з індивідуальною вогнегасною концентрацією окремих компонентів суміші, які відповідно становлять: для гептану C_7H_{16} $C_v(CO_2) = 23\%$, $C_v(A) = 22,5$ г/м³ і $P(UX) = 215$ Па, (для тигля заданих параметрів з тепловою випромінювальною здатністю 4 кВт/м²). Відповідно, якщо порівняти зміну концентрацій об'ємних засобів гасіння, які показані в табл. 6.4, можна простежити чітку тенденцію до зменшення їх вогнегасної концентрації при їх комбінованій дії разом з УХ. Таким чином маємо кілька варіантів вогнегасних систем з УХ, експериментальні параметри яких узагальнені в таблиці 4.19.

Результати експериментальних досліджень в лабораторних умовах з визначення ефективності гасіння об'ємним способом дифузійного полум'я n-гептану вогнегасними речовинами та ударними хвилями

Вплив УХ (одинарна, серії)	Тиск УХ Па	Теплова потужність полум'я кВт/м ²	Концентрація вогнегасної речовини		
			СО ₂ , %	N ₂ , %	Вогнегасний аерозоль г/м ³
одинарна УХ	215	4	0,0	0,0	0,0
одинарна УХ	180	4	5,1	0,0	0,0
одинарна УХ	180	4	0,0	10,2	0,0
одинарна УХ	180	4	0,0	0,0	10,3
серії УХ (10 Гц)	172	4	0,0	0,0	0,0
серії УХ (10 Гц)	172	10	4,8	0,0	0,0
серії УХ (10 Гц)	170	10	0,0	10,8	0,0
серії УХ (10 Гц)	170	10	0,0	0,0	8,2
одинарна УХ	240	18	4,9	0,0	5,6
одинарна УХ	240	18	0,0	8,2	6,8
серії УХ (10 Гц)	240	18	3,5	0,0	2,8
серії УХ (10 Гц)	240	18	0,0	5,3	4,1

Виходячи з аналізу узагальнених даних, наведених у таблиці 4.19, при дії одинарної і серій УХ на полум'я n-гептану видно, що її вплив на полум'я призводить до значного підвищення вогнегасної ефективності об'ємних вогнегасних речовин і, як видно з таблиці, залежить від теплової потужності полум'я. Так при тепловій потужності випромінювання 4 кВт/м² і дії одинарної УХ з тиском в фронті ≈ 180 Па, як бачимо з таблиці, вогнегасна концентрація СО₂ зменшується до 5,1%. Використання серій УХ з частотою в 10 Гц призводить до подальшого зменшення вогнегасної концентрації і навіть при більшому розмірі полум'я (10 кВт/м²) спостерігається зменшення вогнегасної концентрації СО₂ до

4,8 при майже однаковому тиску у фронті УХ в ≈ 180 Па. Подальше збільшення розмірів полум'я (18 кВт/м^2) тягне за собою збільшення вогнегасного тиску у фронті УХ до 240 Па, але вогнегасна концентрація для CO_2 і аерозолю залишаються майже на колишньому рівні і становлять приблизно 4,9% CO_2 і $5,6 \text{ г/м}^3$ аерозолю, для одинарної і 3,5 CO_2 і $2,8 \text{ г/м}^3$ аерозолю – для серій УХ з частотою 10 Гц. Для азоту також спостерігається зменшення до 8,2 N_2 і $6,8 \text{ г/м}^3$ аерозолю для одинарної і до 5,3% N_2 і $4,1 \text{ г/м}^3$ аерозолю для серій УХ. Таким чином комбіноване використання вогнегасного газу, аерозолю і серій УХ з частотою в 10 Гц призводить до значного підвищення вогнегасної ефективності такої системи, що видно на прикладі гасіння полум'я n-гептану заданих параметрів [363, 364].

Що стосується механізму припинення горіння в результаті дії ударних хвиль, то в результаті аналізу розкадровок можна побачити, що у всіх випадках на початку моменту гасіння полум'я збільшується в об'ємі відразу за проходженням ударної хвилі, після чого відбувається його фрагментація та потухання. Побачити процес збільшення об'єму полум'я можна на рис. 4.43, на якому зображено витяги з рисунків 4.15-4.34. Збільшення об'єму полум'я вимірювалось посередині його висоти та позначалось L1 – до дії УХ та L2 – після дії УХ. Як видно з рис.4.43, полум'я після проходження ударної хвилі збільшується в об'ємі в 1,4 -5 разів порівняно з його первинними розмірами за 5–35 мс після проходження УХ, після чого починається відразу його фрагментація та подальше збільшення в об'ємі. Утворені фрагменти починають розходитись в просторі та догорати після чого між зоною парів і газів та зоною горіння утворюється розрив, через який полум'я не здатне відновитись.

Як видно з рисунка 4.43, розширення полум'я відбувається відразу після проходження УХ через полум'я. Це приводить, як і було обґрунтовано попередньо, до раптового зменшення тиску в зоні горіння та припинення ланцюгових реакцій, що в свою чергу забезпечує різке зменшення швидкості поширення полум'я.

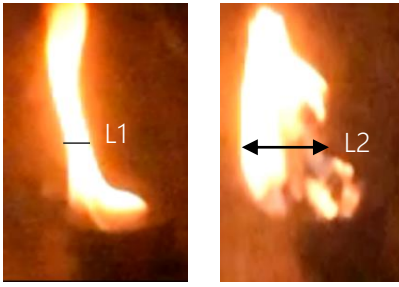


Рисунок 4.15– $P_{yx} = 190$ Па; $L1 = 10$ мм ;
 $L2 = 36$ мм;
 $\tau = 35$ мс; $Q = 4$ кВт

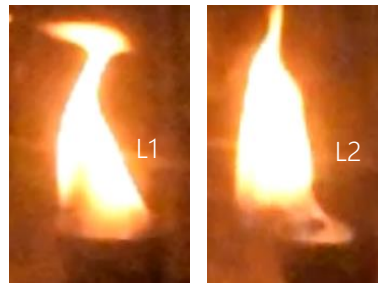


Рисунок 4.16 $P_{yx} = 215$ Па:
 $L1 = 26$ мм; $L2 = 31$ мм;
 $\tau = 30$ мс; $Q = 4$ кВт



Рисунок 4.17 – $P_{yx} = 316$ Па
 $L1 = 30$ мм; $L2 = 46$ мм;
 $\tau = 35$ мс; $Q = 4$ кВт;

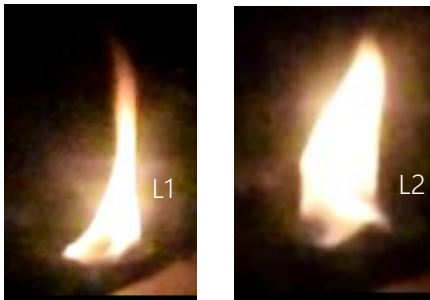


Рисунок 4.21– $P_{yx} = 180$ Па:
 $L1 = 10$ мм; $L2 = 30$ мм (35мс);
 $\tau = 25$ мс; $Q = 4$ кВт

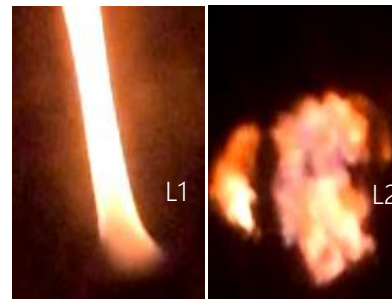


Рисунок 4.22 – $P_{yx} = 195$ Па; $F = (20$ Гц); $L1 = 11$ мм;
 $L2 = 58$ мм; $\tau = 35$ мс;
 $Q = 4$ кВт

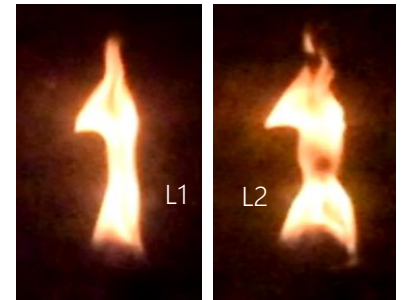


Рисунок 4.27 – $P_{yx} = 180$ Па:
 $CO_2 = 8.2\%$; $L1 = 14$ мм;
 $L2 = 44$ мм; $T = 15$ мс; $Q = 4$ кВт



Рисунок 4.28 – $P_{yx} = 180$ Па:
 $N_2 = 26,4\%$; $L1 = 14$ мм;
 $L2 = 42$ мм; $\tau = 15$ мс;
 $Q = 4$ кВт



Рисунок 4.38– $P_{yx} = 195$ Па:
Аерозоль = $4,8$ г/м³;
 $N_2 = 5,6\%$; $L1 = 66$ мм;
 $L2 = 106$ мм; $\tau = 35$ мс;
 $Q = 18$ кВт

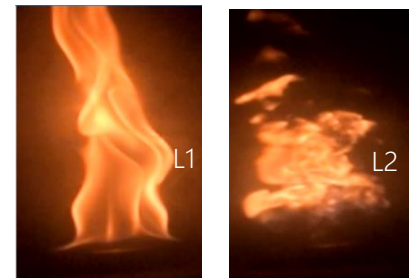


Рисунок 4.42– $P_{yx} = 240$ Па
(10Гц): Аерозоль = $4,1$ г/м³;
 $N_2 = 5,3\%$; $L1 = 68$ мм;
 $L2 = 120$ мм; $\tau = 35$ мс;
 $Q = 18$ кВт

Рисунок 4.43 – Розширення дифузійного полум'я п-гептану в результаті дії ударної хвилі

Таким чином фрагментація, а потім і гасіння полум'я, відбувається внаслідок розтягнення (розриву) полум'я в зоні релаксації УХ. Крім цього, в фронті полум'я після проходження ударної хвилі будуть виникати нестійкості Ріхтмаєра–Мешкова, які забезпечують розділення полум'я на фрагменти. Поєднання цих факторів забезпечує гасіння дифузійного полум'я без, або з мінімальною кількістю об'ємної вогнегасної речовини.

Висновки за розділом

1. Визначено вогнегасну ефективність бінарної аерозольно – діоксидвуглецевої суміші та встановлено, що добавка CO_2 до аерозолу неорганічних солей калію значно підвищує її вогнегасну ефективність завдяки синергізму між її компонентами. Результатом добавляння до аерозолу азоту стало зменшення вогнегасної концентрації компонентів бінарної суміші до 30 %. Визначено, що оптимальні співвідношення компонентів в аерозольно–азотній суміші становлять: аерозолу – 10 г/м^3 , азоту – 12,1 %, а в аерозольно-вуглекислотній: аерозолу – 10 г/м^3 , CO_2 – 6 % при яких суміш є вогнегасною, для дифузійного полум'я n-гептану та забезпечує збереження життєпридатної концентрації кисню.
2. Встановлено, що гасіння дифузійного полум'я n-гептану відбувається не через його відрив, а через його зменшення в розмірах та пульсацію при частотах 24–35 Гц. Виявлено, що внесення кінетичного полум'я n-гептану в бінарній аерозольно-азотній суміші при концентраціях, які значно переважають вогнегасні для дифузійного полум'я n-гептану, до гасіння не приводило.
3. Визначено інтенсивність та значне зменшення температури дифузійного та кінетичного полум'я при перебуванні його в бінарній аерозольно-азотній суміші. Різниця температур між початковим значенням температури та під дією бінарної аерозольно-азотної суміші становить максимум $230 \text{ }^\circ\text{C}$. Зниження температури відбувається внаслідок того, що добавка бінарної аерозольно-азотної суміші ймовірно призводить до зменшення тепловиділення реакції горіння і, як наслідок, зменшення температури полум'я.
4. Визначено, що бінарні суміші вогнегасного аерозолу та газів розріджувачів забезпечують зниження викидів CO_2 в атмосферу до 3-х разів у порівнянні з його індивідуальними вогнегасними концентраціями. Визначено безпечні для людини бінарні вогнегасні суміші аерозолу з CO_2 , N_2 . Встановлено оптимальні вогнегасні концентрації аерозолу в суміші з CO_2 або N_2 , які володіють меншими концентраціями ніж їх індивідуальні за рахунок синергізму компонентів.

5. Проведено математичне планування експериментальних досліджень для визначення тривалості часу гасіння пожежі методом ударної хвилі. Виконано кодування факторів складання план-матриці експерименту. Проведено рандомізацію дослідів та реалізовано план експерименту. В цьому випадку значення тиску ударної хвилі при використанні вогнегасної системи на основі газу CO₂ визначається за залежністю

$$P = \frac{1,59q^{3,56} \tilde{A}^{0,29}}{A^{1,62}}, \text{ Па.}$$

яка для CO₂ має вигляд

6. Значення тиску ударної хвилі у разі використання вогнегасної системи на

$$P = \frac{5,41q^{3,17} \tilde{A}^{0,44}}{A^{1,62}}, \text{ Па.}$$

основі газу N₂ визначаємо за залежністю

7. Експериментально визначено, що вплив на полум'я n-гептану, ударної хвилі з тиском в фронті близько 215 Па в камері на відстані до 2-х метрів, призведе до його загасання через відрив і фрагментацію. Моменти, які підтверджували вогнегасну ефективність ударної хвилі, а також перехідні стани нестабільності були зафіксовані на відеоролики з частотою 1200 кадрів в секунду, з яких було отримано розкадрування за відповідними етапами, моментів нестабільності полум'я при різних тисках та частотах впливу УХ для теплової потужності полум'я від 4 кВт/м² до 18 кВт/м². Також для одинарних ударних хвиль встановлений час гасіння, який залежить від потужності ударної хвилі та дорівнює приблизно 100 -200 мс до повного затухання полум'я.

8. Експериментально встановлено, що вогнегасна ефективність серій ударних хвиль з частотою близько 10 Гц збільшується приблизно від 20 % у порівнянні з вогнегасною ефективністю одинарних ударних хвиль. За результатами розкадрування встановлено, що при дії одинарної ударної хвилі в серії з 3 ударних хвиль при їх частоті утворення 10 Гц та тиску близько 200 Па відбувається фрагментація полум'я безпосередньо над поверхнею горіння майже

без відриву полум'я, після чого в результаті проходження наступної УХ відбувається гасіння через подальшу фрагментацію полум'я.

9. Встановлено, що при потужності ударної хвилі в 180 Па вогнегасна концентрація для CO_2 зменшується в 2.5 раза і в 2 рази для N_2 при гасінні дифузійного полум'я n-гептану. Підтверджено, що загальним результатом дії ударної хвилі та вогнегасного газу буде значне зменшення часу гасіння дифузійного полум'я n-гептану, який у випадку з CO_2 зменшується до 7 разів, а для N_2 – до 4.2 раза порівняно з часом гасіння самої ударною хвилею, який становить близько 350 мілісекунд.

10. Експериментально встановлено, що комбіноване застосування потрійних серій ударних хвиль з частотою 10 Гц та об'ємних вогнегасних речовин приводить до зменшення потужності ударних хвиль до 1,25-1,5 разів та вогнегасної концентрації газових вогнегасних речовин. При цьому вогнегасна концентрація CO_2 зменшується до 7 разів, а азоту – до 4,5 разів та становить відповідно при тиску УХ в 170 Па: 4,8 % – CO_2 та 10,2% – N_2 при тепловій потужності полум'я в 4 кВт /м².

11. Експериментально встановлено, що комбіноване застосування вогнегасного аерозолю та одинарних ударних хвиль з тиском у 240 Па приводить до зменшення вогнегасної концентрації аерозолю в умовах експериментальної камери до 2-3,5 разів. Підтверджено, що загальним результатом дії ударної хвилі та вогнегасного аерозолю буде теж зменшення часу гасіння дифузійного полум'я n-гептану до 4.2 раза, порівняно з часом гасіння самою ударною хвилею. У випадку комбінованого застосування серій ударних хвиль та вогнегасного аерозолю відбувається зменшення потужності ударної хвилі до 240 Па та вогнегасної концентрації аерозолю до 2-х разів.

12. Експериментально визначено що комбіноване застосування вогнегасного аерозолю, вогнегасної газової речовини та одинарних ударних хвиль з тиском у 240 Па приводить до зменшення вогнегасних концентрацій для вогнегасного аерозолю до 4,8 г/м³ та до 5,8 для CO_2 , або для вогнегасного аерозолю до 6,5 г/м³ та до 8,2 для N_2 , що є значно нижчим за їх індивідуальні значення ймовірно

завдяки синергізму між її компонентами. Встановлено, що дія серій УХ з тиском 240 Па на бінарну суміш вогнегасного аерозолю та газів приводить до ще більшого підвищення вогнегасної ефективності бінарної суміші аерозолю та газів. Вогнегасні концентрації становлять для аерозолю – 3,5 г/м³ та для СО₂ – 2,8 %. Для бінарної суміші аерозолю та азоту ці співвідношення становлять для аерозолю до 4,1 г/м³ та для N₂ до – 5,2 % при тиску ударної хвилі у всіх випадках в 240 Па. Значне підвищення вогнегасної ефективності можна пояснити синергізмом між компонентами комбінованих вогнегасних систем на основі ударних хвиль.

13. Встановлено, що зазначений спосіб гасіння забезпечуватиме зменшення викиду СО₂ в 5 разів порівнянно з індивідуальною вогнегасною концентрацією, та у комплексі з вогнегасними аерозолями – до 10 разів. Щодо часу гасіння пожежі то він зменшується до декількох секунд з моменту подачі серій ударних хвиль та вогнегасних речовин, що забезпечить значне обмеження викидів в атмосферу продуктів горіння та побічних продуктів які утворилися б при тривалішому процесі горіння та взаємодії з вогнегасними речовинами.

РОЗДІЛ 5

ОБҐРУНТУВАННЯ СХЕМНИХ РІШЕНЬ ТА РОЗРОБКА ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ, ЯКІ РЕАЛІЗУЮТЬ ТЕХНОЛОГІЮ ПОЖЕЖОГАСІННЯ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ УДАРНИХ ХВИЛЬ

5.1 Розроблення пристроїв комбінованого гасіння

Виходячи з результатів експериментів із визначення вогнегасної ефективності комбінованих систем об'ємних вогнегасних речовин та ударних хвиль при гасінні газових горючих середовищ було розроблено ряд пристроїв. В їх роботі було використано теоретично обґрунтовані та експериментально підтвердженні залежності, які були отримані при гасінні горіння вогнегасним аерозолем, бінарною сумішшю вогнегасного аерозолу та газів CO₂ та N₂, комбінованими системами на основі вогнегасного аерозолу, та об'ємної вогнегасної речовини – вогнегасного аерозолу, та бінарних сумішей вогнегасного аерозолу та CO₂ або N₂ при дії серій ударних хвиль. Зазначені результати привели до створення технологій гасіння пожежі швидкої дії з мінімальними наслідками для навколишнього середовища. Узагальнені результати вогнегасних ефективностей зазначених систем наведені в таблиці 5.1. В таблиці наведені узагальнені концентрації які необхідні для забезпечення ефективного гасіння дифузійного полум'я n-гептану. На основі зазначених результатів було визначено ефективні співвідношення компонентів бінарної газоаерозольної суміші та потужності серій ударних хвиль.

Таблиця 5.1

Параметри вогнегасної ефективності комбінованих систем на основі ударних хвиль

№ з/п	Вогнегасні компоненти		Аерозоль, г/м ³	Газ, %		Р УХ, Па	Час підвищеної вогнегасної дії, с	Час загальної вогнегасної дії, хв	Відстань ефективною дії L, м
				CO ₂	N ₂				
1	Аерозоль	Св	25	–	–	–	–	25	–

2	Бінарна суміш аерозолі з CO ₂	Св	14	10	–	–	–	25	–
3	Бінарна суміш аерозолі з N ₂	Св	24	–	10	–	–	25	–
4	Комбінована бінарна система Аерозоль з УХ	Св	20	–	–	2500	0,5	25	3
5	Комбінована тернарна система аерозолі, CO ₂ та УХ	Св	10	7	–	2500	0,5	25	3
6	Комбінована тернарна система аерозолі, N ₂ та УХ	Св	15	–	11	2500	0,5	25	3

Як видно з таблиці 5.1, для проектування моделей пристрою необхідно застосовувати АУС з розрахунку утворення вогнегасної концентрації від 25 до 100 г/м³, що у перерахунку на об'єм експериментальної камери – 65м³ становитиме від 1625 г до 6500 г АУС. Пристрої комбінованого гасіння (ПКГ) належать до засобів локального та об'ємного пожежогасіння, зокрема до вогнегасних систем, і можуть встановлюватись як вертикально, так і горизонтально у якості засобу гасіння відкритих та закритих пожеж класів А, В, С, Е вогнегасним аерозолем, а за необхідності – комбінуватись з окремо розташованими вогнегасними установками газового пожежогасіння або генераторами ударних хвиль.

Щодо практичної цінності та необхідності розробки пристроїв, то можна зазначити, що на даний час для об'ємного гасіння використовуються в основному порошкові вогнегасники та модулі [22], які характеризуються значними розмірами порошкових ємностей, необхідністю постійної перезарядки вогнегасного порошку, постійним знаходженням вогнегасника під тиском, коротким часом роботи установки – від 6 до 60 секунд, за який і здійснюється вогнегасна дія, а також відносно невисокою ефективністю гасіння порошком пожеж в об'ємах із складною геометричною конфігурацією: в приміщеннях, технологічних апаратах і на відкритому просторі, коли вогнегасний порошок не потрапляє у потрібне місце, а відноситься потоком повітря, чи його кількість недостатня для гасіння. Відомо [45, 82, 84, 362, 363], що з однакової маси вогнегасного заряду порошку та аерозольутворювальної сполуки об'єм утвореного аерозолю буде в декілька разів більшим. Також аерозоль може перебувати у повітрі, створюючи стабільну вогнегасну концентрацію, до 30 хвилин. У зв'язку з цим, проблема використання вогнегасного аерозолю та його комбінацій з газовими вогнегасними речовинами та ударними хвилями з метою підвищення ефективності та надійності гасіння пожеж, є особливо актуальною з практичної сторони. Застосування ударних хвиль комбіновано з об'ємними вогнегасними речовинами, як було виявлено, дасть змогу зменшити час гасіння до секунд. Аерозольутворювальні сполуки при згорянні, утворюють великий об'єм аерозолю, який володіє високою вогнегасною ефективністю. Так, для прикладу, заряд аерозольутворювальної сполуки масою в 300 г та розмірами заряду квадратної форми висотою 120 мм і шириною та довжиною 63 мм горить близько 40 секунд самостійно на відкритому просторі. При горінні зазначеного заряду в оболонці генератора вогнегасного аерозолю час горіння АУС зменшується до 15-20 секунд. При цьому утворюється близько 150 л аерозолю, який викидається під тиском 50 і більше атмосфер з сопла вогнегасного пристрою, що забезпечує ефективну відстань гасіння струменем аерозолю до 3 метрів. Результати експерименту з гасіння вогнища на відкритому просторі показано в роботі [365] в якій вказано що інтенсивність подачі вогнегасного аерозолю

становить близько 8 г/с/м^2 . На даний час в світі існують вогнегасні пристрої подібної будови та з такими параметрами. Так, аерозольний вогнегасник [366] має пружину, корпус з теплоізолюючим шаром, аерозольутворювальний заряд (хімічні реактиви), запал, гранульований хімічний охолоджувач на трубі і сотовий охолоджувальний агент на соплі, ущільнювальне кільце, запобіжне кільце та внутрішній блок циліндрів. Запалювання заряду аерозольутворювальної сполуки відбувається через використання п'єзоелектричного запалу. Недоліком вказаної конструкції є те, що при проходженні аерозолі через шар охолоджувача значно зменшується вогнегасна ефективність аерозолі через коагуляцію частинок аерозолі і недопал заряду аерозольутворювальної сполуки, що призводить до його неповного перетворення в аерозоль. Крім цього, вогнегасник складається з трьох окремих циліндрів, які ускладнюють конструкцію, а також в якості охолоджувача використовується гранульований хімічний агент, який також збільшує вартість і масу вогнегасника. Вузол запалювання представляє собою п'єзоелектричний елемент, надійність якого в екстремальних ситуаціях пожежі (висока температура, підвищена вологість, сильна вібрація) є сумнівною. Недоліком вказаного генератора є складність конструкції, невелика відстань та низька ефективність гасіння пожеж зі значною площею.

В основу розробки поставлене завдання отримання пристроїв комбінованого гасіння в основі роботи яких лежить комбіноване використання вогнегасного аерозолі, який утворюється при згорянні заряду аерозольутворювальної сполуки, з вогнегасними газами та ударними хвилями з врахуванням отриманих параметрів та залежностей. При цьому пристрій повинен мати такі характеристики: невеликі габаритами, подовжений час роботи, збільшену відстань та високу ефективність гасіння пожеж класу А, В, С, Е, тривалий експлуатаційний термін і надійність спрацювання при високій температурі, підвищеній вологості та сильній вібрації. Застосування пристроїв для гасіння пожеж забезпечить зменшення викидів вогнегасних засобів та продуктів горіння пожежі в навколишнє середовище завдяки значному зменшенню часу гасіння.

5.1.1. Розроблення пристроїв комбінованого гасіння (ПКГ) на основі об'ємних вогнегасних речовин об'ємної дії та УХ

Спочатку було розроблено генератор вогнегасного аерозолю (ГВА), який може забезпечувати захист як самостійно, так і в поєднанні з генераторами ударних хвиль (ГУХ). Враховуючи обумовлені параметри, пропонуємо наступний варіант пристрою ГВА, який складається з таких основних елементів: корпусу, подвійного теплоізолюючого шару, в якому розташований заряд аерозольутворювальної сполуки, горіння котрої ініціюється механічним або електрозапальником. Аерозоль, який утворюється при горінні, подається потужним скерованим струменем на відповідний об'єкт або в захищений об'єм у відповідній концентрації. При цьому пристрій може розташовуватись як стаціонарно, так і бути переносним і використовуватись в комбінації з окремо встановленими генераторами ударних хвиль. Загальна будова ГВА з горизонтальним розташуванням наведена на рис. 5.1 та з вертикальним – на рис. 5.2.

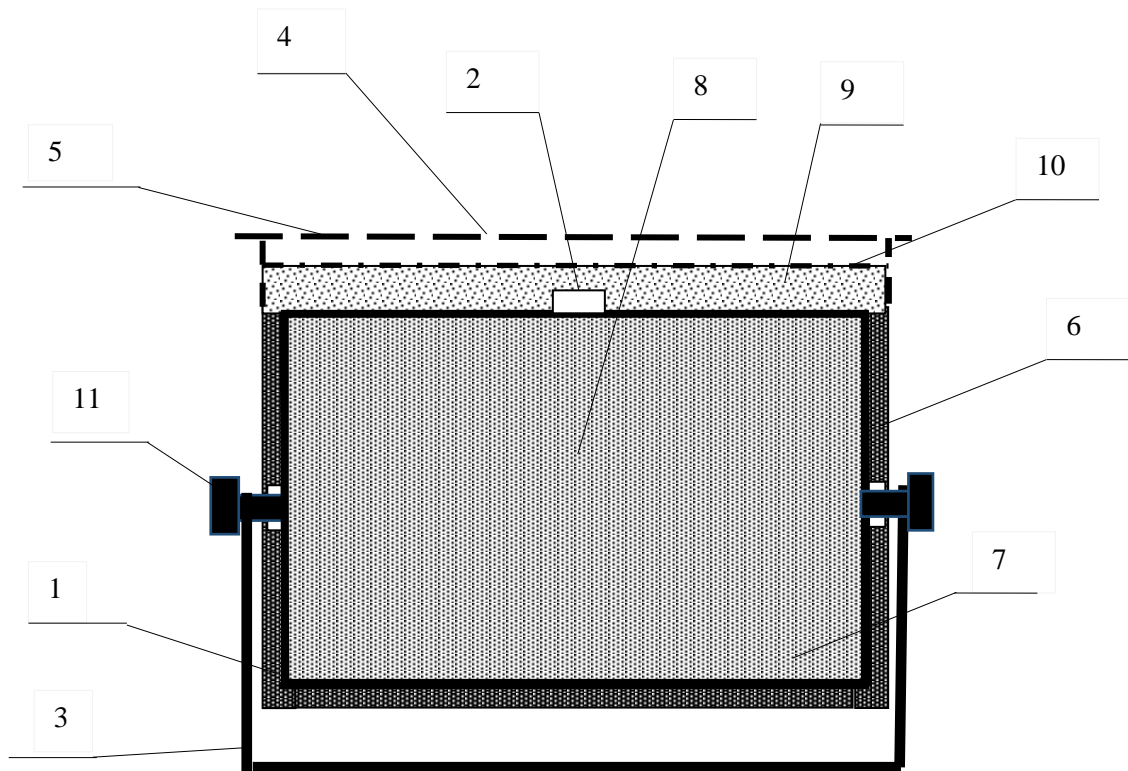


Рисунок 5.1 – Генератор вогнегасного аерозолю горизонтального розташування:

1 – корпус генератора; 2 – запальник; 3 – кріплення; 4 – верхня кришка; 5 – сопла; 6 – теплоізолюючий шар; 7 – заряд аерозольутворювальної сполуки; 8 – внутрішній канал; 9 – сітчастий блок, або хімічний гранульований охолоджувач, або камера згоряння; 10 – утримуюча решітка; 11 – болтове з'єднання

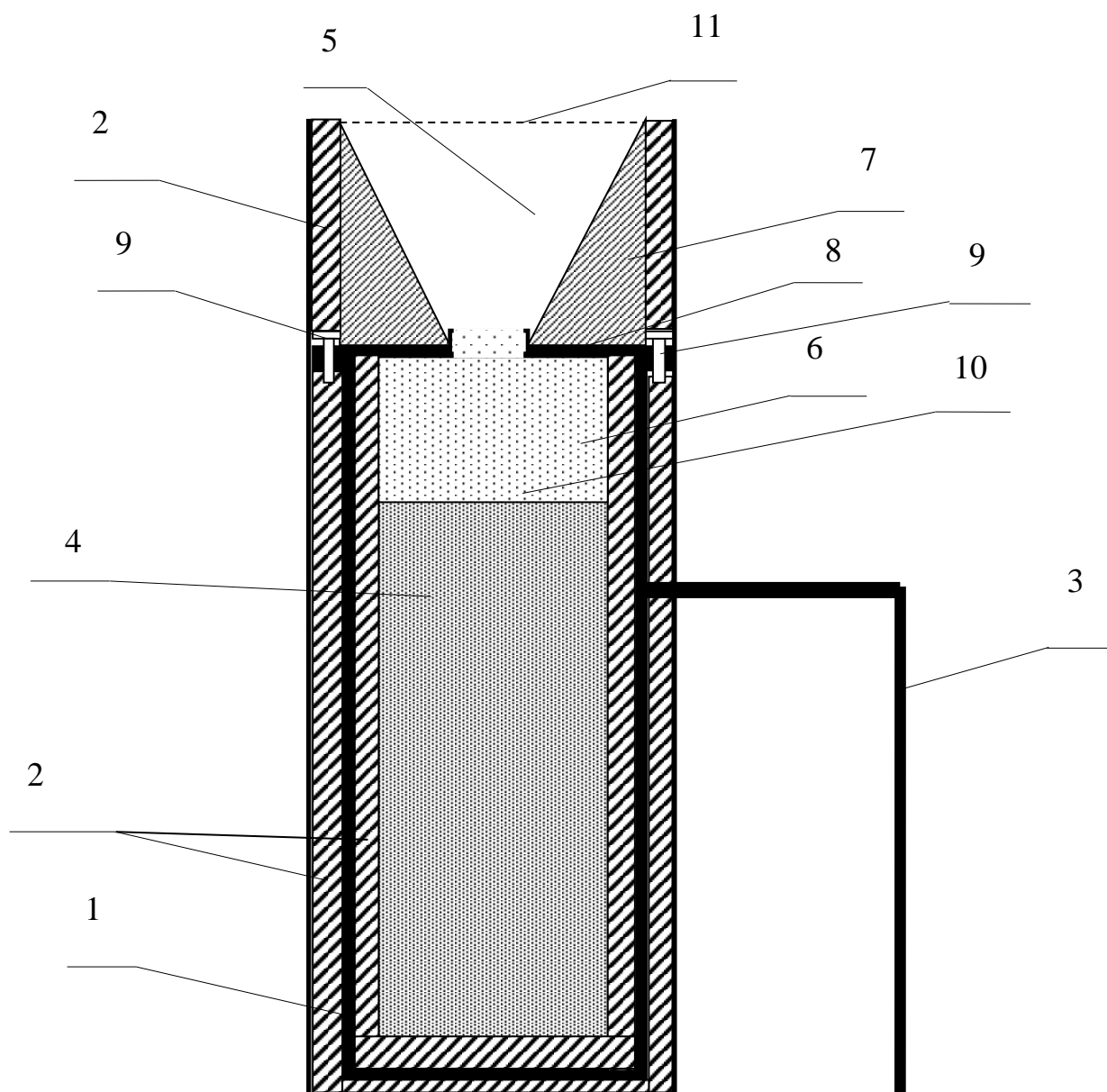


Рисунок 5.2 – Генератор вогнегасного аерозолію вертикального розташування: 1 – корпус генератора; 2 – теплоізолюючий шар; 3 – кріплення; 4 – аерозольутворювальний заряд; 5 – сопло; 6 – сітчастий блок або хімічний гранульований охолоджувач; 7 – теплоізолятор; 8 – верхня кришка; 9 – болтові кріплення; 10 – електро запальник; 11 – плавка плівка.

Принцип роботи генераторів вогнегасного аерозолю такий: на запальник подають електричний імпульс, що приводить до його спрацювання та який підпалює заряд аерозольотворювальної сполуки, з якої генерується вогнегасний аерозоль, що потрапляє на сітчастий блок, де відбувається охолодження аерозолю, який викидається під тиском через сопло у вигляді струменя на гасіння пожежі. При цьому вогнегасний аерозоль проплавляє ізолювальну плавку плівку.

Пристрої можуть кріпитись в захищеному об'ємі як в горизонтальному, так і в вертикальному положенні, що дає можливість ефективніше використовувати спрямований струмінь аерозолю та спрямовані ударні хвилі.

5.1.2. Пристрої комбінованого гасіння вогнегасним аерозолем та ударними хвилями

Поєднання вогнегасної дії ГВА та ударних хвиль в одному корпусі було реалізоване в пристрої, показаному на рис. 5.3.

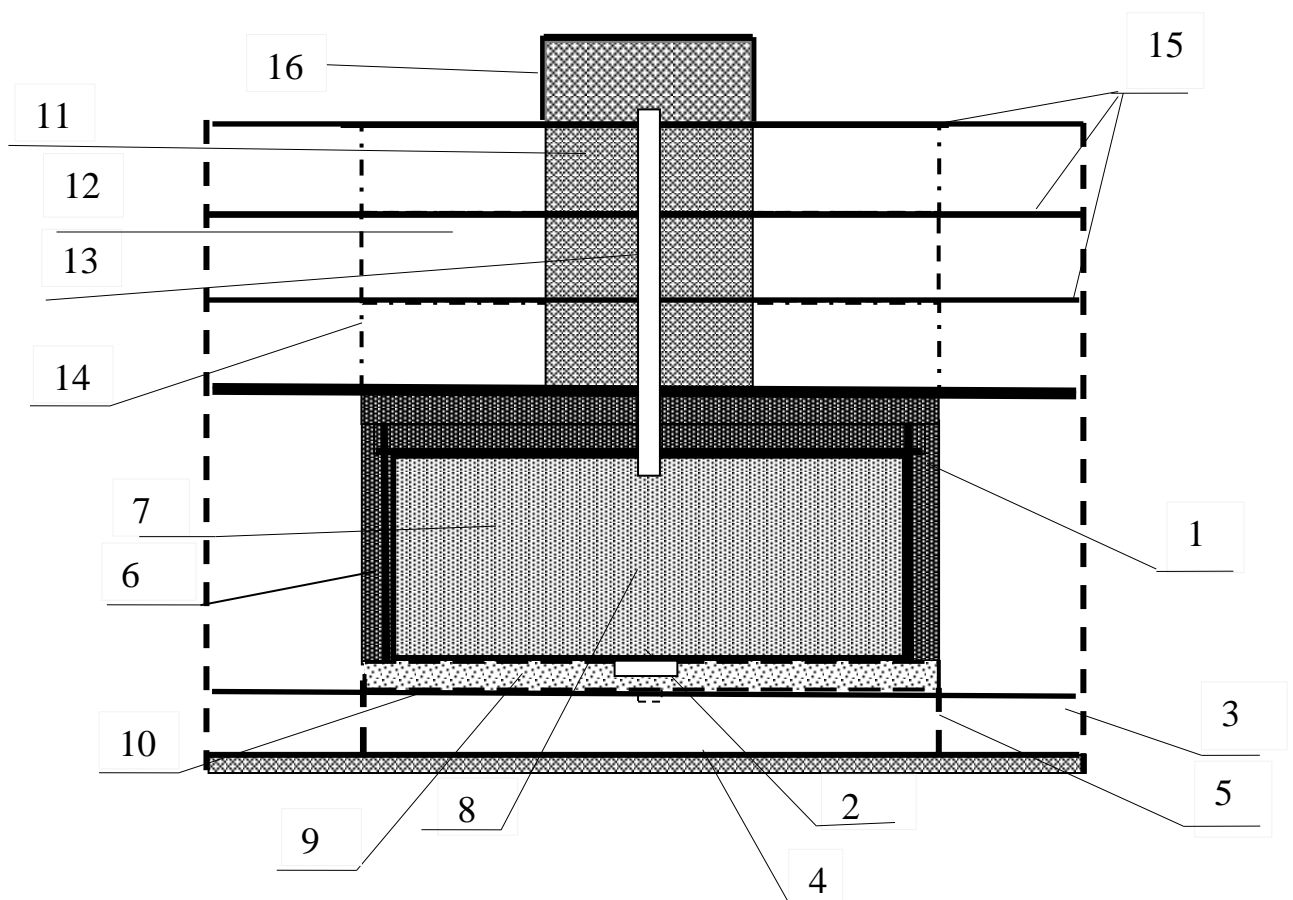


Рисунок 5.3 – Пристрій комбінованого гасіння вогнегасним аерозолем та ударними хвилями горизонтального розташування: 1 – корпус генератора; 2 – запальник; 3 – кріплення; 4 – кришка; 5 – сопло; 6 – теплоізолюючий шар; 7 – заряд аерозоль утворювальної сполуки; 8 – внутрішній канал; 9 – сітчастий блок або хімічний гранульований охолоджувач; 10 – утримуюча решітка; 11 – піротехнічні заряди; 12 – піротехнічний запальник; 13 – спрямовуючі секції; 14 – ізолювальна плівка; 15 – спрямовуючі пластини; 16 – ізолювальна оболонка

Пристрій комбінованого гасіння вогнегасним аерозолем та ударними хвилями, виконаний на основі ГВА, і додатково обладнаний генератором ударних хвиль, який складається з піротехнічних зарядів і вогнепровідних шнурів, що розміщені в циліндричних корпусах генератора ударних хвиль. Будову пристрою показано на рис. 5.4. та рис 5.5.

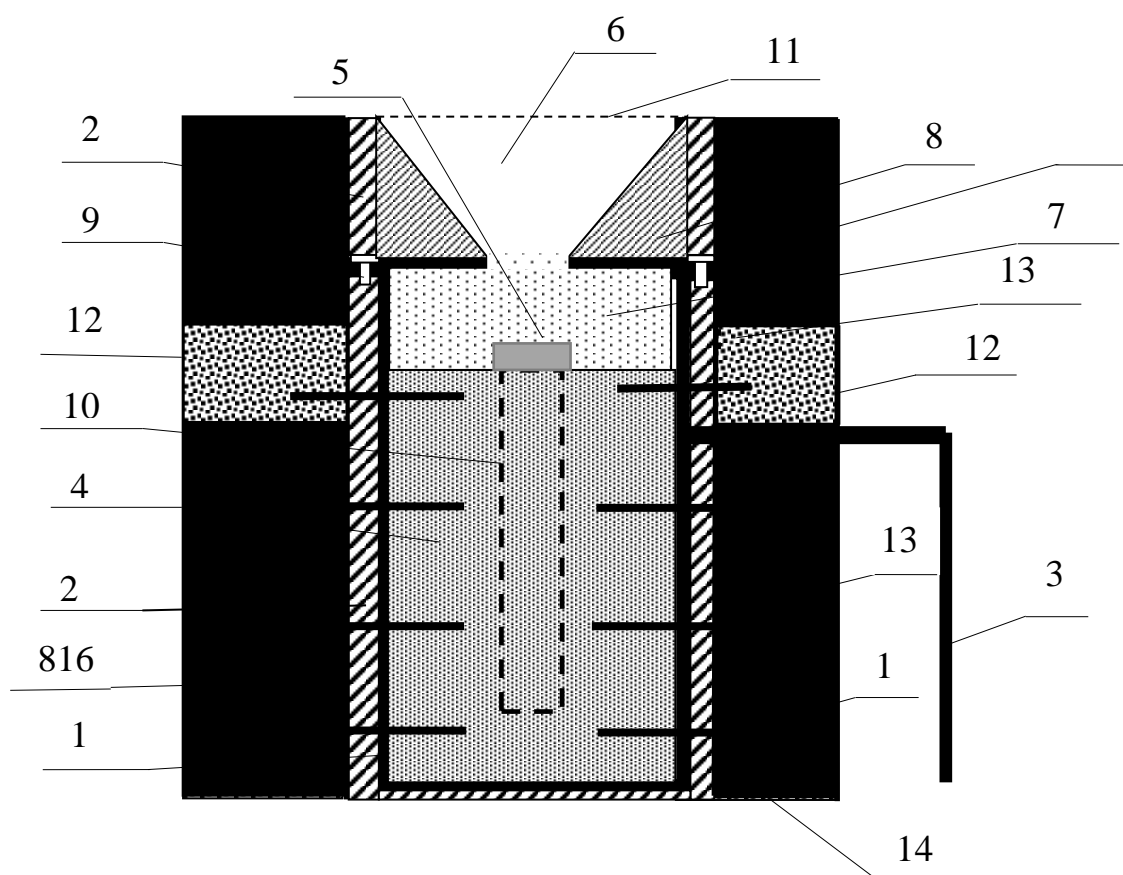


Рисунок 5.4 – ПКГ аерозольно – ударний вертикального розташування:

1 – корпус; 2 – теплоізолюючий шар; 3 – кріплення; 4 – аерозольутворювальний заряд; 5 – запальник; 6 – сопло; 7 – сітчастий блок або хімічний гранульований охолоджувач; 8 – теплоізолятор; 9 – болтові кріплення; 10 – внутрішній канал; 11 – ізолююча плівка; 12 – спрямовуючі циліндри; 13 – піротехнічні заряди; 14 – нижня основа; 15 – вогнепровідні шнури; 16 – міжзарядні перегородки

Принцип роботи пристроїв комбінованого гасіння вогнегасним аерозолем та ударними хвилями такий: на запальник подають електричний імпульс, що запальник спрацьовує та підпалює заряд аерозольутворювальної сполуки, яка при горінні генерує вогнегасний аерозоль, який потрапляє на сітчастий блок, де відбувається його охолодження. Аерозоль у вигляді струменя викидається під тиском через сопло на гасіння пожежі. При цьому вогнегасний аерозоль проплавляє ізолювальну плавку плівку. Одночасно при горінні АУС запалюються вогнепровідні шнури, які після заповнення аерозолем об'єму з заданою частотою підпалюють піротехнічні заряди, що вибухають та утворюють ударні хвилі, які скеровано діють на можливі вогнища горіння. Пристрій містить відповідну кількість АУС, яка забезпечує необхідну концентрацію аерозолу та піротехнічні заряди які можуть спрацьовувати на різних проміжках часу існування аерозолу в діапазоні від 2 до 10 хвилин.

Пристрої можуть кріпитись в захищеному об'ємі як в горизонтальному, так і в вертикальному положенні, що дає можливість ефективніше використовувати спрямований струмінь аерозолу та спрямовані ударні хвилі.

5.1.3. Пристрій комбінованого гасіння бінарною газоаерозольною сумішшю

Пристрій ПКГ забезпечує подачу бінарної вогнегасної суміші вогнегасного аерозолу та CO₂. Пристрій виконаний в 2-х варіантах для подачі спрямованого струменя бінарної газоаерозольної суміші. Будова пристроїв показана на рис.5.5 та 5.6.

Принцип роботи пристрою ПКГ з подачею бінарної суміші побудований на основі попереднього пристрою, за винятком того, що одночасно під час

горіння АУС одночасно з аерозолем вивільняється газова вогнегасна речовина, яка надходить в ємність разом із зарядом АУС, що приводить до змішування аерозолю та газу вже в об'ємі та утворення бінарної газоаерозольної суміші. Кожен пристрій містить відповідну кількість АУС, яка в сумі забезпечує необхідну концентрацію аерозолю. Кожен пристрій може працювати як автономно, так і автоматично від електричного імпульсу керуючого пристрою.

Пристрої можуть кріпитись в захищеному об'ємі як в горизонтальному, так і в вертикальному положенні, що дає можливість ефективніше використовувати спрямований струмінь бінарної газоаерозольної суміші. Пристрої можуть працювати в поєднанні з генераторами ударних хвиль.

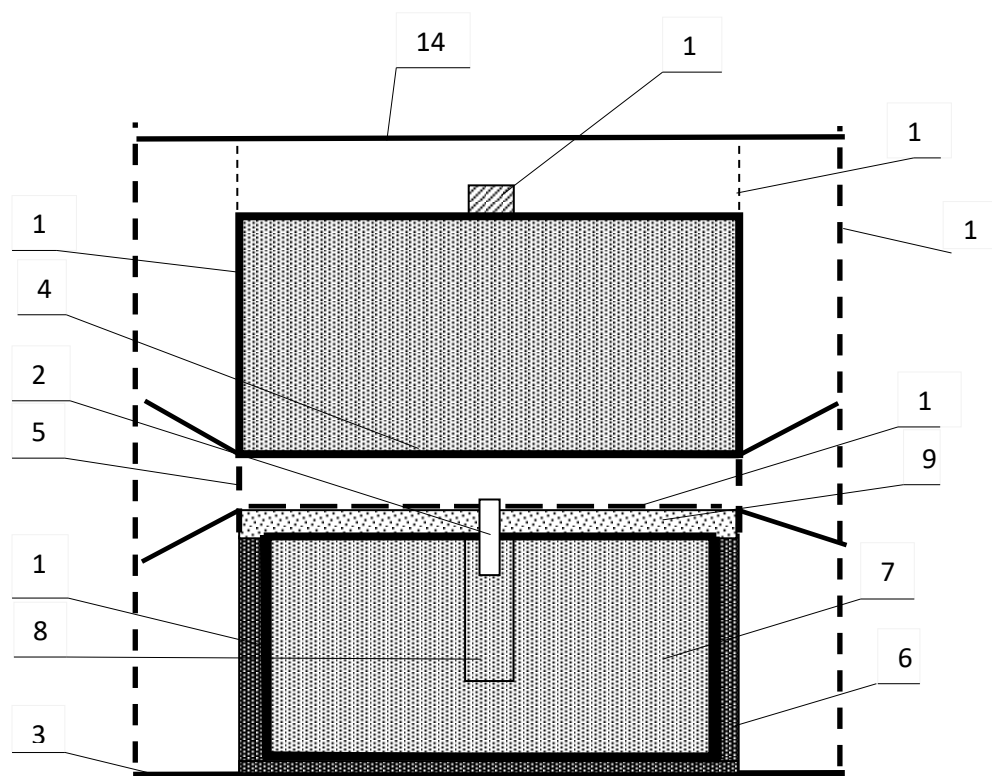


Рисунок 5.5 – ПКГ комбінованої подачі бінарної газоаерозольної суміші горизонтального розташування: 1 – корпус генератора; 2 – запальник; 3 – кріплення; 4 – кришка; 5 – сопло; 6 – теплоізолюючий шар; 7 – заряд аерозольутворювальної сполуки; 8 – внутрішній канал; 9 – сітчастий блок або хімічний гранульований охолоджувач; 10 – утримуюча решітка; 11 – ємність з газовою речовиною; 12 – запірно-випускна головка; 13 – сопло; 14 – верхня кришка; 15 – зовнішня оболонка.

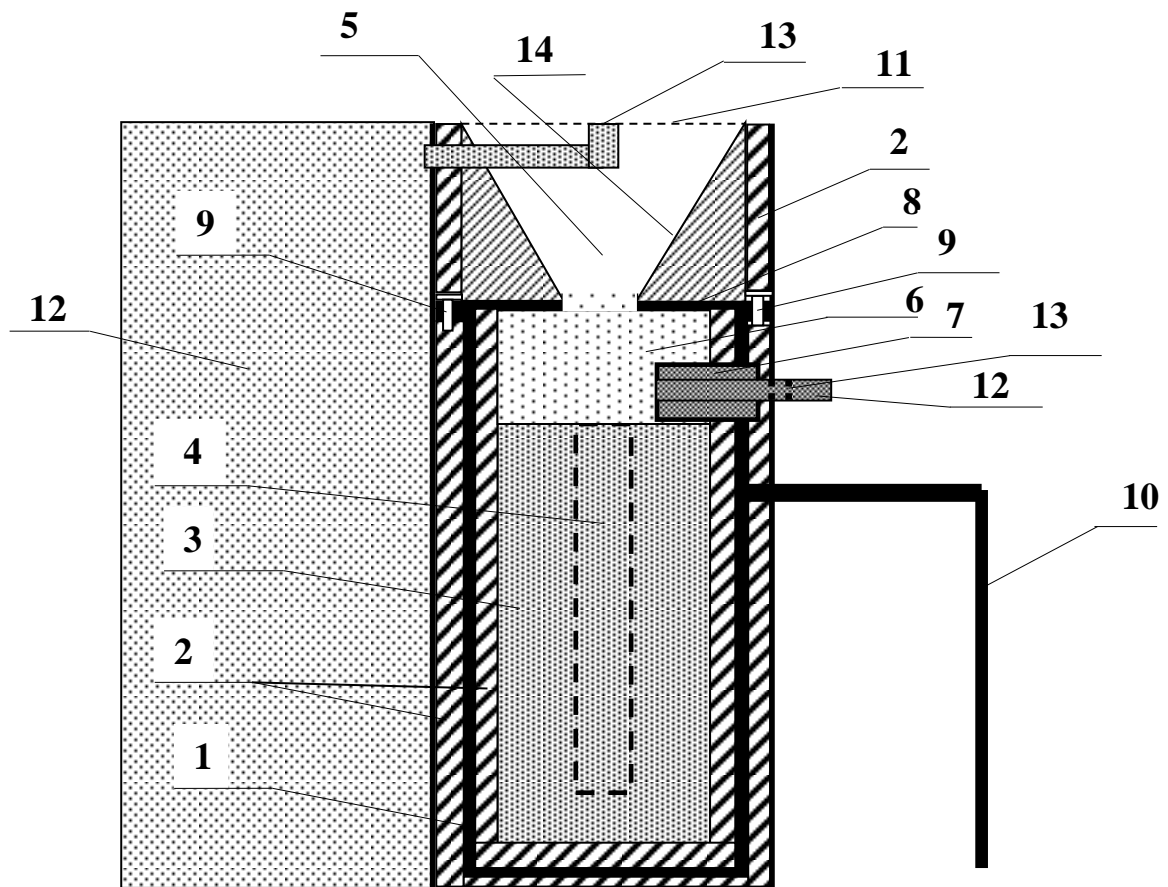


Рисунок 5.6 – ПКГ бінарною газоаерозольною сумішшю вертикального розташування: 1 – корпус генератора; 2 – теплоізолюючий шар; 3 – аерозольутворювальний заряд; 4 – внутрішній канал; 5 – сопло; 6 – сітчастий блок або хімічний гранульований охолоджувач; 7 – електрозапальник; 8 – верхня кришка; 9 – болтові кріплення; 10 – кріплення; 11 – плавка плівка; 12 – ємність з газовою вогнегасною речовиною; 13 – патрубок випуску газової вогнегасної речовини; 14 – основа сопла

5.1.4 Пристрій комбінованого гасіння та запобігання пожежам швидкої дії бінарною газоаерозольною сумішшю та ударними хвилями

Пристрій комбінованого гасіння бінарною газоаерозольною сумішшю та ударними хвилями, горизонтального розташування може подавати бінарну вогнегасну суміш вогнегасного аерозолу і CO_2 (N_2) та серії ударних хвиль з

заданою частотою. Пристрій теж виконаний в 2-х варіантах для подачі спрямованого струменя бінарної газоаерозольної суміші. Будова пристроїв показана на рис. 5.7 та 5.8

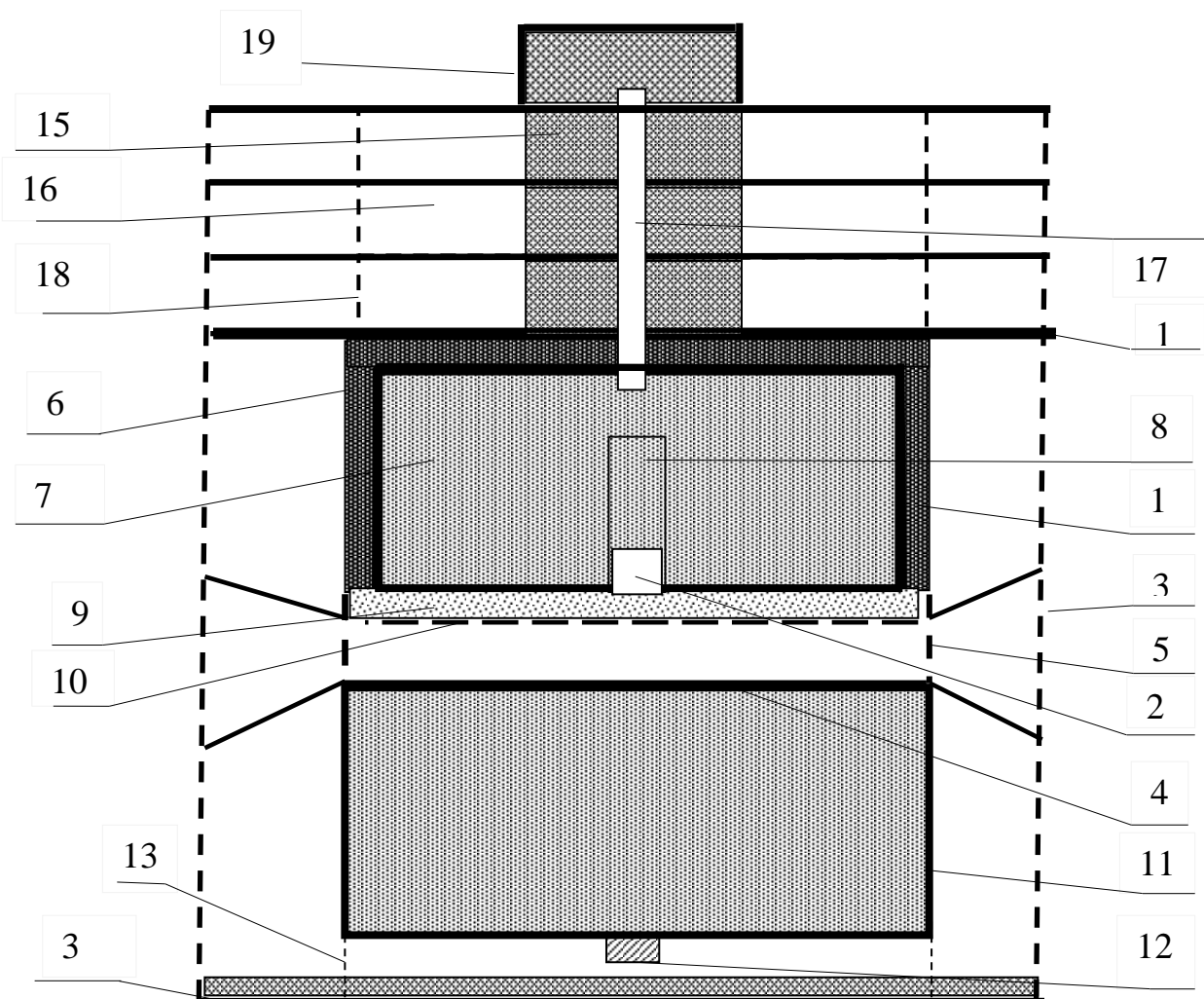


Рисунок 5.7 – ПКГ бінарною газоаерозольною сумішшю та ударними хвилями горизонтального розташування: 1 – корпус генератора; 2 – запальник; 3 – зовнішня оболонка; 4 – кришка; 5 – сопло; 6 – теплоізолюючий шар; 7 – заряд аерозольотворювальної сполуки; 8 – внутрішній канал; 9 – сітчастий блок або хімічний гранульований охолоджувач; 10 – утримуюча решітка; 11 – ємність з газовою речовиною; 12 – запірно-випускна головка; 13 – сопло; 14 – верхня кришка; 15 – піротехнічні заряди; 16 – спрямовуючі секції; 17 – вогнепровідний шнур; 18 – плавка плівка; 19 – ізолювальна оболонка

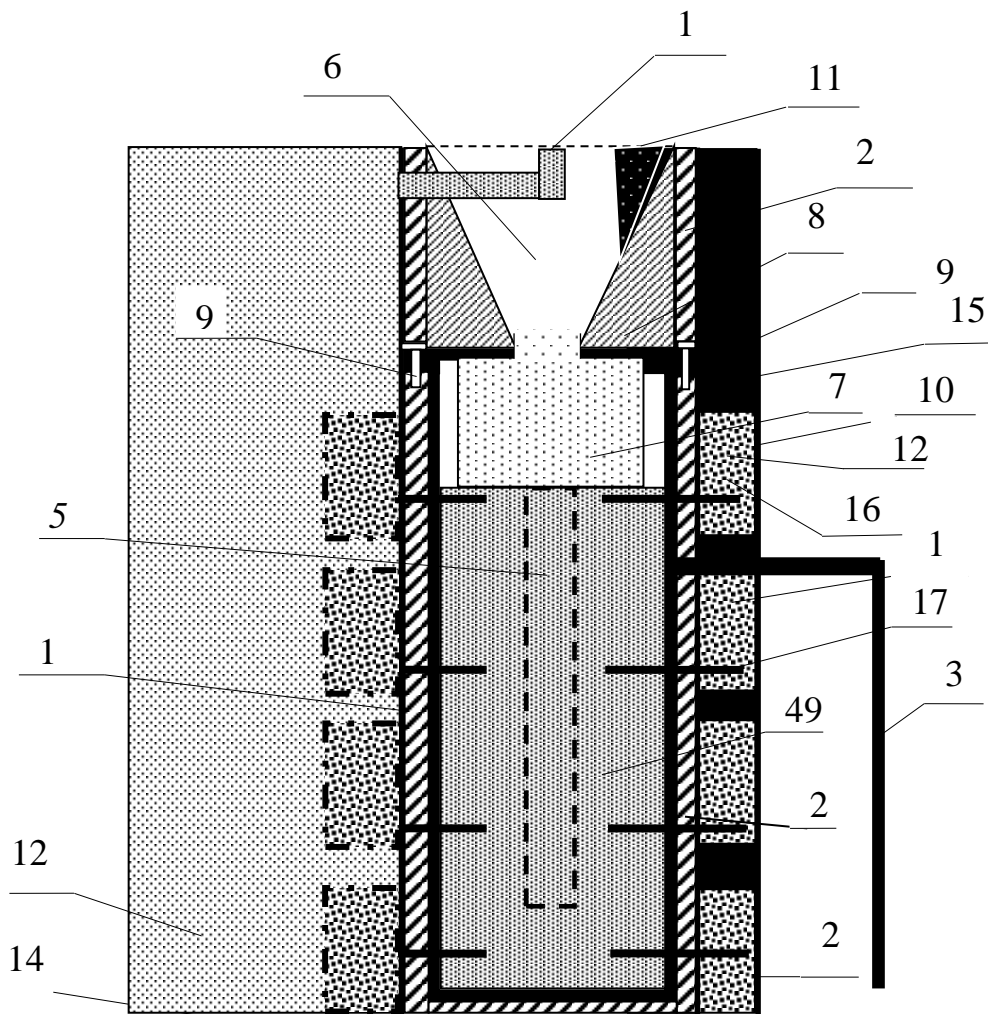


Рисунок 5.8 – ПКГ бінарною газоаерозольною сумішшю та ударними хвилями вертикального розташування: 1 – корпус генератора; 2 – теплоізолюючий шар; 3 – кріплення; 4 – аерозольутворювальний заряд; 5 – внутрішній канал; 6 – сопло; 7 – сітчастий блок або хімічний гранульований охолоджувач; 8 – теплоізолятор; 9 – болтові кріплення; 10 – електрозапальник; 11 – плавка плівка; 12 – ємність з газовою вогнегасною речовиною; 13 – патрубок випуску газової вогнегасної речовини; 14 – нижня основа; 15 – направляючі циліндри; 16 – піротехнічні заряди; 17 – вогнепровідні шнури

Принцип роботи пристрою комбінованого гасіння подачею бінарної газоаерозольної суміші та ударними хвилями повністю відтворює схему роботи попереднього пристрою за винятком того, що кожен пристрій містить відповідну кількість АУС, яка в сумі забезпечує необхідну концентрацію

аерозолі. Кожен пристрій має можливість спрацювання як автономно, так і від електричного імпульсу керуючого пристрою.

Одночасно при горінні АУС запалюються вогнепровідні шнури, які після заповнення аерозолем об'єму через 2-10 хвилин з заданою частотою підпалюють піротехнічні заряди, що вибухають та скеровано діють на можливі вогнища горіння. Пристрій містить відповідну кількість АУС для створення заданої концентрації в відповідному об'ємі.

Пристрої можуть кріпитись в захищеному об'ємі як в горизонтальному, так і в вертикальному положенні, що дає можливість ефективніше використовувати спрямований струмінь бінарної газоаерозольної суміші. Пристрої можуть працювати в поєднанні з генераторами ударних хвиль.

Спрацювання пристрою відбувається при подачі вогневого, або електричного імпульсу на вузол запалювання, який в свою чергу запалює АУС. 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 газоаерозольної суміші в зону горіння. Потім на згадану суміш починають діяти серіями ударних хвиль. Технічні параметри ПКГ показані в таблиці 5.2.

Для проведення полігонних випробувань та з метою впровадження ПКГ в системи пожежогасіння на реальних об'єктах, було виготовлено партії ГВА та ПКГ з заданими параметрами на основі розробленого проекту технічних умов (додаток А).

Таблиця 5.2

Технічні параметри ГВА, ГУХ та ПКГ із використанням серій ударних хвиль та обґрунтованими технічними параметрами на об'єм 65м³

Модель ПКГ	Концентрація аерозолі, г/м ³		Вага заряду АУС, г	Концентрація, газів, %		Загальний об'єм газів, л		Р УХ, Па	τ заг, хв	τ підв вогн дії, с
				CO ₂	N ₂	CO ₂	N ₂			
ГВА-65Г ГВА-	Св	50	3250	—	—	—	—	—	25	—

65В										
ПКГ - 65АУГ ПКГ - 65АУВ	Са	30	1950	–	–	–	–	5820	25	3 серії по ЗУХ 0,3 с
ПКГ - 65БКУГ ПКГ - 65БКУВ	Са	14,7	956	5	–	4550	–	5820	25	3 серії по ЗУХ 0,3 с
ПКГ - 65БУАГ ПКГ - 65БАУВ	Са	19,2	956	–	5	–	4550	5820	25	3 серії по ЗУХ 0,3 с
ГУХ 2	-	-	-	-	-	-	-	8600	25	6 серій по ЗУХ 0,3 с

Для коректного передавання призначення та принципу роботи розроблених ГВА та ПКГ було розроблено відповідне маркування.

Так ГВА- 65Г – генератор вогнегасного аерозолю з об’єм захисту – 65 м³;
Г – горизонтального встановлення; В – вертикально встановлення.

ПКГ-65АУГ – Пристрій комбінованого гасіння. Об’єм захисту – 65 м³; А - аерозоль. У – ударні хвилі; Г – горизонтального розташування; В – вертикально встановлення.

ПКГ- 65БУКГ – Пристрій комбінованого гасіння. Об’єм захисту – 65 м³.
Б – бінарна суміш; К – карбон; У – ударні хвилі; Г – горизонтального встановлення; В – вертикально встановлення.

ПКГ-65БУАГ – Пристрій комбінованого гасіння. Об’єм захисту – 65 м³; Б – бінарна суміш; А – Азот; У – ударні хвилі; Г- горизонтального встановлення; В – вертикального встановлення.

В ГВА та ПКГ в якості АУС використовували суміш на основі ідітолу – 80%, та нітрату калію – 20%. Згенерований з неї 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.

Клас небезпеки калію нітрату (KNO₃) III (ГОСТ 4217-77); клас небезпеки III ідітолу [367]. АУС є вибухопожежонебезпечною і при згоранні розпадається на компоненти з такими фізико-хімічними властивостями (таблиця 5.3)

Таблиця 5.3

Клас небезпеки та особливості дії на організм продуктів згорання АУС

Назва компоненту	Хімічна формула	ГДК, мг*м ⁻³	Клас небезпеки	Особливості дії на організм
Калію гідрокарбонат	KHCO ₃	5,0	III	Сильно подразлива дія на слизові оболонки, руйнування верхнього епітеліального шару
Калію карбонат	K ₂ CO ₃	2,0	III	Подразлива дія на слизові оболонки
Вуглекислий газ. Карбон (IV) оксид	CO ₂		IV	Подразлива дія на слизові оболонки
Водяна пара	H ₂ O (пара)		IV	
Карбон (II) оксиду	CO	20	IV	Головний біль. Запаморочення, безсоння, втрата свідомості
Нітроген азот	N ₂			Асфіксія, запаморочення, втрата свідомості

Для створення бінарних газоаерозольних сполук було взято технічні CO₂ або азот в ємностях під тиском, виготовлених згідно з ГОСТ [368].

Експериментальні взірці генераторів вогнегасного аерозолі виготовлено згідно з ТУ 28.29-39299386-0002:2016 на базі підприємства «Експерт 112», м. Київ у кількості 12 одиниць на об'єм захисту 150м³ та 2 одиниць на об'єм захисту 60 м³. Ефективність генератора вогнегасного аерозолі підтверджено

протоколами випробувань № 19/3-2017 від 10.04.2017, які надані «Науково-дослідним центром «Пожежна безпека» Українського науково-дослідного інституту цивільного захисту, м. Київ. На генератори вогнегасного аерозоліу отримано сертифікат відповідності UA 1.182.0005778-17. Акти виготовлення від 26.08.2016, сертифікати відповідності, протоколи випробувань наведені у додатках.

5.1.5. Розроблення автономної установки аерозольного пожежогасіння для малих об'ємів

Наступний пристрій, який був розроблений, випробуваний та впроваджений, – це автономна установка аерозольного пожежогасіння з об'ємами захисту 15, 25, 45, 60, 100, 300, 600, 1000 літрів. Автономна установка аерозольного пожежогасіння може використовуватись у комбінації з генераторами ударних хвиль малих потужностей (табл. 5.6).

Автономна установка аерозольного пожежогасіння є засобом об'ємного пожежогасіння і виконує функції виявлення та гасіння пожежі незалежно від зовнішніх джерел живлення, систем управління, не пов'язана з установкою автоматичної пожежної сигналізації, не видає сигнал про пожежу для персоналу та призначена для локалізації та гасіння пожеж легкозаймистих і горючих рідин, твердих горючих матеріалів і електрообладнання, в тому числі такого, що знаходиться під напругою, горючих газів та жирів.

Установки застосовуються для протипожежного захисту електричного та електронного обладнання, розміщеного в локальних об'ємах (шафах, електрошафах, електрощитових, розподільних щитах, нішах, каналах, відсіках, серверах, серверних приміщеннях і т.п.); устаткування транспортних засобів (автомобілів, залізничних локомотивів і вагонів, повітряних і морських суден), розміщене в локальних обсягах (шафах, моторних і технічних відсіках, трюмах, контейнерах і т.п.); вміст банківських сховищ, сейфів, комірок.

При використанні установок слід керуватися діючими нормативними документами, в тому числі ДСТУ 4490:2005 «Установки автоматичні аерозольного пожежогасіння».

Установки не застосовуються для гасіння лужних і лужноземельних металів, тліючих матеріалів, а також речовин, горіння яких відбувається без доступу повітря.

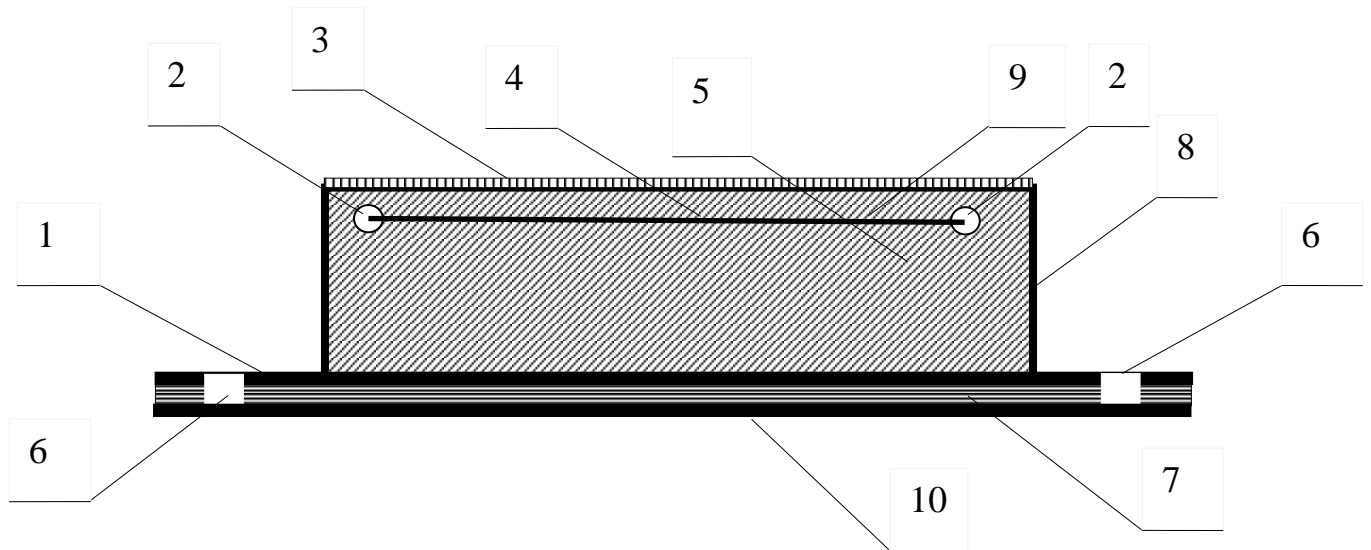


Рисунок 5.9 – Автономна установка аерозольного пожежогасіння для малих об'ємів: 1 - основа ; 2 – отвори вихідні; 3 – отвори; 4 - вузли ініціювання; 5 - аерозольутворювальний заряд; 6 - наскрізні отвори; 7 – теплоізолююча пластина; 8 – корпус; 9 - вогнепровідні шнури; 10 - клейка основа

Принцип роботи автономної установки аерозольного пожежогасіння такий: установка кріпиться клейкою основою або додатково шурупами через наскрізні отвори до поверхні в верхній частині захищуваного об'єму, або в місцях найбільш ймовірного виникнення горіння. При загрозі виникнення займання в об'ємі, спрацьовують вузли ініціювання, що передають вогневий імпульс через вогнепровідні шнури, які проходять по периметру корпуса та контактують через отвори з аерозольутворювальним зарядом. Аерозольутворювальний заряд при згорянні викидає утворений вогнегасний аерозоль через вихідні отвори в захищений об'єм. При цьому теплоізолююча пластина, яка містить наскрізні отвори та розташована під основою, виконує роль ізолятора від тепла горіння аерозольутворювального заряду. Автономна установка аерозольного пожежогасіння має компактні габарити, зменшений час роботи, високу ефективність гасіння пожеж класу А, В, С, Е, F, тривалий експлуатаційний термін, надійність спрацювання при високій температурі та можливість одночасного спрацювання в групах.

Технічні характеристики автономної установки аерозольного пожежогасіння наведено в таблиці 5.4.

Таблиця 5.4

Технічні характеристики автономних установок аерозольного пожежогасіння

Об'єм захисту	FIRESTOP15	FIRESTOP25	FIRESTOP45	FIRESTOP60	FIRESTOP100	FIRESTOP300	FIRESTOP600	FIRESTOP100
ТТХ								
Максимальний захищений умовно герметичний об'єм, м ³	0,015	0,025	0,045	0,06	0,1	0,3	0,6	1
Маса аерозольотворювального заряду, кг	0,0012	0,0018	0,0028	0,005	0,006	0,015	0,03	0,050
Вогнегасна здатність аерозолі, кг/м ³	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Час роботи, с	5	15	15	15	15	15	15	15
Габаритні розміри, мм:								
довжина:	100	100	160	160	160	160	290	
ширина:	100	100	90	160	216	360	290	
висота:	75	130	165	165	165	165	165	

Умови експлуатації: інтервал робочих температур – 40 - + 100 °С відносна вологість при 25 °С, % – 80. Розмір зони пожежонебезпеки – 1 м.

Для запуску установки може використовуватись електричний імпульс від прийнятно контрольного приладу системи пожежогасіння або від автономного вузла запуску "FireStop". Електричний опір між корпусом генератора і клемми для підключення шлейфу запуску при нормальних кліматичних умовах не менше 1 МОм. Застосування автономного вузла запуску "FireStop", що спрацьовує при досягненні в захищеному об'ємі заданої температури від 72°С до 200°С ±5°С, дає змогу кожному генератору працювати повністю автономно.

Параметри електричного сигналу необхідні для запуску ГВА і контролю стану ланцюга електричного запуску при експлуатації ГВА в складі установки аерозольного пожежогасіння:

- мінімальне значення пускового струму – 0,4 А;
- мінімальне значення напруги – 3 V;
- струм контролю не більше 0,18 А
- тривалість електричного імпульсу – не менше 1 с;
- опір електричного кола вузла запуску - 1,5...4,2 Ом.

Склад газової фази який утворюється при горінні АУС на основі ідітолу наведено в таблиці 5.5.

Таблиця 5.5

Приблизні концентраційні співвідношення газових компонентів при горінні АУС на основі ідітолу [178, 186, 334]

Компонент	Концентрація, мг/м ³	Об'ємна доля, %	Концентрація, мг/г
NH ₃	45	0,0070	0,272
NO ₂	28,3	0,0012	0,187
HCN	24,6	0,0022	0,163
CO ₂	562	0,05	3,552
CH ₄	272	0,038	1,630

Масовий склад дисперсної фази:

- 2K₂CO₃*3H₂O - 54,7%;
- NH₄HCO₃ - 22,7%;
- KHCO₃ - 15,2%;
- KNO₃ - 1,9%;
- інші сполуки - 5,5%.

Установка зберігає свою цілісність, працездатність і не самоспрацьовує при падінні з висоти 5 м на підлогу. Інерційність (час спрацьовування) у всьому діапазоні температур експлуатації пристрою – не більше 5 с.

Максимальна температура кришки і основи корпусу пристрою не перевищує 200 °С. Імовірність безвідмовного пуску становить не менше 96 %. Імовірність виникнення відмови пристрою становить не вище 4 %.

При розроблені пристроїв було враховано подвійний коефіцієнт запасу вогнегасного засобу при застосуванні в значних об'ємах та умовно герметичних приміщеннях. Параметри розроблених пристроїв наведено в технічних умовах «Пристрої комбінованого гасіння» які наведено в додатках. Для полігонних випробувань було виготовлено пристрої з розрахованими кількостями вогнегасного аерозолу, газів (CO₂, N₂) та масами піротехнічних зарядів на створення потужності УХ біля стінки близько 2500 Па на об'єм випробувальної камери – 65 м³. Параметри пристроїв з об'ємом захисту 65м³ наведено в таблиці 7.4. Для виготовлення зазначених установок розроблено ТУ 39299386-0001:2015. Системи виготовлені на базі підприємства «Експерт 112», м. Київ у кількості по 10 одиниць, на відповідні об'єми захисту – 0,015м³, 0,1 м³, 0,6 м³, 1м³, 5 м³ та 10 м³. Ефективність систем підтверджено протоколами випробувань № 12С/НЛПБ-2016 від 24.03.2016, які надані ТОВ «Незалежна лабораторія пожежної безпеки» м. Київ, атестат акредитації № 2Н688 від 05.06.2013.

На автономні установки аерозольного пожежогасіння розроблено і зареєстровано ТУ 39299386-0001:2015 та отримано сертифікат відповідності UA 1.182.0016778-16. Зазначені документи наведено в додатках. На автономні установки аерозольного пожежогасіння отримано патент України на корисну модель № 107100.

5.1.6. Пристрій подачі серій електричних імпульсів з заданою частотою Багр-Ш100 та генератори ударних хвиль

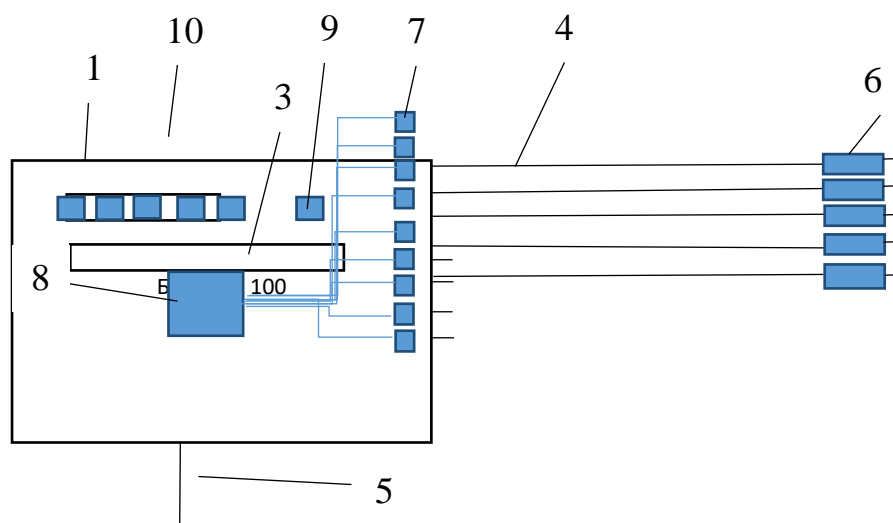


Рисунок 5.10 Схематичне зображення способу підключення до пристрою Багр – Ш100 генераторів ударних хвиль: 1 – корпус; 2 – інформаційне табло; 3 – кнопки керування; 4 – контакти «+»; 5 – загальний контакт «-»; 6 – генератори ударних хвиль; 7 – реле; 8 – мікропроцесор; 9 – кнопка пуску; 10 – інформаційне табло

Пристрій представляє собою електронну плату, яка містить реле, інформаційне табло, мікропроцесор, кнопки керування та пуску. Пристрій Багр – Ш100 має такі функції:

1. Пуск 30 електричних імпульсів з напругою від 12 до 24 В та тривалістю 2 с з частотою від 1 до 100 Гц.
2. Автоматичний пуск електричних імпульсів при досягненні заданої температури спрацювання.
3. Ручний пуск електричних імпульсів.
4. Автоматичний пуск електричних імпульсів при отриманні сигналу з пожежного сповіщувача.

Генератор ударних хвиль.

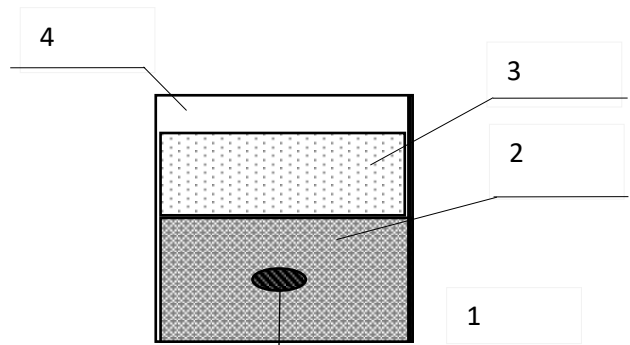
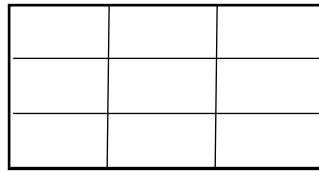


Рисунок 5.11 – Генератор ударних хвиль 3 серій по 3 УХ:

1 – електрозапальник; 2 – піротехнічний заряд; 3 – виштовхувальний пиж; 4 – направляюча камера

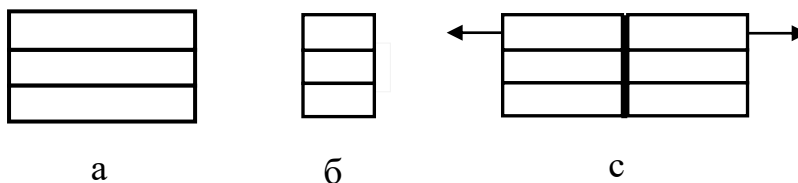


Рисунок – 5.12 Види генераторів ударних хвиль: а – бокового розташування; б - місцевої дії; в – центрального розташування з двосторонньою подачею

Таблиця 5.6

Характеристики генераторів ударних хвиль

Типи і позначення генераторів ударних хвиль	Кількість блоків з вибуховими елементами	Кількість вибухових елементів в блоку	Максимальна відстань розташування ГУХ до ймовірного місця виникнення пожежі, L, м	Маса заряду окремого вибухового елемента, г
ГУХ 1 – 1.3.4.36	1	3	4	36,0 ± 1,0
ГУХ 1 – 3.3.4.36	3	3	4	36,0 ± 1,0
ГУХ 1– 5.3.4. 36	5	3	4	36,0 ± 1,0
ГУХ 1– 1.3.1.3	1	3	1	3± 0,1
ГУХ 1– 3.3.1.3	3	3	1	3± 0,1
ГУХ 1– 3.5.4. 36	3	5	4	36,0 ± 1,0

ГУХ 1– 5.5.4. 36	5	5	4	36,0 ± 1,0
ГУХ 2– 1.3.8.66	1	3	6	66± 1,5
ГУХ 2– 3.3.8.66	3	3	6	66± 1,5
ГУХ 2– 5.3.8.66	5	3	6	66± 1,5
ГУХ 2– 3.5.8.66	3	5	6	66± 1,5
ГУХ 2 – 5.5.8.66	5	5	6	66± 1,5

5.2. Полігонні випробування ПКГ

Полігонні випробування із визначення вогнегасної ефективності проводились з розробленими генераторами ударних хвиль, генераторами вогнегасного аерозолі та пристроями комбінованого гасіння за методиками, наведеними нижче, відповідно до вимог ДСТУ 4490:2005 [152]. Акт випробувань подано в додатках.

Полігонні випробування вогнегасної ефективності ГУХ-2 проводили в приміщенні для випробувань об'ємом – 65м³ з розмірами 6×4×2,7м, негерметичність якого становила 0,5 %. Як паливо використовували n-гептан. Суміш заливали у дека 3В діаметром 300 мм та висотою 120 мм розташованих на рівні 800, 1500, 2300 мм, а ГУХи кріпилися на стінку приміщення в межах радіуса ефективної дії УХ. Макетні вогнища класу 3В запалювали та через 10 с, за допомогою пристрою БАГР-ПІ100, здійснювали запуск ГУХ. Результати «Гасіння», «Не гасіння» фіксували за допомогою хромель-алюмелевих термопар. Результати наведені в таблиці 5.7.

Наступний етапом було проведення експериментів з визначення вогнегасної ефективності комбінованої системи яка складається з ГУХ та ГВА.

Полігонні випробування проводились таким чином (рис. 5.1). Генератори вогнегасного аерозолі та ударних хвиль закріплювалися на стінці навпроти вогнищ в межах радіуса ефективної дії УХ. Як паливо використовували n-гептан. Суміш заливали у дека 3В діаметром 300 мм та висотою 120 мм розташовані на рівні 800, 1500, 2300 мм, Макетні вогнища класу 3В запалювали та через 10 с з допомогою батареї з напругою 12 В запускали ГВА. Час горіння ГВА з масою АУС від 956 до 3250 г становив 15-20 с. Після подачі об'ємної

вогнегасної речовини через 20 секунд подавалась перша серія ударних хвиль, потім через кожних 10 секунд запускались наступні серії УХ. За час гасіння $\tau_{\text{гас}}$ приймали час з початку дії УХ до моменту припинення горіння в об'ємі приміщення, що захищається. Пуск ГУХ здійснювали електричними імпульсами від пристрою подачі серій електричних імпульсів з заданою частотою марки Багр-Ш100. Результати полігонних випробувань з гасіння модельних вогнищ ЗВ комбінованими системами ГВА та ГУХ представлені в табл. 5.7.

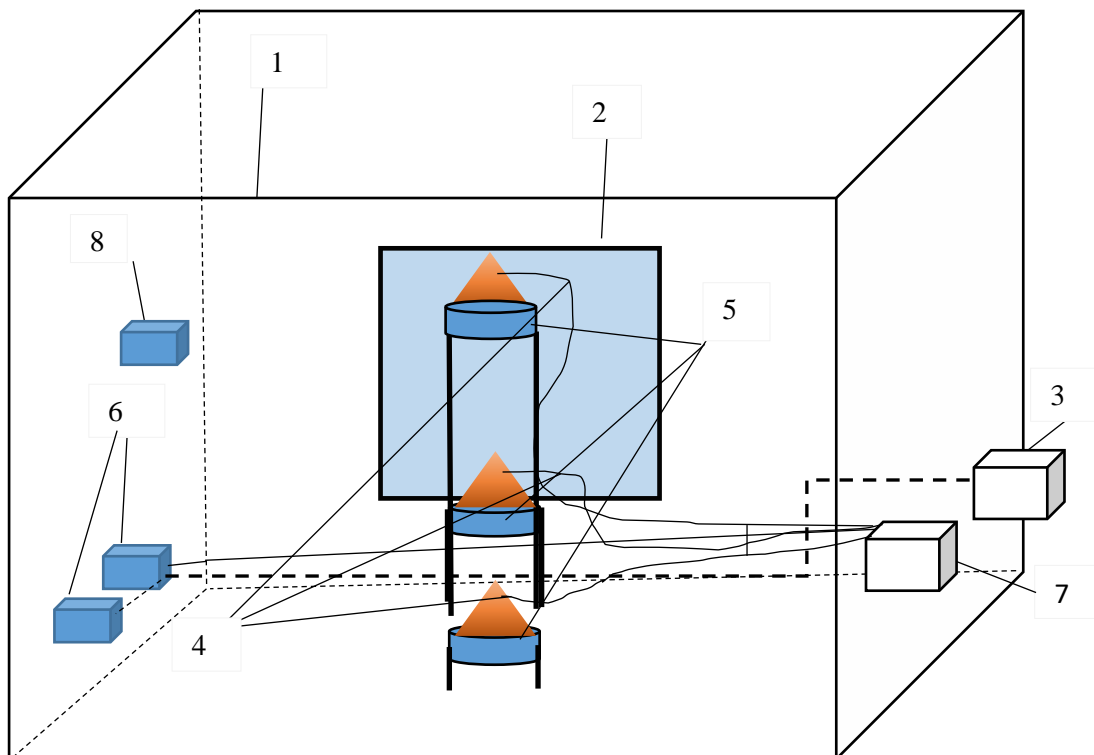


Рисунок 5.13 – Випробування ГУХ, ГВА та ПКГ: 1 – Випробувальне модельне приміщення об'ємом 65 м³ (розмірами 6×4×2,7м); 2 – Спостережний віконний переріз; 3 – Пристрій подачі серій електричних імпульсів з заданою частотою марки Багр – Ш100; 4 – Термопара; 5 – Модельні вогнища; 6 – Генератори ударних хвиль; 7 – Регулятор вимірювач РТ 0102; 8 – Генератор вогнегасного аерозолю

Випробування пристроїв комбінованого гасіння вогнегасним аерозолем та ударними хвилями здійснювали також таким чином. Модельне вогнище

встановлювалось посередині приміщення та попередньо в його центр встановлювали один з варіантів пристрою, ПКГ 2-65УВ, ПКГ 3-65УБКВ, ПКГ 3-65УБАВ, який кріпився на бічній стінці. У встановлений час запалювали вогнище та здійснювали пуск ГУХ та (або) ПКГ. За допомогою хромель-алюмелевої терморпари фіксували моменти «гасіння» «не гасіння». Розташування розроблених пристроїв при їх полігонних випробуваннях показано на рис.5.14.

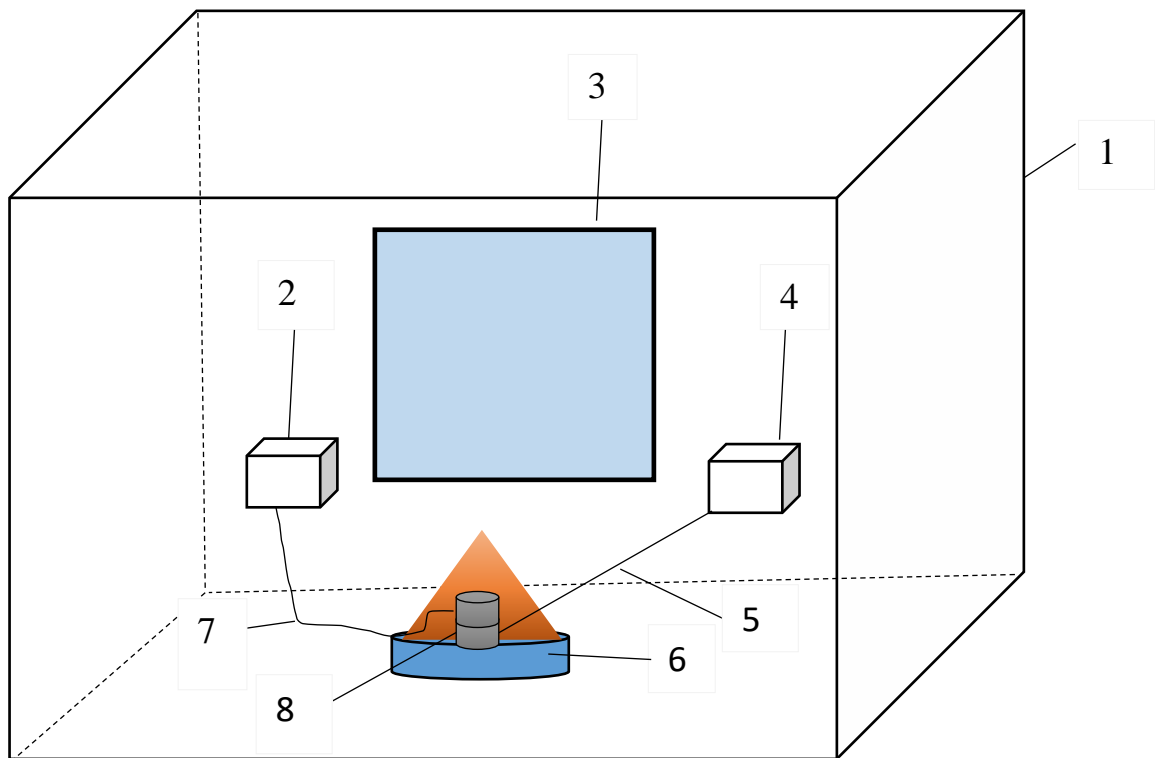


Рисунок 5.14 – Схематичні зображення досліджень з визначення ефективності гасіння об’ємним способом модельного вогнища 21 В у разі застосування пристрою комбінованого гасіння (вогнегасний аерозоль + ударні хвилі) у приміщенні об’ємом 65 м³: 1 – регулятор вимірювач рт 0102; 2 – спостережний віконний отвір; 3 – пристрій подачі серій електричних імпульсів з заданою частотою Багр – ПШ100; 4 – терморпара; 5 – модельне вогнище; 6 – електропровід; 7 – пристрій комбінованого гасіння

Випробування вогнегасної ефективності генераторів ударних хвиль для гасіння модельного вогнища здійснювали таким чином. Модельне вогнище

встановлювали посередині приміщення та попередньо в його центр встановлювали ГУХ, який кріпили на нижній площині вогнища. У встановлений час запалювали вогнище і через 20 с здійснювали пуск ГУХ. За допомогою хромель-алюмелевої термопари фіксували моменти «гасіння», «негасіння». Результати полігонних випробувань наведені в таблиці 5.6

Полігонні випробування розроблених автономних систем гасіння «Firestop» та малогабаритних ГУХ 1– 1.3.1А проводились в камері з об'ємом 25 л. В камері встановлювались електрокабелі, на які кріпилась смужка пінополіуретану розмірами ширина 35мм; висота 60 мм та товщина 25 мм, просочена дизельним паливом. Автономна система гасіння ««Firestop» встановлювалась в верхній частині камери на клейку основу. Генератор ударних хвиль встановлювався в нижній частині камери в напрямку вогнища. Методика проведення випробувань така: у камері підпалювали смужку пінополіуретану та через 20 с здійснювали запуск генератора ударних хвиль або комбіновано ГУХ та «Firestop». Результат «гасіння» «не гасіння» реєстрували хромель-алюмелевою термопарою та вносили в таблицю 5.7.

Таблиця 5.7

Результати досліджень ефективності припинення розвитку пожежі класу В (три модельних вогнища 3В, розташованих на різній висоті у випробувальному приміщенні об'ємом 65 м³ (6×4×2,7м) у разі застосування розроблених генераторів ударних хвиль та пристроїв комбінованого гасіння з їх застосуванням

Типи застосованих генераторів ударних хвиль та пристроїв комбінованого пожежогасіння	Місце розташування генераторів та пристроїв комбінованого пожежогасіння	Результат гасіння	Примітка
ГВА -65Г	Генератор	Горіння	Тривалість гасіння

	розташовано посередині довшої стінки на висоті 1,15 м від рівня підлоги	модельних вогнищ 3В припинено.	не перевищувала 180 с з моменту дії на вогнище аерозолю.
ГУХ – 3.3.8.66	Генератор розташовано посередині довшої стінки на висоті 1,15 м від рівня підлоги та на боковій стінці.	Горіння двох модельних вогнищ, розташованих на висоті 0,8 та 1,5 м припинено. Модельне вогнище на висоті 2,3 м не погашено.	Тривалість гасіння не перевищувала 10с від моменту дії на вогнище ударних хвиль. Повторного займання двох вогнищ на висоті 0,8 та 1,5 м не зафіксовано протягом 120 с.
Комбіноване гасіння ГВА-65Г+ ГУХ 1– 5.3.4. 36 (2 шт)	Генератор вогнегасного аерозолю та 2 генератори ударних хвиль розташовано посередині довшої стінки на висоті 1,15 м від рівня підлоги та на боковій стінці.	Горіння модельних вогнищ 3В припинено.	Тривалість гасіння не перевищувала 9 с від моменту дії на вогнище ударних хвиль. Повторного займання вогнищ не зафіксовано протягом 120 с.
Комбіноване гасіння	Генератор ударних хвиль	Горіння модельного	Тривалість гасіння вогнища не

<p>ГУХ 1– 5.3.4. 36 ГВА-65Г</p>	<p>прикріплено до нижньої площини посередині вогнища 13 В. Генератор вогнегасного аерозолю розташовано посередині довшої стінки на висоті 1,15 м від рівня підлоги.</p>	<p>вогнища 13 В припинено.</p>	<p>перевищувала 9 с від моменту дії ударних хвиль. Повторного займання вогнища не зафіксовано протягом 120 с.</p>
<p>ПКГ - 65БКУГ</p>	<p>Пристрій комбінованого гасіння прикріплено до нижньої площини посередині вогнища 13 В</p>	<p>Горіння модельного вогнища 13 В припинено</p>	<p>Тривалість гасіння не перевищувала 40 с з моменту дії на вогнище УХ</p>
<p>ГУХ 1– 3.3.1.3</p>	<p>Генератор ударних хвиль прикріплено в нижній площині та спрямованого на вогнище.</p>	<p>Горіння модельного вогнища припинено</p>	<p>Тривалість гасіння не перевищувала 10 с моменту дії на вогнище УХ.</p>
<p>Комбіноване гасіння</p>	<p>Генератор ударних хвиль</p>	<p>Горіння модельного</p>	<p>Тривалість гасіння не перевищувала</p>

<p>ГУХ 1– 3.3.1.3 FIRESTOP -15</p>	<p>прикріплено в нижній площині спрямованого на вогнище. FIRESTOP-15 встановлювався в верхній частині камери над вогнищем.</p>	<p>вогнища припинено</p>	<p>10 с з моменту дії на вогнище УХ</p>
--	--	------------------------------	---

Як бачимо, результати полігонних випробувань підтвердили попередньо обґрунтовану та лабораторно визначену вогнегасну ефективність запропонованих способів та розроблених пристроїв комбінованого гасіння горіння.

Загальна ефективна відстань вогнегасної дії серій УХ становила до 3 метрів. У всіх випадках повторного займання модельних вогнищ не відбувалось протягом 15 хв після припинення горіння.

Висновки за розділом

1. На основі отриманих експериментальних залежностей та особливостей гасіння комбінованими системами на основі генераторів ударних хвиль розроблені пристрої комбінованого гасіння, які забезпечують реалізацію використання комбінованого способу гасіння. При цьому генератори ударних хвиль можуть бути як у складі пристрою так і встановлюватись окремо та використовуватись разом з окремо розташованими генераторами ударних хвиль.
2. Запропоновано технічні рішення конструкцій генератора вогнегасного аерозолю, та пристроїв комбінованого гасіння, які забезпечують одночасну подачу в захищений об'єм вогнегасного аерозолю, газових вогнегасних речовин та ударних хвиль. На зазначені пристрої та способи отримано 2 патенти України на винахід та 2 патенти на корисну модель. На генератори вогнегасного аерозолю автономну систему гасіння було розроблено технічні умови, проведено сертифікаційні випробування та отримано сертифікати відповідності.
3. Проведені полігонні випробування показали прогнозовано високу вогнегасну ефективність генераторів вогнегасного аерозолю та пристроїв комбінованого гасіння. На зазначені способи та пристрої отримано протоколи випробувань, в яких зазначено, що вогнегасна ефективність розроблених способів та пристроїв відповідає заявленим показникам. При цьому вогнегасна концентрація вогнегасних компонентів при комбінованій дії в великогабаритних приміщеннях зменшується до 3 разів, а вогнегасного аерозолю та газових вогнегасних речовин (CO_2 , N_2) – до 6 разів порівняно з їх індивідуальними значеннями при дії на середовище серій ударних ударних хвиль потужністю до 2500 Па та частотою близько 10 Гц.

РОЗДІЛ 6

ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

6.1. Рекомендації з використання та особливості забезпечення умов вогнегасної ефективності ПКГ та ГВА в комбінації з ГУХ

Результати експериментів показали, що застосування ударних хвиль в середовищі об'ємної вогнегасної речовини, зокрема аерозолю, газів-розріджувачів та їх бінарних сумішей, підвищує вогнегасну ефективність останніх.

Як було визначено, максимальної вогнегасної ефективності об'ємних вогнегасних речовин досягали при дії на аерозольне середовище серій ударних хвиль з частотою близько 10 Гц, що забезпечило підвищення вогнегасної ефективності об'ємних засобів пожежогасіння до 43 %. Використання ударних хвиль підвищує ефективність аерозольних генераторів та розширює спектр приміщень і об'єктів, де можливе їх ефективне застосування, враховуючи умови, які створюються при проходженні ударних хвиль. Тип приміщення, кількість пожежного навантаження будуть визначати необхідну кількість генераторів. Також необхідно враховувати особливості гасіння аерозолем та його властивості як аеродисперсної системи. Врахувавши ці особливості можна визначати умови застосування АУС та генератора ударних хвиль.

Згоряння аерозольутворювального заряду відбувалось в просторі ГВА або пристрою, який забезпечує ізоляцію форсу полум'я від навколишнього середовища. Відомо, що при горінні аерозольутворювальних зарядів утворюється форс полум'я. Автори робіт [116, 140] зазначили про утворення форсу при горінні АУС і що його контакт з горючими речовинами може призвести до короткочасного займання горючих матеріалів, але враховуючи, що в об'ємі буде створена вогнегасна концентрація, то відповідно відразу відбудеться гасіння займання. Виходячи з цього форс полум'я у випадках, де а не йдеться про тліючі матеріали, не представляє небезпеки та максимально може призвести до обуглення поверхні. Щодо негативних наслідків дії аерозольних генераторів та ударних хвиль, то можливе значне зростання тиску

всередині об'єму внаслідок їх сумісної дії, що може призвести до розгерметизації захищуваного об'єкта через короткочасне збільшення тиску. З цього виходить, що при виборі потужності піротехнічного заряду для генератора ударних хвиль, місця розташування та напрямку подачі ударних хвиль необхідно враховувати особливості приміщення, міцність віконних та дверних отворів з погляду їх стійкості щодо дії ударної хвилі, а також розташування вартісного обладнання, на яке не можна впливати надлишковим тиском. Також необхідно враховувати напрям руху ударної хвилі в приміщенні, та уникати її поширення у напрямі вікон, дверей та вентиляційних отворів, руйнування яких може призвести до витoku вогнегасного аерозолу за межі приміщення.

Після визначення місць та типу встановлення ГВА – горизонтальний вертикальний, окреме встановлення чи разом з пристроєм генераторів ударних хвиль, їх кількості та кількості пристроїв, що будуть використовуватись для захисту приміщення, необхідно визначити метод запуску – послідовний чи паралельний. Паралельний запуск генераторів можна застосовувати в невеликих приміщеннях з обмеженою кількістю віконних та дверних отворів, або інших конструктивних отворів, порушення цілісності яких може призвести до порушення герметичності та зменшення ефективності гасіння внаслідок зниження концентрації вогнегасного аерозолу. При цьому спрацювання генераторів ударних хвиль повинно відбуватись після спрацювання всіх пристроїв подачі об'ємної вогнегасної речовини та досягнення в приміщенні заданої концентрації.

Відомо, що пожежне навантаження більшості житлових приміщень, офісів, сховищ, складів характеризується наявністю великої кількості твердих горючих матеріалів, які горять в початковій стадії дифузійним полум'ям, після чого горіння переходить в гетерогенний режим – тління. Швидкість поширення полум'я по поверхні твердих горючих речовин становить 0,5-1,0 м/хв, а для бібліотек, сховищ, архівів – до 1,0-1,5 м/хв [33]. Таким чином ПКГ або ГУХ необхідно встановлювати в тій частині приміщення, звідки вплив ударної хвилі

на полум'я буде найбільш ефективним, тобто в сторону максимального пожежного навантаження або в місце можливого виникнення джерела запалювання.

Крім цього, аерозольні частинки при гасінні ефективно поглинають теплове випромінювання повністю обмежують надходження теплового потоку до горючих матеріалів та знижують інтенсивність піролізу, випаровування і, відповідно, швидкість поширення полум'я по поверхні горіння.

Виходячи із сказаного, можна рекомендувати для використання ПКГ на об'єктах, на яких в основному пожежне навантаження складають тверді речовини, не здатні тліти, горючі рідини, а також газу. Приблизний перелік об'єктів, на яких можливе використання аерозольних генераторів підвищеної ефективності, наведено в таблиці 6.1.

Таблиця 6.1

ПЕРЕЛІК

об'єктів, на яких рекомендується застосування пристрою комбінованого подавання вогнегасного аерозолу, вогнегасного порошку та газових вогнегасних речовин-розріджувачів (CO₂, N₂)

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

Підприємства хімічної, легкої, гірничопереробної, газонафтової галузей. Резервуари з горючими та легкозаймистими рідинами, комунікації, скрубери, сепаратори, сушарки, теплообмінники, компресорні, склади готової продукції, та інш. Компресорні станції, насосні станції, машинні зали, електроцистові, трансформаторні підстанції, цехи хімічних підприємств, склади легкозаймистих та горючих рідин, об'єми технологічних апаратів, резервуари під тиском та ін.

Оборонний комплекс. Склади та місця зберігання боєприпасів, моторні відсіки бойової техніки – танки, бронетранспортери, бойові машини піхоти, бойові катери.

6.2. Умови ефективного застосування пристроїв комбінованого гасіння вогнегасними речовинами об'ємної та ударними хвилями

З урахуванням отриманих позитивних результатів полігонних натурних випробувань розроблено рекомендації щодо застосування пристроїв комбінованого гасіння для протипожежного захисту об'єктів з можливістю утворення горючих газових середовищ та виникнення пожеж класів А, В, С, а також електрообладнання.

Проектом розроблених технічних умов передбачено, зокрема, перелік об'єктів, на яких рекомендується застосування автоматичних систем комбінованого гасіння з подаванням бінарної суміші вогнегасного аерозолю, та газових вогнегасних речовин-розріджувачів (CO_2 , N_2).

Перелік 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). Враховуючи тип приміщення, та його пожежне навантаження, необхідно враховувати особливості гасіння аерозолем та його властивості як аеродисперсної системи. Пропонуючи комбінацію аерозоль-газ, необхідно враховувати те, що аеродисперсна система змінює свої фізичні властивості і концентрація її в приміщенні дещо зростає порівняно із 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 отворів 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 речовини, то її можна подавати звичайними методами за допомогою систем, встановлених в приміщенні, чи іншими способами. Аерозоль при гасінні пожежі завдяки ультрадисперсним частинкам дуже ефективно поглинає теплову радіацію, чим досягається повне обмеження теплового потоку до горючого навантаження та знижується інтенсивність горіння. Для ефективного розподілу вогнегасної речовини в часі та захищуваному об'ємі, систему рекомендується підключити до приладу управління.

Як було обґрунтовано, попередньо створені пристрої забезпечують реалізацію технології швидкого гасіння пожежі за умови їх правильного розташування в захищуваному середовищі. Пристрої горизонтального розташування можна встановлювати як в нижній частині приміщення, так і у верхній. Варіанти розташування ПКГ показані на рис. 6.2-6.5.

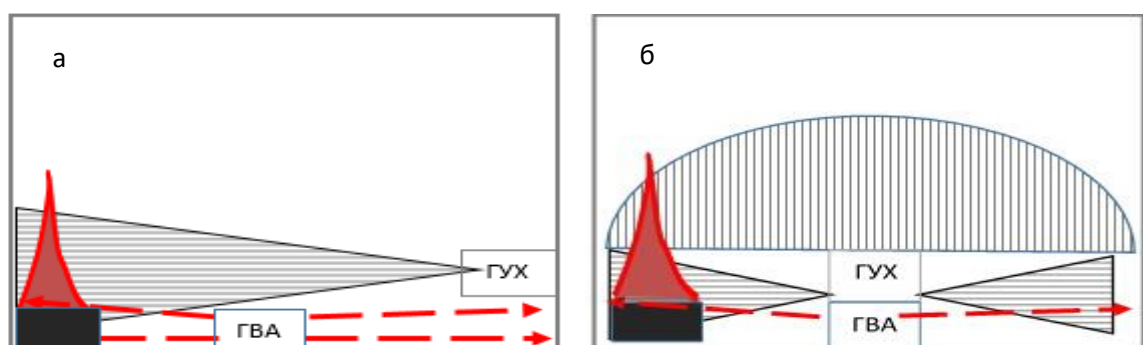


Рисунок 6.1 – Приклади встановлення пристроїв комбінованого гасіння горизонтального розташування:

а – окреме встановлення ГВХ та ГВА; б – спільне встановлення ГВХ та ГВА

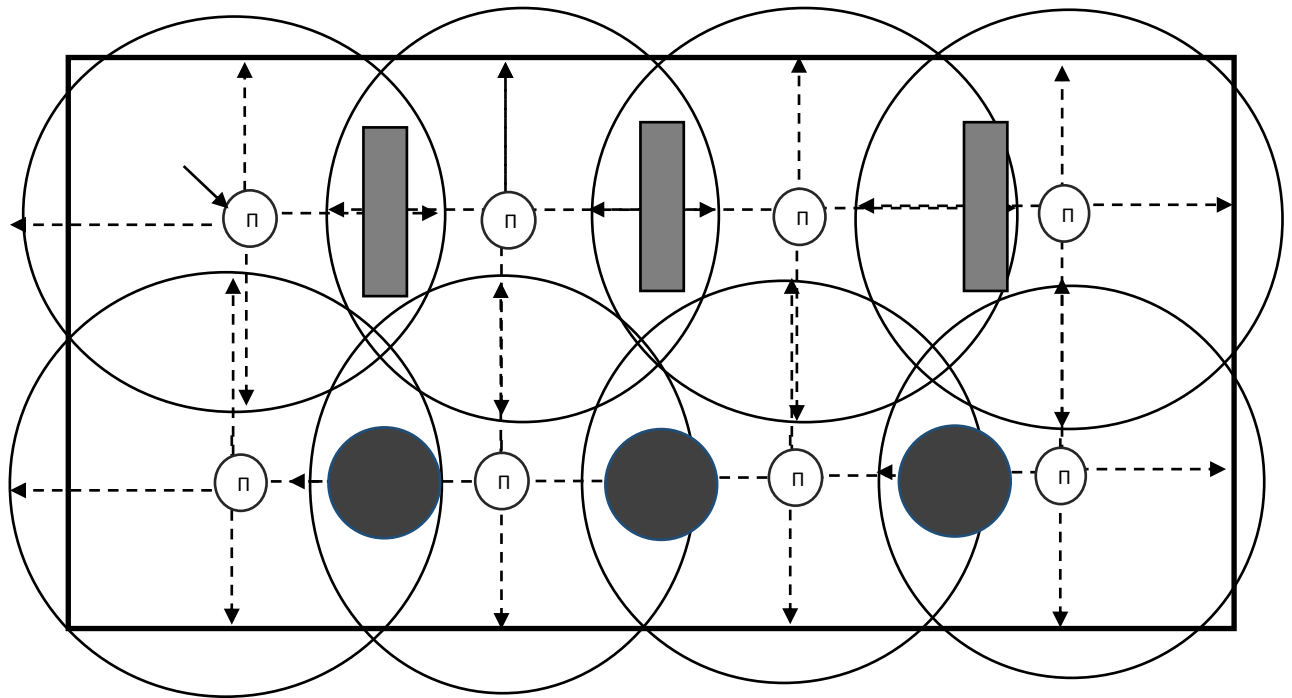


Рисунок 6.2 – Горизонтального розташування ПКГ для захисту машинного залу

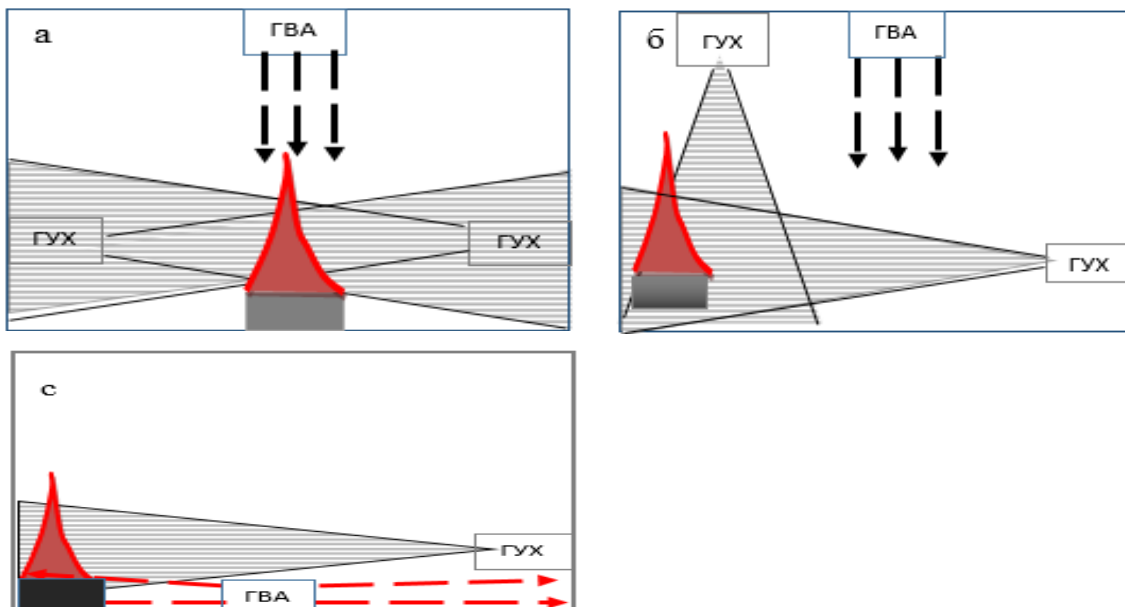


Рисунок 6.3 – Приклади окремого встановлення пристроїв комбінованого гасіння дії вертикального розташування

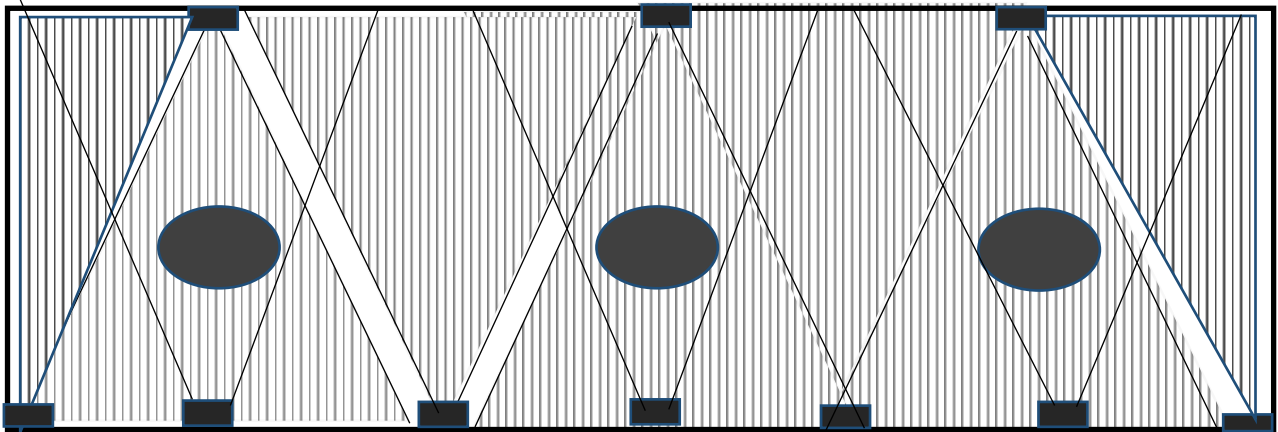


Рисунок 6.4 – Приклад встановлення пристроїв комбінованого гасіння горизонтального розташування в приміщенні складного планування

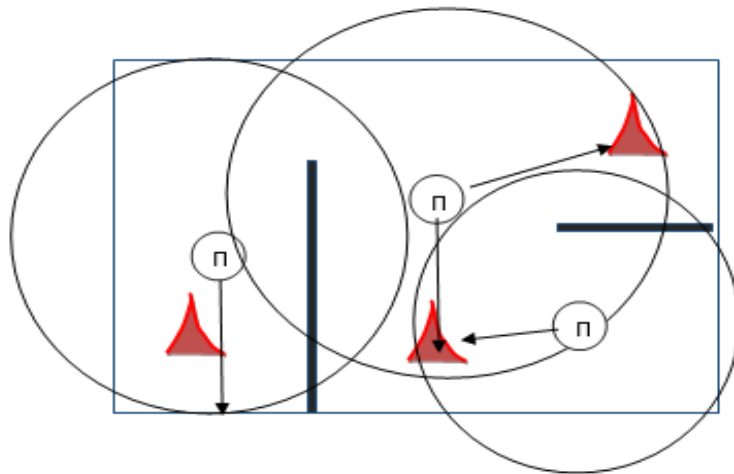


Рисунок 6.5 – Приклад встановлення пристроїв комбінованого гасіння горизонтального розташування в приміщенні складного планування

У всіх запропонованих варіантах встановлення ГВА та ГУХ або ПКГ необхідно враховувати радіус ефективної дії при якому ударна хвиля чинить відповідний тиск для досягнення ефекту гасіння в комбінації з аерозолем або його бінарною сумішшю з газами CO_2 або N_2 . На зазначені способи гасіння та пристрої отримано 2 патенти України на винахід на 20 років [369-370] та 2 патенти на корисну модель [371-372].

6.3. Техніко-економічне обґрунтування результатів роботи

Запропоновані ГВА в комбінації з ГУХ ТА ПКГ виявляють підвищену вогнегасну ефективність. Вони поєднують в собі переваги декількох систем пожежогасіння – газових, аерозольних та систем гасіння УХ. Перевагами аерозольного пожежогасіння є малі вогнегасні концентрації, високі експлуатаційні характеристики, відсутність озоноруйнівної дії, широкий температурний діапазон застосування, відсутність необхідності застосування балонів під тиском, трубопроводів та запірно-пускової арматури, простота та надійність в експлуатації, зменшення габаритів та маси систем пожежогасіння. Недоліками аерозольних генераторів є: обмеженість областей застосування в приміщеннях категорії А, В, в приміщеннях з великою площею відкритих прорізів, а також один з основних недоліків – втрата видимості на тривалий час при спрацюванні аерозольного генератора в приміщенні.

Ринок аерозольних засобів пожежогасіння показав, що в Україну завозяться російські та німецькі вироби. Що стосується цін на генератори, то в середньому в Україні вартість захисту 1 м^3 об'єму становить близько 25 грн. Якщо вдатись до обґрунтування вартості генератора, то основною складовою ціни є вартість аерозольоутворювальної сполуки, корпусу ГВА та допоміжних вузлів.

Проведемо розрахунок вартості захисту 1 м^3 умовної виробничої ділянки об'ємом 223 м^3 . Згідно з розрахунком маси АУС, проведеним вище, для захисту ділянки необхідно 19,82 кг АУС вартість якого становить 1070 грн (54 грн за 1 кг). Виходячи з цього, на захист 1 м^3 приміщення необхідно АУС на суму 1,95 грн. При застосуванні ударних хвиль, що підвищують вогнегасну ефективність аерозолі, згідно з проведеними розрахунками, до 43 %, на захист того ж приміщення необхідно 15,86 кг АУС, що становить 856 грн., вартість захисту 1 м^3 – 1,55 грн. Таким чином, економічна вигода становить 20 %, а загалом для цієї ділянки вода становитиме 220 грн. З іншої сторони, менша кількість АУС сприяє зменшенню кількості генераторів в приміщенні, отже,

загальна кількість і вартість генераторів буде меншою менш вартісним буде і їх облаштування.

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'єкта залежить від багатьох складових. Для попередньої фінансової оцінки застосування того або іншого варіанта системи пожежогасіння доцільно застосувати порівняння питомої вартості захисту площі або об'єму захищеного 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 випускаються серійно, а також орієнтовні витрати на виготовлення розробленого вогнегасного пристрою – складового елемента автоматичної системи комбінованого пожежогасіння з подаванням тернарної суміші вогнегасних речовин. У таблиці 6.2 наведено розрахунок орієнтовної вартості конструктивних варіантів розробленого вогнегасного пристрою, а у таблиці 6.3 – 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 6.2

Розрахунок орієнтовної вартості вогнегасного пристрою для зберігання та подавання вогнегасної суміші

Компонент тернарної суміші	Вартість 1 кг компонента	Маса компонента, кг	Вартість компонента, грн.	Вартість виробництва та обладнання, грн.	Загальна вартість пристрою, грн.	
					CO ₂	N ₂
Нітрат калію	50	0,8	38,5	≈3000 грн.	6563	7535
Ідітол	15	0,2	6,3			
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 6.3

Орієнтовна питома вартість захисту об'єму захищеного об'єкта

Елемент системи пожежогасіння	Виробник	Вартість елемента, грн	Розрахунковий захищений об'єм (клас В), м ³	Питома вартість захисту, грн/м ³
Модуль порошкового пожежогасіння СПРУТ-90	ТОВ «НВФ «ФАКТОР», м. Київ	2955	60	49
Генератор вогнегасного аерозолу АСТ-3400	ЗАО «Соболевский завод», РФ	5270	63	84 \$/м ³
Модуль газового пожежогасіння МГП-40	ДВВП «Променергоремонт», м. Харків	1000 \$	≈ 28	36 \$/м ³ (≈1000 грн/м ³)
Модуль газового пожежогасіння МГП(150-100-18) «Пламя»	ЗАО «НПЦ «ОНЭКС», РФ	1360 \$	≈ 69	20 \$/м ³ (≈552 грн/м ³)

Вогнегасний пристрій ПКГ 65 БАУВ		12500	60	192
----------------------------------	--	-------	----	-----

Як було вказано вище, вартість ГВА складається з вартості АУС, корпусу, та допоміжних вузлів. Для ПКГ вартість пристрою складається з вартості вогнегасних речовин, корпусу, ємностей для зберігання газів, корпусу генератора ударних хвиль, піротехнічних зарядів запальників та деталей, які кріпляться до ПКГ.

Вартість ГВА або ПКГ становить для об'єму 65 м³ (табл. 6.4).

Таблиця 6.4

Орієнтовна питома вартість захисту об'єму захищованого об'єкта

Модель ПКГ	Вартість елемента, грн	Розрахунковий об'єм захисту	Вартість захисту, грн/м ³	Примітка
ГВА-65Г ГВА-65В	3900	60	60	
ПКГ - 65АУГ ПКГ - 65АУВ	4500	60	69,2	Час гасіння до 30 с
ПКГ - 65БКУГ ПКГ - 65БКУВ	5500	60	84	Час гасіння до 30 с
ПКГ - 65БУАГ ПКГ - 65БАУВ	12500	60	192	Час гасіння до 30 с

Порівнявши дані таблиць 6.3 та 6.4, можна зробити попередній висновок, що розроблені вогнегасні пристрої надалі можуть забезпечити конкурентно спроможність систем комбінованого пожежогасіння з подаванням бінарної суміші вогнегасних речовин в системах протипожежного захисту різних об'єктів.

Висновки за розділом

1. Розроблено проект технічних умов на дослідну партію на виготовлення «Генераторів вогнегасного аерозолю», «Автономну установку аерозольного пожежогасіння» та «Пристроїв комбінованого гасіння» які відповідають сучасним експлуатаційним вимогам.
2. З урахуванням результатів полігонних випробувань визначено умови застосування розроблених пристроїв гасіння пожежі на основі об'ємних вогнегасних речовин та ударних хвиль
3. Наведено техніко-економічне обґрунтування виробництва генераторів підвищеної ефективності. Встановлено, що вартість захисту одиниці об'єму є конкурентною порівняно з існуючими пристроями, системами та засобами пожежогасіння. Відповідно вартість захисту одиниці об'єму становить для ГВА від 65 грн/м³, для систем комбінованого гасіння (ГВА-65Г + ГУХ – 334, ГВА-65В + ГУХ – 334) на основі вогнегасного аерозолю та ударних хвиль – від 69,2 грн/м³. Для ПКГ 2-65УГ та ПКГ 2-65УВ – від 84 грн/м³, та для систем комбінованого гасіння ПКГ 3-65УБКГ, ПКГ 3-65УБКВ – від 208,33 грн/м³.

ВИСНОВКИ

За результатами виконання дисертаційних досліджень вирішено актуальну наукову проблему – створення наукових основ зменшення впливу на довкілля пожеж на початковій стадії дією ударних хвиль та їх комбінацій з екологічно прийнятними вогнегасними речовинами об'ємної дії. При цьому одержано такі основні результати:

1. Проведено аналіз світової та національної статистики пожеж, сучасних засобів пожежогасіння та їх негативний вплив на довкілля. Сформульовано ідею щодо зменшення негативного впливу пожеж на довкілля шляхом застосування на початковій стадії ударних хвиль або їх комбінації з газовими та аерозольними вогнегасними речовинами.

2. Обґрунтовано методологію, відповідно до якої передбачено проведення аналізу статистики пожеж та їх негативного впливу на довкілля, а також сучасного стану трактування процесів припинення горіння та засобів і технологій припинення горіння. Обрані методи проведення досліджень, за якими, із застосуванням розроблених методик, виявлених чинників впливу на процеси припинення горіння, створеного експериментального обладнання та результатів лабораторних і полігонних досліджень, передбачено створення наукових основ зменшення негативного впливу на довкілля пожеж на початковій стадії їх розвитку дією ударних хвиль та їх комбінацій з екологічно прийнятними вогнегасними речовинами.

3. Теоретично обґрунтовано можливість застосування ударних хвиль для припинення горіння горючих середовищ та, відповідно, можливість підвищення ефективності систем об'ємного пожежогасіння шляхом комбінованого послідовного застосування вогнегасного аерозолю, газової вогнегасної речовини та ударних хвиль, яке полягає у одночасній дії на дифузійне полум'я таких факторів як відрив полум'я, вплив на зону горіння ударної хвилі, що приводить спочатку до збільшення тиску а потім після проходження ударної хвилі – до розрідження зони горіння. Підвищення ефективності пожежогасіння забезпечується завдяки синергічному ефекту, який виникає у разі послідовної дії хімічних та фізичних чинників впливу на вогнище пожежі;

4. Розроблено методики та установку для досліджень процесів припинення горіння дією ударних хвиль і їх комбінацій з вогнегасними речовинами об'ємної дії;

5. Проведено експериментальні дослідження з виявлення ефективності впливу ударних хвиль та їх комбінацій з вогнегасними речовинами об'ємної дії на процеси припинення горіння горючих середовищ.

Визначено вогнегасну ефективність бінарної аерозольно-вуглекислотної суміші БАВС та встановлено, що добавка CO_2 до аерозолу неорганічних солей калію призводить до значного підвищення її вогнегасної ефективності завдяки синергізму між її компонентами. Результатом добавлення до аерозолу азоту стало зменшення вогнегасної концентрації компонентів бінарної суміші до 30 %. Визначено, що оптимальні співвідношення компонентів в аерозольно-азотній суміші становлять: аерозолу – 10 г/м^3 , азоту – 12,1 %, а в аерозольно-вуглекислотній: аерозолу – 10 г/м^3 , CO_2 – 6 %, при яких суміші є вогнегасними, для дифузійного полум'я n -гептану та забезпечують збереження життєпридатної концентрації кисню.

Експериментально встановлена вогнегасна ефективність одинарних ударних хвиль, яка становить від 215 Па – для теплової потужності полум'я 4 кВт/м^2 , та до 2500 Па – для теплової потужності полум'я близько 20 кВт/м^2 . При дії на полум'я серій ударних хвиль з частотою від 8 до 12 Гц відбувається подальше зменшення вогнегасної потужності ударних хвиль ще до 20%. Час гасіння при цьому зменшується після проходження останньої УХ до 10 %.

6. Теоретично обґрунтована і експериментально підтверджена можливість значного підвищення вогнегасної ефективності вогнегасних речовин об'ємної дії при їх комбінованому застосуванні з ударними хвилями. При цьому експериментально визначено, що вогнегасна концентрація газів зменшується в 2,5 раза для CO_2 і в 2 рази – для N_2 при їх комбінованому застосуванні з одинарною ударною хвилею для дифузійного полум'я n -гептану.

7. Також в умовах експериментальної камери встановлено, що серії з 3-х ударних хвиль при частоті 10 - 15 Гц забезпечують підвищення вогнегасної ефективності вогнегасних речовин об'ємної дії до 20 % порівняно з дією одинарної ударної хвилі. Виявлено ефект синергізму між компонентами комбінованої вогнегасної системи, який проявляється у зниженні вогнегасної концентрації CO_2 до 4,8 %, та азоту – до концентрації 10,2 % при умові впливу на полум'я одинарних та потрійних серій ударних хвиль з зазначеною частотою, що полягає у зниженні їх вогнегасних концентрацій до 7 разів у порівнянні з їх індивідуальними значеннями.

8. Науково обґрунтовано схемні рішення і параметри та створено технічні засоби, які реалізують технологію припинення горіння на початковій стадії розвитку пожежі застосуванням ударних хвиль або їх комбінацій із екологічно прийнятними вогнегасними речовинами об'ємної дії, що запобігає поширенню горіння та зменшує забруднення довкілля. Генератори ударних хвиль можуть бути як у складі пристрою, так і встановлюватись окремо та використовуватись разом з окремо встановленими генераторами ударних хвиль. При цьому, тривалість емісії та обсяги шкідливих для довкілля речовин внаслідок пожеж значно зменшуються,

що підвищує ефективність забезпечення екологічної безпеки населення і територій України.

9. Проведені полігонні випробування показали прогнозовано високу вогнегасну ефективність розроблених генераторів вогнегасного аерозолу, автономних аерозольних установок запобігання горінню та пожежогасіння, а також пристроїв комбінованого гасіння та запобігання пожежі. При цьому вогнегасна концентрація вогнегасних компонентів при комбінованій дії в великогабаритних приміщеннях зменшується до 3 разів, стосовно вогнегасного аерозолу та газових вогнегасних речовин (CO_2 , N_2) – до 6 разів порівняно з їх індивідуальними значеннями при дії на середовище серій ударних хвиль потужністю до 2500 Па та частотою близько 10 Гц.

10. Розроблено проект технічних умов на виготовлення «Генераторів вогнегасного аерозолу підвищеної ефективності», які відповідають сучасним експлуатаційним вимогам, та запропоновано технічні рішення конструкцій генератора вогнегасного аерозолу, та пристроїв комбінованого гасіння і запобігання пожежі, які забезпечують одночасну подачу в захищений об'єм вогнегасного аерозолу, газових вогнегасних речовин та ударних хвиль. На зазначені пристрої та способи отримано 2 патенти України на винахід та 2 патенти на корисну модель. На генератори вогнегасного аерозолу та автономну систему гасіння було розроблено технічні умови, проведено сертифікаційні випробування та отримано сертифікати відповідності.

11. Встановлено, що зазначений спосіб гасіння забезпечуватиме зменшення викиду парникового газу-діоксиду вуглецю у 3 рази порівняно з його індивідуальною вогнегасною концентрацією, а у комплексі з вогнегасними аерозолями – до 6 разів.

12. Результати досліджень впроваджено у навчально-науковий процес ЛДУ БЖД та Черкаського інституту пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля НУЦЗ, зокрема, під час викладання дисциплін «Екологічна безпека», «Промислова екологія», «Теорія розвитку та припинення горіння», «Теоретичні основи пожежо-вибухонебезпечності», про що є відповідні акти впровадження.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Аналіз масиву карток обліку пожеж за 12 місяців 2013 року. URL http://www.undicz.mns.gov.ua/files/2014/1/20/AD_12_13_NTI.pdf
2. Аналітична довідка про стан із пожежами та наслідками від них в Україні за 12 місяців 2014 року. URL http://www.undicz.mns.gov.ua/files/2015/2/17/AD_12_2014.pdf.
3. Аналіз масиву карток обліку пожеж за 6 місяців 2017 року. URL http://undicz.dsns.gov.ua/files/%D0%A1%D1%82%D0%B0%D1%82%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B0/2017/AD_06_17.pdf.
4. «Форум» URL <http://for-ua.com/ukraine/2011/11/01/162714.html>
5. Аналіз масиву карток обліку пожеж за 12 місяців 2015 року. URL http://www.undicz.mns.gov.ua/files/2016/1/20/AD_12_2015.pdf
6. Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2014 році. URL http://www.mns.gov.ua/files/prognoz/report/2014/ND_2014.pdf.
7. Ковальчик В.М. Обґрунтування параметрів гасіння пожеж інертними газами в кабельних тунелях : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : 21.06.02. Львів, 2016. 23 с.
8. Молчанов В.Н., Шебеко Ю.Н., Смолин И. М. Пожар на сырьевом парке сжиженных углеводородных газов (СУГ) АО «Синтезкаучук». *Пожаровзрывобезопасность. Технические науки.* Москва, 1997. т. 6. №2. С. 145-152.
9. Через пожежу на трансформаторній підстанції п'ять районів лишилися без світла. URL <http://tsn.ua/ukrayina/na-cherkaschini-stalasya-pozhezha-na-pidstanciyi-pid-visokoju-naprugoyu-373438.html>
10. Під Миколаєвом на АЗС загорілися три бензовози, є постраждалі. URL <http://tyzhden.ua/News/141229>.
11. Статистика пожеж у світі. URL <http://www.nfpa.org/News-and-Research/Fire-statistics-and-reports/Fire-statistics>

12. Пожарная опасность наружных технологических установок переработки горючих газов и легковоспламеняющихся жидкостей : обзорная информ. Москва : ВНИИПО МВД СССР, 1992. 34с.
13. Shaaf J.B.R. Investigation into the circumstances surrounding an accident in Nijmegen involving a tanker. *Inst. Chem. Symp. Ser. Nijmegen*, 1983, №80. С. 14-23.
14. Агафонов В.В. Оценка огнетушащей эффективности твердообразных аэрозолей индивидуальных химических соединений щелочных металлов. *Проблемы горения и тушения пожаров на рубеже веков : материалы XIV Всероссийской науч. – практической конференции (г.Москва, 1997)*. Москва, 1997. С.300 – 302.
15. Zalosh, Robert G. Industrial fire protection engineering : tutorial book. England : Hoboken, NJ, 2003. 387 p.
16. Fire protection handbook / edited. Arthur Cote, Jim L. Linville. United States of America : National Fire Protection Assoc., 1976. 1185 p.
17. R. Craig Schroll. Industrial fire protection handbook : handbook. 2 edit. – Boca Raton: CRC Press, 2002. 252 p.
18. Arthur E. Cote Operation of fire protection systems : a special edition of the Fire Protection Handbook : handbook. Quincy, MA : National Fire Protection Association, 2003. 679 p.
19. Arthur E. Cote Fire protection handbook : handbook. Quincy, MA : National Fire Protection Association, 1991. 187 p.
20. Arthur E. Cote, Percy Bugbee Cote Principles of fire protection : handbook. Quincy, MA : National Fire Protection Association, 1988. 357 p.
21. Касьянов Н.А., Михайлов Д.В. Экспериментальное исследование пожаров в помещениях. *Вісник СНУ ім. В.Даля. Технічні науки*. Сєвєродонецьк, 2004. №12. С. 99-104.
22. Котов А.Г. Пожаротушение и системы безопасности: науч. пособ. Киев : Репро-Графіка, 2003. 67 с.

23. Оценка опасности токсического воздействия огнетушащих газов и аэрозолей, применяемых для объемного пожаротушения: методическое пособие. Москва: ВНИИПО МВД России, 2005. 85 с.
24. Деревинський Д.М. Пожежна небезпека об'єктів з наявністю газового горючого середовища та нагрітих технологічних поверхонь у замкненому просторі. *Проблеми пожежної безпеки. Сборник научных трудов.* Харьков, 2010. Вып.27. С.59-65.
25. NFPA 2001 Standard on Clean Agent Fireextinguishing Systems. US National Fire Protection Association, 2001. URL <https://www.nfpa.org/codes-and-standards/all-codes-and-standards/list-of-codes-and-standards/detail?code=2001>
26. Костенко В. К. Геомеханічні і аерологічні основи запобігання пожеж від самонагрівання вугілля в шахтах : автореф. дис. д-ра наук: 21.06.02. Макіївка–2004. 59 с.
27. Брушлинский Н.Н., Подгрушный А.В., Усманов М.Х. Обеспечение требуемого уровня защиты личного состава, участвующего в ликвидации пожаров аварийных фонтанов, от термического воздействия пламени с помощью теплозащитных устройств. *Пожаровзрывобезопасность. Технические науки.* Москва, 2005 № 4. С. 55-63.
28. Руководство по тушению нефти и нефтепродуктов в резервуарах и резервуарных парках : руководство / под заг. ред. И.Ф. Безродного. Москва : ГУГПС-ВНИИПО-МИПБ, 1999. 88 с.
29. Расчет выбросов вредных веществ в атмосферу при свободном горении нефти и нефтепродуктов к практической работе по курсу "Промышленная экология" : методические указания / под ред. ред.-изд. советом ТГНУ государст. Тюмень : ТГНУ, 2002. 9 С.
30. Лозинський Р. Я. Обґрунтування параметрів установки для дистанційного гасіння пожеж газоводяною сумішшю : автореф. дис. канд. техн. наук : 21.06.02. Київ, 2005. 21 с.

31. Grant G., Brenton J., Drysdale D. Fire suppression by water sprays. *Journal Progress in Energy and Combustion Science. Technical science*. Edinburgh, EH9 3JN, UK, 2000. Vol 26, No 2. P. 79–130.
32. Zhigang Liu. A Review of Water Mist Fire Suppression Systems. *Journal of Fire Protection Engineering. Fundamental Studies*. Canada, 1999. Vol. 10, No. 3. P. 32-50.
33. Zhou Xiaomeng, Liao Guangxuan, Cai Bo. Improvement of water mist's fire-extinguishing efficiency with MC additive (Підвищення вогнегасної ефективності ТРВ за рахунок MC (багатокомпонентної) -добавки). *Fire Safety Journal*. USA, 2006. № 41.39–45 pp.
34. Сенчихін Ю.М., Сировий В.В. Довідник керівника гасіння пожежі. Пожежна безпека : довідник. / За загальною редакцією В.С. Кропивницького. Київ : ТОВ «Літера-Друк», 2016. 320 с.
35. ГОСТ 27331–87. Пожарная техника. Классификация пожаров. [Чинний від 01.01.1988]. Вид. офіц. Москва, 1988. 68 с.
36. ДСТУ 3789–98. Піноутворювачі загального призначення для гасіння пожеж. Загальні технічні вимоги і методи випробувань. [Чинний від 01.01.2000]. Вид. офіц. Київ, 1998. 29 с.
37. ДСТУ 4041–2001. Піноутворювачі спеціального призначення, що використовуються для гасіння пожеж водонерозчинних і водорозчинних горючих рідин. Загальні технічні вимоги і методи випробувань. [Чинний від 01.10.2001]. Вид. офіц. Київ, 2001. 94 с.
38. Ковалишин В.В., Грушовінчук О.В., Луц В.І. Дослідження залежності кратності повітряно-механічної піни від розміру вічка сітки піногенератора. *Збірник наукових праць ЛДУ БЖД. Пожежна безпека*. Львів, 2009. № 16. С. 54–58.
39. Ковалишин В.В., Улинець Е.М., Грушовінчук О.В., Кавецький В.В. Дослідження залежності кратності повітряно-механічної піни від геометричних параметрів піногенератора. *Науковий вісник УкрНДІПБ. Технічні науки*. Київ, 2011. № 2 (24). с.74-79.

40. Колібабчук О.О. Удосконалення характеристик установок пожежогасіння вібраційною підготовкою і подачею вогнегасного порошку відцентровою машиною: автореф. дис. канд. техн. наук : 21.06.02. Макіївка, 2011. 17 с.
41. Kaigian Kaung A Kaigian Kaung, Xin Huang, Guahgxuang Liso. Comparison between superfine magnesium hydroxide powders and commercial dry powders on fire suppression effectiveness. *Journal Process Safety and Environmental Protection of University of Science and Technology of China. Technical science*. China, Hefei 230026, 2008. Vol. 86. No 3. P. 182–188.
42. Король А. А. Тушение пожаров тонкодисперсными порошками : пособие. Киев : Уголь Украины, 2003. С. 42 –43.
43. Dowitte M., Vrebaxh J., Van Tiggelen A. Inhibition and Extinction of Premixed Flames by Dust Particles. *Combustion and Flame. Technical science*. USA, Pittsburgh, PA, 1964. Vol. 8. No 4. P. 257-266.
44. Dotan J.B., Dempster P.B. Suppression of methane-air ignitions by fine powders. *Journal of Applied Chemistry. Applied chemistry*. USA, 1955. Vol. №5. No 9. P. 510-517.
45. Біленко Д.О. Вогнегасні речовини : методична розробка. Уман, 2012. 64 с.
46. Агаларова С. М., Сабинин О. Ю. Огнетушащие порошки. Проблемы. Состояние вопроса. *Пожаровзрывобезопасность. Технические науки*. Москва, 2007. Vol. 16. No 6. С. 63-68
47. Долговидов А.В., Сабинин О.Ю. Автоматические средства подачи огнетушащих порошков. *Пожаровзрывобезопасность. Технические науки*. Москва, 2008. №1. С.62-67
48. Пивоваров В.В. Разработка тактико-технических показателей и оценка эффективности огнетушителей : автореф. дисс. канд. тех. наук : 21.06.02. Москва, 1988. 22 с.
49. Безарашвили Г.С., Баратов А.Н., Азатян В.В. Ингибирование пламени метана порошками неорганических солей. *Кинетика и катализ. Технические науки*. Москва, 1979. Vol.20. No3. С.584-592.

50. Кулаков В.Г., Копылов С.Н., Казаков А.В. Современное состояние газового пожаротушения. *Юбилейный сборник трудов ФГБУ ВНИИПО МЧС России : науч. пособие. Техн. науки.* Москва, 2012. С. 234-250.
51. Halone in Kreuzfeuer, Widetschek otto. (Разрушающее воздействие хладонов на озоновый слой планеты). *Blaulicht*, 1988. 37. № 9. P. 21-25.
52. Smith W. Something in the air: Will concern for the ozone layer affect use of halons (Воздействие огнетушащих хладонов на озоновый слой Земли). *Fire. Technical science. UK*, 1988. Vol. 81. No 996. P. 17-18.
53. Morgan J. Hurley, Daniel T. Gottuk, John R. Hall Jr., Kazunori Harada, Erica D. Fire protections halons and the environment: an update symposium (Хладоновые установки пожаротушения и охрана окружающей среды). *Grant C.C. Fire Technol. Technical science. Switherland*, 1988. Vol. 24. No 1. P. 63-64.
54. Цапко Ю.В. Дослідження умов флегматизування горючих газових середовищ озононеруйнівними газовими вогнегасними речовинами : автореф. дис. канд. тех. наук : 21.06.02. Київ, 2003. 20 с.
55. Глазкова А.П., Кожин В.Н., Цопа Г.А., Александров В.Е. Газогенерирующие заряды исполнительных устройств систем локального пожаротушения. *Проблемы охраны труда : тезисы докладов III Всесоюзной межвузовской конференции (г.Кишинев, 1978 г.)*. Кишинев, 1978. 305 с.
56. ДСТУ 3958-2000 Газові вогнегасні речовини. Номенклатура показників якості, загальні технічні вимоги та методи випробувань [Чинний від 01.01.2001] Вид. офіц. Київ, 2000. 21 с.
57. Меркулов В.А. Газовое пожаротушение. Состояние и перспективы развития. *Пожаровзрывобезопасность. Технические науки.* Москва, 2003. №2. С.62-63.
58. Осипов С.Н., Велик И.П. Исследование заполнения изолированного участка углекислым газом. *Безопасность труда в промышленности. Технические науки.* Москва, 1968. № 12. С. 27-29.
59. Монахов В.Т., Чернышева М.М. Исследование огнегасительных концентраций средств объёмного газового тушения: пособие 4 изд., Москва : ВНИИПО МВД СССР, 1968. 56 с.

60. Собрать С.В. Установки пожаротушения автоматические : справочн. 4-е изд. Москва : Пожкнига, 2004. 384 с.
61. Harry H. Binder. Lexikon der chemischen Elemente : science book. München : Südostdeutsches Kulturwerk, 1999. 856 p.
62. Чуйков Е.В. Эксплуатация модулей газового пожаротушения. Проблема контроля утечек. *Пожаровывобезопасность. Технические науки*. Москва, 2003. №2. С.68-69.
63. История создания ГИГов: Информация-новости. URL <http://gvgss.org/index.php?newsid=162>
64. Тарадайко В. Особенности аэрозольного пожаротушения. *Бюллетень пожарной безопасности. Технические науки*. Москва, 1999. №1. С. 24-30.
65. Про схвалення Концепції Державної програми забезпечення технологічної безпеки в основних галузях економіки. URL <http://consultant.parus.ua/?doc=01VAA8AD82>.
66. Алікін В.Н., Сергієнко А.Д., Степанов А.Е. Про компоновання рецептур аерозолеутворюючого вогнегасних складів. *Вісник ПДТУ. Технологічна механіка*. Перм, 1996. № 2. С.165-168.
67. Генератори вогнеасного аерозолі FEROSOL. URL <http://pfe.com.ua/>
68. Тушение РВС-5000 при помощи установки газопорошкового пожаротушения "BIZONE" УГПП-5000. URL <http://www.kalancha.ru/video/tushenie-rvs-5000-pri-pomoshchi-ustanovki-gazoporoshkovogo-pozharotusheniya-bizone-ugpp-5000>
69. Мобильная установка для тушения пожаров «Натиск» - современная технология борьбы с огнем. URL http://www.arms-expo.ru/news/novye_razrabotki/mobilnaya_ustanovka_dlya_tusheniya_pozharov_natisk_sovremennaya_tekhnologiya_borby_s_ognem/.
70. Установки пожаротушения с гидроабразивной резкой "Кобра". URL http://www.brmaster.ru/catalog/?sect_id=cecae02b
71. Порошковый огнетушитель автоматического действия "ШАР-1". URL <http://shar-1.com/>

72. Огнетушитель Спасатель-01 тушит пожар в машине URL <http://спасатель-01.рф/>
73. «FR911» URL <http://bonex-group.com/>
74. Ядерные взрывы в Украине: как это было. URL <http://politburo.org.ua/id/2137/>
75. А. Осадчий. Удар из-под земли. *Наука и жизнь. Научный журнал*. Москва, 2010. Вып. № 7. С.126
76. С. Сергеев. Укрощение строптивого. *Известия. Техн. науки*. Москва, 2009. Вып. 24 марта.
77. В. Голубев. Дела давно минувших дней... *За нефтяные кадры. Техн. науки*. Уфа, 2007. (Вып. 29 декабря). № 28-30 (1227-1229). С. 9.
78. Игревский В.И., Мангушев К.И. Предупреждение и ликвидация нефтяных и газовых фонтанов : пособие. Москва : Недра, 1974. 191 с.
79. «Ликвидация газового фонтана на месторождении Урта-Булак». «Живая история атомной отрасли» : интернет-проект корпорации «Росатом». М., 1966. Вып. 30 сентября.
URL <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A3%D1%80%D1%82%D0%B0-%D0%91%D1%83%D0%BB%D0%B0%D0%BA>
80. Антонов А.В., Узагальнення і розвиток наукових основ розроблення та технологій застосування екологічно прийнятних вогнегасних речовин : дис. докт. тех. наук 21.06.02. Київ, 2017, 386 с.
81. Добриков В.В., Баратов А.Н. Исследование разогрева твердой частицы во фронте пламени. *Горение и проблемы тушения пожаров* : материалы V Всесоюзной научно- практической конференции (г.Москва, 1997 г.). Москва, 1997. С. 23-26.
82. Баланюк В.М. Удосконалення аерозолевої вогнегасної речовини на основі солей калію та обґрунтування умов її застосування : дис. канд. тех. наук 21.06.02. Львів, 2006, 172 с.
83. Агафонов В.В. Копылов Н.П. Обоснование механизма подавления газофазного горения аерозолями АОС и пути повышения их огнетушащей

способности : материалы 16 Всероссийской научно – технической конференции Москва , 2001 С. 91-96.

84. Агафонов В.В., Копилов Н.П. Установки аэрозольного пожежогасіння: елементи і характеристики, проектування, монтаж та експлуатація : навч.-метод. пос. Москва : ВНШПО, 1999. 232 с.

85. Агафонов В.В., Жевлаков А.Ф., Копилов Н.П., Ніколаев В.М. Перспективи застосування установок аэрозольного пожежогасіння. *Науково-технічне забезпечення протипожежних і аварійно-рятувальні робіт: матеріали XII Всеросійської науково-практичної конференції (м.Москва, 1993 р.)*. Москва, 1993. С. 161-162.

86. Azatyan V.V., Piloyan A.A., Saikova G.R., Smirnov N.N. Characteristics of a Chain Thermal Explosion as a Function of the Kinetic Properties of Reaction Chains. *Russian Journal Physical Chemistry A. Physical chemistry*. Moscow, 2016. P. 530–534.

87. Баратов А.Н., Вогман Л.П. Огнетушащие порошковые составы: метод. пособ. Москва : Стройиздат, 1982. 72 с.

88. Беликов А.С. Влияние огнезащитных композиций на динамику процессов горения древесины. *КТУ. Технические науки*. Кривой Рог, 2000. Вып.4. С.225-232.

89. Беликов А.С. К вопросу моделирования процессов горения. Сборник научных трудов. *Приднепровской гос. академии стр-ва и арх-ры. Технические науки*. Днепропетровск, 1998. Вып.5. ч.2. С.96-103.

90. Антонов А.В. Повышение эффективности порошковых средств пожаротушения : дис. канд. техн. наук : 21.06.02. Киев, 1983. 210 с.

91. Антонов А.В., Боровиков В.О., Орел В.П. Вогнегасні речовини : посібник. Київ : Пожінформтехніка, 2004. 176 с.

92. Антонов А.В. Вогнегасна ефективність бінарних сумішей галону 2402 та хладону 3 мтм «повес» 1230. *Науковий вісник УкрНДПБ. Технічні науки*. Київ, 2012. № 2 (26). С.198-202.

93. Горшков В.И., Кузнецов И.А. Основы физической химии : научн. пособ. 3-е изд. Москва : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2006. 407 с.

94. Глухов И.С., Шебеко Ю.Н. Влияние начального давления на характеристики горения богатых метановоздушных смесей. *Науч. журнал Пожарная безопасность. Технические науки*. Балашиха, 2015. №3. С. 66-73.
95. Бондаренко С.Н. Анализ современных средств объемного пожаротушения. *Пожарная безопасность : материалы VI науч.-практ. Конф (г. Харьков, 2003 г.)*. Харьков, 2003. С. 64–66.
96. Бондаренко С.М. Розробка генераторів вогнегасячого аерозолію із покращеними характеристиками. Рукопис : дис. канд. тех. наук : 21.06.02. Харків, 2004. 250 с.
97. Алікін В.Н., Сергієнко А.Д., Степанов А.Е. Про компонування рецептур аерозолеутворюючого вогнегасних складів. *Вісник ПДТУ. Технологічна механіка*. Перм, 1996. № 2. С.165-168.
98. Сирих В.М., Тарахно О.В. Особенности та перспективи розвитку пожежно-технічної експертизи. Сб. науч. тр. *Проблемы пожарной безопасности. Технические науки*. Харьков, 2008. Вып. 24. С. 181-185.
99. Сизиков А.А. Исследование и разработка установок порошкового пожаротушения с унифицированными аэрирующими устройствами : дис. канд. техн. наук : 05.26.02. Харьков, 1997. 193 с.
100. Установка для гасіння пожежі порошком пат. 4459 України, МКП А62С35/50; заявл. 06.04.87; опубл. 27.12.1994. Бюл. № 10. 2с.
101. Установка пожежогасіння пат 25297 України, МКП А62С35/02.; Заяв. 17.12.1997; Опубл. 15.10.1998. Бюл. № 46 - 3с.
102. Сизиков А.А. Методы оценки качества аэрации огнетушащего порошка в порошковых огнетушителях и установках порошкового пожаротушения *Проблемы пожарной безопасности. Технические науки*. Харьков : ХИПБ, 1993. С.143-145.
103. Сизиков А.А. Особенности процесса подготовки огнетушащих порошков к вытеснению из установок порошкового пожаротушения. *ВНИИПО. Технические науки*. Москва, 1992. С.92-97
104. Сизиков А.А., Снятков В.А. Аэрирующее устройство для установок порошкового пожаротушения. *Проблемы пожарной безопасности Сибири и*

Дальнего Востока : тез. докл. научно-практической конференции (г. Иркутск, 1988 г.). Иркутск, 1988. С.46.

105. Дунюшкін В.О., Огурцов С.Ю., Удовенко А.Ю. Експериментальний стенд для визначення витратних характеристик розпилювачів систем порошкового пожежегасіння. *Науковий вісник УкрНДПБ. Технічні науки*. Київ, 2007. № 1(15). С.76-80.

106. Дунюшкин В.А., Огурцов С.Ю. Разработка экспериментального стенда и проведение исследований по определению расходных характеристик распылителей огнетушащего порошка. *Чрезвычайные ситуации: Предупреждение и ликвидация* : сб.тез. докладов IV Международной научно-практической конференции (г.Минск, 2007 г.). Минск, 2007. Том 1. С.328-330.

107. Баратов А.Н., Мышак Ю.А., Радченко С.А. Исследование огнетушащей способности аэрозольных составов : материалы 11 Всесоюзной конференции (г.Москва, 1991 г.). Москва, 1991. С. 56-57.

108. Корольченко А.Я., Корольченко Д.А. Пожаровзрывобезопасность веществ и материалов и средства их тушения : справочник в 2-х ч. 2-е изд., Москва : Асс. Пожнаука, 2004. Ч.1. 713 с.

109. Баратов А.Н., Иванов Е.Н., Корольченко А.Я. Пожарная безопасность. Взрывобезопасность : справочн. изд. Москва : Химия, 1987. 269 с.

110. Мешман Л.М., Цариченко С.Г., Баликин В.А. Проектирование водяных и пенных автоматических установок пожаротушения : пособие / под общ. ред. Н.П. Корольова. Москва : ВНИИПО МЧС РФ, 2002. 315 с.

111. Мешман Л.М., Цариченко С.Г., Баликин В.А. Оросители водяных и пенных автоматических установок пожаротушения: пособие / под общ. ред. Н.П. Корольова. Москва : ВНИИПО МЧС РФ, 2002. 413 с.

112. Вайсман М.Н., Долговидов А.В., Дорофеев Е. М. Оценка эффективности модулей порошкового пожаротушения. *Научн.-техн. Журнал. Пожарная безопасность. Технические науки*. Москва, 2007. Вып. 1. С. 83-88.

113. Баланюк В.М., Журбинський Д.А. Флегматизувальна ефективність аерозолію на основі солей калію. *Збірник наукових праць, Пожежна безпека: теорія і практика. Технічні науки*. Черкаси, 2013. №13. С.32-37.
114. Баланюк В.М., Копистинський Ю.О., Лавренюк О.І., Журбинський Д.А. Перебіг окремих внутрішніх процесів у вогнегасних аерозолях під час гасіння дифузійного полум'я. *Науковий вісник УкрНДІПБ. Технічні науки*. Київ, 2008. №1 (17). С. 155-159.
115. Копистинський Ю.О., Баланюк В.М., Лавренюк О.І. Експериментальне визначення вогнегасної ефективності аерозолію при дії акустично-ударних хвиль. *Пожежна безпека – 2011 : матеріали X Міжнародної науково-практичної конф.* (м.Харків, 17-18 листопада 2011 р.). Харків, 2011. 372 с.
116. Баланюк В.М., Мельник К.В., Копистинський Ю.О. Полуменевогасні добавки до аерозольотворювальних сумішей для придушення полум'я. *Збірник наукових праць ЛДУ БЖД. Технічні науки*. Львів, 2014. №24. С. 124-128.
117. Харченко И.А., Хмельницкий В.В., Сазонов Н.В. Способ определения оптимальной интенсивности подачи огнетушащего вещества для тушения твердого горючего материала. *Огнетушащие порошковые средства : собр. науч. тр.* Москва : ВНИПО, 1985. С. 67-72.
118. Драйздейл Д. Введение в динамику пожаров : пособие / под ред. Ю.А. Кошмарова, В.Е. Макарова. Москва: Стройиздат 1990. 424 с.
119. Moussa N.A., Toong T.Y., Garris C.A. Mechanisms of smouldering of cellulosic materials : 16th Symposium (International) on Combustion. (Pitsburg, PA, August 15-20). Pitsburg, PA, 1977. P.1447-1457.
120. Петрова Л.Д. Аннотации докладов на IV Всесоюзном симпозиуме по горению и взрыву. Москва : АН СССР, 1974. 53 с.
121. Андреев К.К. Термическое разложение и горение взрывчатых веществ : пособие. Москва : Наука, 1966. 346 с.
122. Горст А.Г. Пороха и взрывчатые вещества : пособие. Москва : Оборонгиз, 1949. 256 с.

123. Горст А.Г. Пороха и взрывчатые вещества : пособие. Москва : Оборонгиз, 1957. 188 с.
124. Демидов А.Н. Введение в пиротехнику : учебное пособие. Москва : ГВИНС СССР, 1957. 356 с.
125. Шидловский А.А. Основы пиротехники : пособие 3-е изд. Москва : ГИВП, 1964. 238 с.
126. Яхонтов А.Д. Курс взрывчатых веществ: пособие. Москва : ГНТГИ, 1933. 87 с.
127. Knegteringa B. Safety of the process industries in the 21st century: A changing need of process safety management for a changing industry. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries. Technical science.* Amsterdam, Netherlands, 2009, V. 22. No 2. P. 162–168.
128. Charles J. Kibert Solid particulate aerosol fire suppressants. *Journal Fire Technology. Air Force and University of Florida. Technical science.* U.S., 1994. Vol. 30, No 4. P. 387-399.
129. Агафонов В.В., Казаков А.В., Копылов Н.П., Копылов С.Н. Современное состояние и перспективы совершенствования средств аэрозольного пожаротушения. Юбилейный сборник трудов ФГБУ ВНИИПО МЧС России / под общ. ред. В.И. Климкина. Москва : ВНИИПО, 2012. С. 257-311.
130. Лавренюк О.І., Баланюк В.М. Матеріальний та тепловий баланс процесу горіння : методичні вказівки та завдання для виконання розрахункової роботи курсантами та студентами напрямів підготовки 6.170203, 6.170201 : метод. вказівки. Львів: ЛДУ БЖД, 2012. 18 с.
131. Лавренюк О.І., Баланюк В.М. Теорія розвитку та припинення горіння. Збірник вправ і задач : навчальний посібник. Ч. 1. Львів: ВОНДРВР ЛДУ БЖД, 2013. 132 с.
132. Баланюк В.М., Квашук В.П. Юрим М.Ф., Степова К.В., Ференц Н.О., Петрова М.А. Довідник рятувальника на випадок виникнення надзвичайних ситуацій з небезпечними хімічними речовинами : довідник / під заг. ред. В.І. Балогі. Львів : ЛДУБЖД, 2012. 700 с.

133. Лавренюк О.І., Баланюк В.М. Визначення кольору дифузійного полум'я та температури горіння органічних речовин. Методичні вказівки та завдання для виконання розрахункової роботи курсантами та студентами напрямів підготовки 6.170203 “Пожежна безпека”, 6.170201 “Цивільний захист”. : метод. вказівки. Львів : ЛДУ БЖД, 2012. 16 с.
134. Лавренюк О.І., Баланюк В.М., Михалічко Б.М. Теорія горіння та вибуху : навч. пос. Львів : ВОНДРВР ЛДУ БЖД, 2014. 130 с.
135. Щербина О.М., Михалічко Б.М., Баланюк В.М. Хімія та процеси горіння. *Хімія* : термінологічний словник. Львів, 2010. 168 с.
136. Жартовський В.М, Откідач М.Я., Цапко Ю.В., Тропінов О.Г. Дослідження з визначення вогнегасної ефективності сумішей інгібіторів горіння та інертних розріджувачів. *Науковий вісник УкрНДІПБ. Технічні науки*. Київ, 2003. №2(8). С. 5-10.
137. Антонов А.В., Огурцов С.Ю. Звіт про науково-дослідну роботу «Провести дослідження з розкриття особливостей процесів припинення горіння горючих речовин під час застосування сучасних вогнегасних речовин та технологій їх подавання» («Припинення горіння») : звіт. Київ : УкрНДІЦЗ ДСНС України, 2014. 483 с. № держреєстрації 0111U008299.
138. Копистинський Ю.О. Баланюк, Кошеленко В.В. Особливості механізму гасіння дифузійного полум'я аерозолями на основі хлоридів та карбонатів калію. *Пожежна безпека* : зб. тез доп. ІХ Міжнар. наук.-практ. конф. (м.Львів, 2009 р.) Львів, 2009. С. 95-96.
139. Водяник В.И., Пронишева Н.М. Механизм воздействия огнегасящих составов на пламя. *Техника безопасности в хим. Промышленности. Тех.науки*. Москва, 1981. №10. 12 с.
140. Коростелёв В.Г. Аэрозольгенерирующие пожаротушащие составы. Основные типы составов и оптимальные условия их применения *Пожаровзрывобезопасность. Тех.науки. Москва*, 2002, №1. С. 61–66.
141. Генератори вогнегасного аерозолю. URL <https://www.firepro.com/>.

142. Викиди екологічно небезпечних речовин при пожежах. URL <https://menr.gov.ua/>
143. Апанович В.Н., Жартовский В.М., Антонов А.В. Исследование пламеподавляющих свойств бинарных смесей. Химическая физика процессов горения и взрыва. Горение гетерогенных систем : научн. пособие. Черноголовка, 1989. 112 с.
144. Рычков А.Д. Числительное моделирование работы импульсной аэрозольной системы пожаротушения при возгораниях жидких углеводородных топлив. *Теплофизика и аэромеханика. Тех. науки.* Новосибирск, 2009, Т.12 №2. С. 307-318.
145. ISO 14520-1:2006 Gaseous fire-extinguishing systems. Physical properties and system design. Part 1: General requirements (Системи газового пожежогасіння. Фізичні властивості та проектування систем. Частина 1. Загальні вимоги) з поправкою ISO 14520-1:2006/Cor.1:2007.
146. ДСТУ 3958-2000 Газові вогнегасні речовини. Номенклатура показників. Загальні технічні вимоги. Методи випробувань. [Чинний від 01.01.2001]. Вид офіц. Київ, 2000. 72 с.
147. ДСТУ 4466-1:2008 Системи газового пожежогасіння. Проектування, монтаж, випробування, технічне обслуговування та безпека. Частина 1. Загальні вимоги. [Чинний від 01.07.2009]. Вид офіц. Київ, 2006. 69 с.
148. ДСТУ 5092:2008 Пожежна безпека. Вогнегасні речовини. Діоксид вуглецю. [Чинний від 01.10.2010]. Вид офіц. Київ, 2010. 19 с.
149. Баланюк В.М. Копистинський Ю.О. Лавренюк О.І. Підвищення ефективності гасіння аерозолевою речовиною на основі неорганічних солей калію ударною хвилею. *Техногенна безпека: Теорія, практика, інновації* : зб. тез доп. II Міжнар. наук.-практ. конф. (м.Львів 2011 р.) Львів, 2011. С. 49-50.
150. Журбинський Д. А. Особливості припинення процесів горіння аерозоль утворюючими системами при об'ємному пожежогасінні. *Вісник Черкаського державного технологічного університету. Технічні науки.* Черкаси, 2002. Вип. 4. С. 110-114.

151. Копистинський Ю.О. Підвищення ефективності систем аерозольного пожежогасіння : автореферат дис. канд. тех. наук : 21.06.02. Львів, 2013. с 19.
152. ДСТУ 4490:2005 Пожежна техніка. Установки автоматичні аерозольного пожежогасіння. Проектування, монтування та експлуатування. Технічні вимоги. [Чинний від 01. 07. 2006]. Вид офіц. Київ, 2006. 14 с.
153. Жартовський В.М., Откідач М.Я., Цапко Ю.В., Тропінов О.Г. Дослідження з визначення вогнегасної ефективності сумішей інгібіторів горіння та інертних розріджувачів. *Науковий вісник НЛТУ України. Технічні науки*. Львів, 2003. №2. С. 5-10.
154. Баланюк В.М., Грималюк Б.Т., Кіт Ю.В., Левуш С.С. Вплив газової фази на ефективність вогнегасних аерозолів. *Вісник НУ "Львівська політехніка". Технічні науки*. Львів, 2004. №497. С. 11–12.
155. Баланюк В.М., Грималюк Б.Т. Дослідження впливу інертних газових розріджувачів на ефективність вогнегасних аерозолів. *Пожежна безпека. Тех. науки*. Львів, 2004. №5. С.18–24.
156. Аэрозольный огнетушащий состав : пат. 2121857 Рос. Федерации : А62D 1/00, 1/02; заявл. 28.10.1996; опубл. 20.11.1998. 4 с. Бюл. №7.
157. Монреальський протокол про речовини, що руйнують озоновий шар ООН; Протокол, Акт, Резолюція від 16.09.1987. URL <http://parusconsultant.com/?doc=053O65D021>
158. Кіотський протокол до Рамкової конвенції Організації Об'єднаних Націй про зміну клімату (укр/рос) ООН; Протокол, Міжнародний документ від 11.12.1997. URL https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_801
159. Robert E. Tapscott, Ted A. Moore, and J. Douglas Mather. Halon replacement research – a historical review of technical progress and regulatory decision points : Halon Options Technical Working Conference (Sheraton Old Town, 12–14 May, 1998). Sheraton Old Town, Albuquerque, New Mexico, 1998. P. 54 – 68
160. U.S. Department of Transportation Federal Aviation (February 2002) Administration Final Report Options to the Use of Halons for Aircraft Fire Suppression Systems. Update. URL : www.faa.gov:

161. Neil L. Book, Oliver C. Sitton, Douglas K. Ludlow. Inerting or purging. Instructional module. *Department of Chemical Engineering University of Missouri. Technical science*. Rolla, 2000. P. 31
162. Vortex The Only Hybrid Nitrogen–Water Fire Suppression System. URL [http://www.firesafetyinc.com/PDFs/Vortex %20Brochure.pdf](http://www.firesafetyinc.com/PDFs/Vortex%20Brochure.pdf).
163. Eric W. Forssell, Joseph L. Scheffey, Philip J. DiNenno, and Gerard G. Back. *False Deck Development Testing of Hybrid Nitrogen. Water Mist Fire Suppression Systems : Halon Options Technical Working Conference* (Albuquerque, 2004), Albuquerque, NM, 2004. P. 26-32
164. Система автоматического пожаротушения «Защитный туман» URL <https://www.startbase.ru/innovations/63/>.
165. Абдурагимов И. М., Говоров В. Г., Макаров В. Е. Физические и химические основы развития и тушения пожара : пособие. Москва : ВПТШ СССР, 1980. С. 260.
166. Lott J.L., Christian S.D., Sliepcevich C.M., Tucker E.E. Synergism Between Chemical and Physical Fire–Suppressant Agents. *Fire Technology. Technical science*. Berlin, 1996, Vol. 32, No 3 P.260–271.
167. Williams B.A., Fleming J.W., Sheinson R.S. Extinction Studies of Hydrofluorocarbons in Methane Air and Propane. *Air Counterflow Diffusion Flames: The Role of the CF₃ Radical* : Proceedings of the Halon Options Technical Working Conference (Albuquerque, NM, 6-8 May, 1997). Albuquerque, NM, 1997. P. 31-42.
168. Журбинський, Д. А. Флегматизування газових горючих середовищ сумішами вогнегасних аерозолів та газових вогнегасних речовин : автореф. дис. канд. техн. наук: 21.06.02. Львів, 2014. 19 с.
169. Ted A. Moore, Nobuo Yamada. Nitrogen gas as a halon replacement : Halon Options Technical Working Conference (Albuquerque, NM, 12–14 May 1998). Albuquerque, NM, 1998. P. 330–338.
170. Sakei N. Saito, Y. Saso Y. Ogawa Y. Inoue. Report. Flame-extinguishing Concentrations of Halon Replacements for Flammable Liquids. *Fire Research Institute of Japan. Technical science*. Japan, 1995. Vol. 80. P. 36–42.

171. Yongfeng Z., Xiang J., Guangxuan L. & Ni X.. Experimental study of the fire-extinguishing effectiveness of 1-bromo-3,3,3-trifluoropropene/nitrogen mixtures. *Journal Of Fire Sciences. Technical science*. London, 2007. No25. P. 177–187.
172. Y. Levendis, M. Delichatsios. Cryogenic Supression of Liquid Pool Fires and Wooden Crib Fires. *National Fire Protection Association Suppression and Detection. Ecology*. Orlando, FL, 2011. P.265 – 269
173. Ehs.research.uiowa.edu, Liquid Nitrogen Handling | Environmental Health and Safety, 2015. URL <http://ehs.research.uiowa.edu/liquid-nitrogenhandling>.
174. 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* 10: 557-567. 10.3801/IAFSS.FSS.10-557.
175. Fire suppression systems inert gases. URL <http://www.aft.net/products/fire-suppression/inert-gases/>
176. Saito N., Saso Y., Ogawa Y., Otsu Y. and Kikui H. Fire Extinguishing Effect Of Mixed Agents Of Halon 1301 And Inert Gases. *Fire Safety Science. Technical science*. Hirosaki, Aomori, Japan, 1997. P. 557-567.
177. Agafonov V., Sergey N., Kopylov, Andrey V. Sychev, Vassily F. Uglov, Dmitry B. Zhyganov. *The mechanism of fire suppression by condensed aerosols* : 15th Proceedings Halon Options Technical Working Conference,. HOTWC, 2005. P. 1–10.
178. Корольченко Д.А. Тушение пожаров аэрозольными составами : автореф. дисс. канд. тех. наук : 05.26.03. Москва, 1998. 24 с.
179. Копистинський О.Р., Ковалишин В.В. Гасіння пожежі в кабельному тунелі *Збірник наукових праць ЛПБ. Пожежна безпека. Технічні науки*. Львів, 2004. № 4. С. 72 – 75.
180. Антонов А.В. Узагальнення і розвиток наукових основ розроблення та технологій застосування екологічно прийнятних вогнегасних речовин : автореф. дис. д.т.н. : 21.06.01. Київ, 2017. 55 с.
181. Флегматизирующая концентрация хладонів
URL <https://chem21.info/info/342978/>
182. Inergen-extinguishing systems. Tyco.

URL <http://www.tycofis.co.uk/products/Gaseous-Fire-Suppression/inergen-overview>.

183. Ковалишин В.В. Розвиток наукових основ гасіння пожеж на об'єктах значної протяжності : десерт. д.т.н. : 21.06.02. Макіївка, 2012. 378 с.

184. Копылов Н. П. Применение автоматических углекислотных установок низкого давления – перспективное направление в противопожарной защите больших объемов производственных помещений. *Каталог «Пожарная автоматика»*. Технические науки. Москва, 2009. С. 58 – 64.

185. Серебренников С.Ю., Рязанцев В.А., Прохоренко К.В. Успехи аэрозольного пожаротушения. *Пожаровзрывобезопасность. Технические науки*. Москва, 2004. № 5. С. 42 – 46.

186. Агафонов В.В. Копылов Н.П. Установки аэрозольного пожаротушения. Основные характеристики : уч.-метод. пособ. / под ред. Н.П. Копылова. Москва : ВНИИПО, 2001. 91 с.

187. Азатян В.В., Баратов А.Н., Вогман Л.П. Исследование механизма гасящего действия аэрозвесей солей. *Химическая физика процессов горения и взрыва. Кинетика химических реакций*. Черноголовка, 1977. С. 110-113.

188. Fischer G., and Leonard J.T. The Effectiveness of Fire Extinguishing Powders Based on Small Scale Fire Suppressant Tests. *Naval Research Laboratory. Technical science*. Washington, DC, 1995. P. 236-238

189. Shorin S.N., Balin V.A. The effect of inert dust to the normal speed of propagation of flame in combustible gas mixtures, theory of combustion : proceedings of the all-Moscow seminar on the theory of combustion: collection of scientific papers (Moscow, 1970). Moscow, 1970. P. 93-100.

190. Gogol L.A., Kononenko K.M., Kolesnikov D.S. The inhibition of propane combustion aerosols of metal salts. Inhibition of chain gas reactions: proceedings of the workshop on the mechanism of inhibition of chain gas reactions. (Alma-ATA, 1971). Alma-ATA, 1971. P. 205- 213.

191. Лавренюк О. І., Копистинський Ю.О. Вогнегасна ефективність аерозоліу отриманого з аерозолеутворювальної сполуки з підвищенням вмістом солей калію.

Техногенна безпека. Теорія, практика, інновації : зб. тез. міжнар. наук.-практ. конф. (м. Львів, 2008 р.). Львів, 2008. 274 с.

192. James W. Fleming, Mark D. Reed, Eric J.P. Zegers, Bradley A. Williams, Ronald S. Sheinson. Extinction studies of propane/air counterflow diffusion flames: the effectiveness of aerosols : Halon Options Technical Working Conference (Albuquerque, NM, 12–14 May 1998). Albuquerque, NM, 1998. C.403-414

193. Mc Hale E.T. Flame Inhibition by Potassium Compounds. *Combust and Flame. Technical science*. Pittsburgh, 1975. Vol. 24, №2. P.277 – 279.

194. Mitani T., Niioka T. Comparison of Experiment and Theory on Heterogeneous Flame Suppressants : Nineteenth Symposium on Combustion (Pittsburg, 1982). Pittsburg, 1982. P.869-875. doi: 10.1016/S0082-0784(82)80262-2.

195. James W. Fleming, Bradley A. Williams, Ronald S. Sheinson, Suppression effectiveness of aerosols: the effect of size and flame type. *National Institute of Standards and Technology. Technical science*. Gaithersburg, MD, 2002. P. 2-12

196. Баланюк В.М., Грималюк Б.Т. Метод пошуку ефективних вогнегасних аерозольотворюючих складів. *Пожарна безпека : зб. наук. пр. Техн. науки*. Львів, 2005. №6. С. 113-116.

197. Gregory T. Linteris Ph.D., Clean Agent Suppression of Energizer Equipment Fires, National Institute of Standards and Technology Technical Note 1622 Natl. Inst. Stand. Technol. Tech. Note 1622, 108 pages (January 2009).

198. Zhartovs'kyu V. M., Otkidach M. Ya., Tsapko Yu. V., Tropinov O. H., Studies to determine the fire extinguishing effectiveness of mixtures of retardants and inert diluents. *Scientific Bulletin. Technical science*. Kiev, 2003, №2. P. 5-10. (http://firesafety.at.ua/visnyk/2003_No_2-08/zhartovskij-otkidach-capko-tropinov-2.pdf).

199. Баланюк В.М., Межеріцкая Ю.В., Теоретическое обоснование возможности применения комбинированной смеси газовых и аэрозольных огнетушащих веществ для тушения пожаров объемным способом. *Обеспечение безопасности жизнедеятельности: проблемы и перспективы* : программа VI международной научно-практической конференции курсантов (студентов), слушателей

магистратуры и адъюнктов (аспирантов) (г. Минск 5-7 апреля 2012 года). Минск, 2012. С. 279-280.

200. Антонов А.В. Вогнегасна ефективність бінарних сумішей галону 2402 та хладону 3 мтм «повес» 1230. *Науковий вісник УкрНДІПБ. Технічні науки*. Київ, 2012 № 2 (26). С.198-202.

201. Баланюк В.М. Залежність вогнегасної ефективності аерозолу на основі солей калію від значень концентраційних меж поширення полум'я. *Пожежна безпека. Технічні науки*. Львів, 2009. №14. С. 122-126.

202. Журбинський Д.А., Баланюк В.М., Лин А.С. Вплив виду аерозольотворювальних сполук на основі солей калію та добавок інертних газів на флегматизувальну ефективність аерозолу. *Пожежна безпека. Технічні науки*. Львів, 2013. №21. С 19-23.

203. Орел А.В., Антонов А.В., Откідач М.Я., Цапко Ю.В., Кот А.П. Розрахунковий метод визначення мінімальних вогнегасних та мінімальних флегматизувальних концентрацій (смвта смф) азотно-кисневих сумішей, збагачених на азот. *Науковий вісник УкрНДІПБ. Технічні науки*. Київ, 2001. №3. С. 84-87.

204. Цапко О.Ю., Цапко Ю.В., Баланюк В.М. Визначення вогнегасної та флегматизувальної здатності вогнегасних озонеруйнівних газових речовин. *Зб. наук. праць «Пожежна безпека». Технічні науки*. Львів, 2010. №19. С.159-163.

205. Корольченко А.Я., Корольченко Д.А.. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения : справочник в 2-х ч., 2-е изд., перераб. и доп. Москва : Пожнаука, 2004. Ч.1 713 с., Ч.2 747 с.

205. Сурков А.Г., Каратун А.В., Кожин В.Н., Цопа Г.А. Подавление загораний легковоспламеняющихся веществ в закрытых объемах генерируемыми инертными газами в момент возникновения опасной ситуации : материалы республиканской научно-производственной конференции по охране труда и технике безопасности (Ворошиловград, 1973). Ворошиловград, 1973. С. 126 – 136

206. Тищенко О.М. Ефективності порошків при гасінні полум'я газоповітряного середовища з перемінним вмістом кисню : автореф. дис. к.т.н. : 21.06.02. Харків – 2000. 17 с.
207. Газовое пожаротушение. Применение аргона URL <http://www.ruskt.ru>.
208. Антонов А.В., Орел В.П., Цапко Ю.В. Флегматизування горючих середовищ інертними розріджувачами, інгібіторами та їх сумішами. *Зб. наук. пр. Севастопольського ВМІ ім. П.С. Нахімова. Технічні науки*. Севастополь, 2002. Вип. 1. С. 148–149.
209. Балин В.А., Шорин С.Н., Ермолаев О.М. Исследование нормальной скорости распространения пламени в запыленных газовых потоках. *Теплоэнергетика. Технические науки*. Москва, 1969. №4. С. 75-77.
210. Абдурагимов И.М., Дрикер Г.Я. К вопросу об эффективности ингибиторов при горении углеводородных топлив. *Физика горения и взрыва. Технические науки*. Новосибирск, 1969. № 2. С. 178-183.
211. CEN/TS 14972:2008 Fixed firefighting systems. Watermist systems. Design and installation (Стационарні системи пожежогасіння. Системи тонко розпиленої води. Проектування та установка). [чинні від 01.05.2008]. Br, 2008. 78 p.
212. Цапко Ю.В., Орел В.П., Антонов А.В. Отримання газових сумішей продуктів піролізу органічних матеріалів та дослідження умов їх флегматизування газовими вогнегасними речовинами. *Науковий вісник УкрНДІПБ. Технічні науки*. Київ, 2001. № 4. С. 59–65.
213. Шрайбер Г., Порст П. Огнетушащие вещества : пособ. Москва : Стройиздат, 1975. 237с.
214. Шидловський А.А. Основы пиротехники : пособ. Москва : Машиностроение, 1964. 324 с.
215. Грин Х., Лейн В., Аэрозоли – пыли, дымы и туманы : монограф. / пер. с англ. под редакцией д-ра хим. наук Н.А. Фукса. Ленинград : Химия, 1969. 427 с.
216. Гороновский И.Т., Назаренко Ю.П., Некряч Е.Ф. Краткий справочник по химии : справичн. Киев : Издательство академии наук Украинской ССР, 1962. 659 с.

217. Карапетьянц М.Х., Карапетьянц М.Л. Основные термодинамические константы неорганических веществ : пособ. Москва: Химия, 1968. 470 с.
218. Гороновский И.Т., Назаренко Ю.П., Некряч Е.Ф. Краткий справочник по химии : справочн. Киев : Издательство академии наук Украинской ССР, 1962. 659 с.
- 219 Агафонов В.В., Большаков В.С., Голубчиков В.Б., Поляков Д.В. *Влияние начальных температур среды и аэрозолей АОС на эффективность объемного аэрозольного пожаротушения* : материалы 16 всероссийской научно-технической конференции. (г.Москва, 2001 г.). Москва, 2001. С. 87-91.
220. Агафонов В.В., Амельчугов С.П., Копылов Н.П. Влияние температуры среды на огнетушащую способность АОС. *Пожарная безопасность многофункциональных и высотных зданий и сооружений* : материалы 19 научно-технической конференции (г. Москва, 2005). Москва, 2005. Ч. 2. С. 155-159.
221. Naoshi Saitoa, Yoshio Ogawaa, Yuko Sasoa, Chihong Liaoa, Ryuta Sakeib. Flame-extinguishing concentrations and peak concentrations of N₂, Ar, CO₂ and their mixtures for hydrocarbon fuels. *Fire Safety Journal, Techn. Science. USA*, 1996. Vol. 27, No 3, P. 185-200.
222. Баланюк В.М. Способи та умови гасіння та флегматизування горючих середовищ газовими вогнегасними речовинами. *Вісник ЛДУ БЖД. Технічні науки*. Львів, 2014. №10, С. 173-178.
223. Баланюк В.М., Левуш С.С., Грималюк Б.Т. Особливості пожежогасіння аерозольними сумішами, переваги та недоліки методу. *Пожежна безпека : зб. наук. праць. Технічні науки*. Львів, 2002. №2. С 59-61.
224. Баланюк В.М., Журбинський Д.А. Обґрунтування використання газоаерозольної суміші, для флегматизації гомогенних горючих сумішей. *XIII Міжнародний виставковий форум «Технології захисту – 2011»* : матеріали XIII Всеукр. наук.-практ. конф. Рятувальників (м.Київ, 2011 р.). Київ, 2011.С. 178-179
225. Галикеев А.Р. Определение пожаровзрывоопасных показателей углеродсодержащих отложений при составлении рецептуры огнезащитных красок

и создании огнетушащих порошков. *Electronic scientific journal "oil and gas business". Technical science.* USA, 2001.

226. Способ определения огнетушащей способности порошковых составов пат. 871804 СССР : А62С 1/00. № 2843374; заявл. 28.11.1979; опубл. 15.10.1981. Бюл. №4.

227. Способ тушения пожаров пат. 494164 СССР : М.Кл. А 62 D 1/00, А 62с 1/10. № 1251619; заявл. 04.07.1973; опубл. 05.12.75. Бюл. №8.

228. Тарахно О.В. Теоретичні основи пожежовибухонебезпеки: підручн. Харків: АЦЗУ, 2006. 375 с.

229. Быков С.А., Откидач Н.Я., Тищенко А.М. Экспериментальное обоснование комбинированного применения азота с огнетушащими порошками для противопожарной защиты объектов. *Проблемы пожарной безопасности. Технические науки.* Харьков, 2003. Вып. 14. С. 55-59.

230. Фотокамера NIKON1 J4.

URL <http://imaging.nikon.com/lineup/acil/bodies/j4/сpec.htm> Nikon 1 J4.

231. Баланюк В.М., Гарасим'юк О. І. Застосування газоаерозольних сумішей для захисту електроустановок від пожеж. *Актуальні наукові проблеми. Розгляд, рішення, практика* : матеріали міжнар.наук.-практ.конф. (м.Одеса, 27–28 травня 2016 р.). Одеса, 2016. С. 205-207.

232. Баланюк В.М. Тернарні вогнегасні системи на основі ударних хвиль *Теорія і практика гасіння пожеж та ліквідації надзвичайних ситуацій* : матеріали VIII Міжнародної науково-практичної конференції (м.Черкаси, 26 – 28 квітня 2017 року). м.Черкаси, 2017. С. 12-14.

233. Генератор воздушной ударной волны патент РФ: F42D1/00. № 2226259; заявл. 22.04 2002; опубл. 27.03.2004. Бюл. №6.

234. Баланюк В.М., Луц В.І., Наливайко М.А. Нові підходи подачі тонкорозпиленої води з поверхнево-активними речовинами та сумішами хімічних сполук. *Пожежна безпека: Зб. наук. праць. Технічні науки.* Львів, 2012. №20. С. 118-123.

235. Баланюк В.М., Гарасим'юк О.І., Пастухов П.В. Визначення вогнегасної ефективності деяких аерозольутворюювальних сполук. *Пожжежна безпека : зб. наук. пр. Технічні науки*. Львів, 2013. №23. С. 14-19.
236. BMP180 Digital pressure sensor URL <https://www.adafruit.com/datasheets/BST-BMP180-DS000-09.pdf>.
237. Програмне забезпечення CoolTerm._0. URL <http://freeware.the-meiers.org/>.
238. Начало работы с Ардуино на Windows URL <https://doc.arduino.ua/ru/guide/Windows>
239. Ступоченко Е., Лосев С.А., Осипов А.И. Релаксационные процессы в ударных волнах : пособ. Москва. : Наука, 1965. 484 с.
240. Зельдович Я.Б., Райзер Ю.П. Физика ударных волн и высокотемпературных гидродинамических явлений: науч. пособ. Москва : Наука, 1966. 686 с.
241. Хитрин А.Н. Физика горения и взрыва : пособ. Москва.: изд-во Московского университета, 1957. 442 с.
242. Копистинський Ю.О. Лавренюк О.І. Взаємодія полум'я і вогнегасного аерозолі речовини під впливом ударної хвилі. *Пожжежна безпека: зб. наук. праць. Технічні науки*. Львів, 2011. №18. С.71-75.
243. Розловський А.Н. Основы техники взрывобезопасности при работе с горючими газами и парами : научн. пособ. Москва: Химия, 1980. 375 с.
244. Баланюк В.М., Грималюк Б.Т. Дослідження взаємодії аерозолі з дифузійним полум'ям різних речовин. *Пожжежна безпека : зб. наук. праць. – Технічні науки*. Львів, 2006. №6. С. 21-24.
245. Кумагаи С. Горение : научн. пособ./пер. с яп. к. ф.-м. н. С.К. Орджоникидзе и к. ф.-м. н. Б.С. Ермолаева. Москва : Химия, 1980. 256 с.
246. Morton B.R., G. Taylor, J.S. Turner. Turbulent gravitation convection from maintained and instantaneous sources. *The Royal society publishing. Technical science*. London, 1956. Vol. 234, No 1196. P. 2-23.
247. Льюис Б. Горение, пламя и взрывы в газах : пособ. / перев. с англ. под ред. К.Н. Щелкина и А.А. Борисова. Москва : Мир, 1968. 581 с.

248. Ксандуполо Г.И. Механизм ингибирования горения углеродно-воздушных смесей мелкодисперсными частицами. *Физика горения и взрыва. Технические науки*. Новосибирск, 1971. №1. С. 92-99.
249. Баланюк В.М., Лавренюк О.І., Гарасим'юк О.І., Голонько О.Я. Особливості гасіння твердих та рідких горючих речовин вогнегасним аерозолем на основі солей калію. *Пожежна безпека: Зб. наук. праць. Технічні науки*. Львів, 2008. №12. С. 60-64.
250. Стрижевский И.И., Заказнов В.Ф. Промышленные огнепреградители : пособ. Москва : Химия, 1974. 261 с.
251. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Гидродинамика : пособ. Москва : Наука, 1986. 736 с.
252. Баланюк В.М. Явища та процеси, що виникають під дією звукової хвилі в аерозолі. *Пожежна безпека: Зб. наук. праць. Технічні науки*. Львів, 2010. №16. С. 129-136
253. Баланюк В.М. Комбіновані вогнегасні системи на основі ударної хвилі та газової об'ємної вогнегасної речовини. *Пожежна безпека. Технічні науки*. Львів, 2016. №30. С. 7-12.
254. Carhart, H. W., Fielding F. J. Applications of Gaseous Fire Extinguishants in Submarines : Symposium on Appraisal of Halogenated Fire Extinguishing Agents, National Academy of Sciences, (Washington, DC, April 11-12, 1972). Washington, 1972 P. 239-256.
255. Агафонов В.В., Амельчугов С.П., Копылов Н.П. Влияние температуры среды на огнетушащую способность АОС. *Пожарная безопасность многофункциональных и высотных зданий и сооружений* : материалы 19 научно-технической конференции (г. Москва, 2005 г.). Москва, 2005. Ч. 2. С. 155-159.
256. Баланюк В.М., Левуш С.С., Грималюк Б.Т. Особливості пожежогасіння аерозольними сумішами, переваги та недоліки методу. *Пожежна безпека : зб. наук. праць. Технічні науки*. Львів, 2002. №2. С 59-61.
257. Гришин А.М., Зима В. П., Касымов Д. П. Применение взрывчатых веществ в устройствах локализации и тушения природных пожаров. *Пожаровзрывобезопасность. Технические науки*. Москва, 2015. Т. 24. №7. С. 52-60.

258. Рева Г.В., Куценко Л.М. Метод оценки интенсивности воздействия ударной волны направленного взрыва для тушения лесных пожаров : пособ. Харьков : ХИПБ, 1998. 80 с.
259. Гузенко В.А., Сенчихін Ю.М., Руденко С.Ю. Удосконалення методу гасіння лісових пожеж напрямленим вибухом за рахунок використання особливостей форми ударних вибухових хвиль. *Проблеми пожежної безпеки. Технічні науки*. Харків, 2011. Вип. 29. С. 50-54.
260. Гиршфельдер Дж., Кертисс Ч., Берд Р. Л. Молекулярная теория газов и жидкостей : пособ. / пер. с англ. под ред. Е.В.Ступоченко. Москва: Москва, 1961. 928 с.
261. Компанеец А.С. Ударные волны : пособ. Москва : Физматгиз, 1963. 92 с.
262. Абдурагимов И.М., Говоров В.Ю., Макаров В.Е. Физико-химические основы развития и тушения пожаров : пособ. Москва : ВПТШ МВД СССР, 1980. 255 с.
263. URL <http://www.hydro.nsc.ru/institute/history/person/Lugovtsov4.php>.
264. Tomasz Węsierski, Stefan Wilczkowski, Henryk Radomiak, wygaszanie procesu spalania przy pomocy fal akustycznych. *Wydawnictwo CNBOP-PIB*. Józefów, 2013. Vol. 30 No 2. P. 59-64.
265. Poisot T., Yip B., Veynante P., Trouve A., Samaniego J. M., Candel S., Zero-g acoustic fire suppression system. *Journal de Phisique III, Technical science*. France, 1992, No 2. P. 1331.
266. URL <http://www.extremetech.com/extreme/132859-darpa-creates-sound-based-fire-extinguisher>.
267. Баланюк В.М., Лавренюк О.І., Копистинський Ю.О. Визначення ефективності застосування акустичної ударної хвилі для аерозольного пожежогасіння. *X Міжнародний виставковий форум «Технології захисту – 2011»* : матеріали XIII Всеукр. наук.-практ. конф. Рятувальників (Київ, 2011). Київ, 2011. С. 178-182.
268. Курбатский Н.П., Валендик Е.Н. Локализация лесных пожаров накладными шнуровыми зарядами : пособ. Красноярск : Красноярский рабочий, 1970. С. 320-332.

269. Grishin A. M., Perminov V. A., Combustion, Explosion, and Shock Waves. *Scientific Research Publishing. Technical science*. China, 1998. Vol. 34, No 4. P. 378-386.
270. Grishin A. M., Zima V. P., Mashovich A.Ya, Samoilov V.I. Proc. Common Prob. on Mech. and Eco., Tomsk, Russia, 2000. P.83-85.
271. Grishin A.M., Golovanov A.N. Combustion, Explosion, and Shock Waves. *Scientific Research Publishing. Technical science*. China, Vol.37, No 5, P.558-562.
263. Фокусировка ударных волн. URL <http://studopedia.org/1-18377.html>.
264. Каневский И.Н. Фокустрование звуковых и ультразвуковых волн : пособ. / под ред. Н.А. Петруница. Москва : Наука, 1977. 336 с.
265. Лойцянский Л. Г. Механика жидкости и газа : пособ. Москва : ГИ ТТЛ, 1950. 165 с.
266. Копистинський Ю.О., Баланюк В.М., Лавренюк О.І. Вплив звукових ударних хвиль на дисперсні системи. *Пожежна безпека: зб. наук. праць. Технічні науки*. Львів, 2010. №17. С.180-183.
267. L. Ye J., Liu P. Sheng J., Huang D. Weitz. Sound propagation in colloidal systems. *Journal de Physique IV Colloque, Tech. science*. France, 1993, 03 (C1), P.183-196.
268. Grishin A. Interaction of shockwaves with tree crowns and the front of crown forest fires. Shockwaves Marseille III, Shockwaves in condensed matter and heterogeneous media, Editors Brun & Dumitrescu, Springer. 1993
URL https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-78835-2_70.
269. Рева Г.В., Куценко Л.Н., Кулешов Н.Н. Изображение фронта ударной волны, отраженной цилиндрической синусоидальной поверхностью. Проблемы горения и тушения пожаров на рубеже веков : материалы XV научно-практической конференции (г.Москва, 1999). Москва, 1999. С. 307– 309.
270. Вайсман М.Н., Умнягин А.М., Таубе П.Р., Муравьева Л.Г. Определение дисперсности огнетушащих порошков фотоседиментационным методом. *Горючесть веществ и химические средства пожаротушения: Сб. науч. тр. Технич. науки*. Москва, 1978. Вып. 5. С. 77-82.

271. Грин Х., Лейн В. Аэрозоли – пыли, дымы и туманы : пособ. / пер. с англ. под ред. Н.А. Фукса. Ленинград : Химия, 1972, с. 250.
272. Фукс Н.А. Механика аэрозолей : научн. пособ. Москва : АН СССР, 1955. 352 с.
273. Stokes C.A. Sonic Agglomeration of Carbon Black Aerosols. *Chemical Engineering Progress. Chemistry*. US, 1950. V. 46, № 8. 423 p.
274. Баратов А.Н. Физические и химические аспекты пожаротушения экономически эффективными системами основанными на сжигании пропеллантов. *Пожаровзрывоопасность. Технические науки*. Москва, 2001. №6. С. 26-32.
275. Райст П. Аэрозоли: введение в теорию : пособ. / пер. с англ. под ред. Б.Ф. Садовского. Москва : Мир, 1987. 278 с.
276. Grzegorz Smigielski, Roman Dygdała, Grzegorz Serejko, Michał Kaczorowski. Estimation size of aerosol droplets produced by explosion. *Przegląd elektrotechniczny. Nauki Techniczne*. Polska, 2016 No11. P 91-94. doi:10.15199/48.2016.11.23
277. Сивухин Д. В. Термодинамика и молекулярная физика. Общий курс физики : пособие. Москва : Наука, 1975. Т. II. 258 с.
278. Бузуков А.А. Снижение параметров воздушной ударной волны с помощью воздушно-водяной завесы. *Физика горения и взрыва. Технические науки*. Новосибирск, 2000. Т. 36. № 3. С. 120-130.
279. Гирин А.Г., Минакова Е.О. Взаимодействие взрывной ударной волны с пылевой завесой. *Вестник Одесского национального морского университета. Технические науки*. Одесса, 2008. №25. С. 146-156.
280. Баратов А.Н. Горение-Пожар-Взрыв-Безопасность : монограф.. Москва : ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2003. 363 с.
281. Буравов Л.И., Екнадиосянц О.К. О поведении частиц аэрозоля в акустическом поле. *Акустический журнал. Технические науки*. Москва, 1961 №7 С. 492-493.
282. Фридлиндер Ф. Звуковые импульсы : пособ. / пер. с англ. А.И. Смирнова, под ред. Г.И. Баренблатта. Москва : изд. иностр. лит., 1962. 234 с.
283. Медников Е.П. Турбулентный перенос и осаждение аэрозолей : пособ. Москва : Наука, 1981. 174 с.

284. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Гидродинамика : пособ. 5-е изд. Москва : Наука, 2003. 736 с.
285. Перельман Я.И. Знаменательная физика : пособ. Москва : Наука, 1983. 108 с.
286. Balanyuk V.M. Specific nature of phlegmatizing air-heptan mixture using aerosol and nitrogen binary mixture. *ВіТР. Technical science*. Poland, 2016. Vol. 44, No 4. P. 139-149. DOI:10.12845/bitp.44.4.2016.11
287. Williams F.A. A unified view of fire suppression. *J. Fire and flammability. Technical science*. New York, 1974. Vol. 5. P. 54-63.
288. Williams F.A. Chemical kinetics of pyrolysis, in Heat Transfer in Fires. *John Wiley and Sons. Technical science*. New York, 1974. P. 197-237.
289. Williams F.A. Urban and wildland fire phenomenology. Progress in Energy and Combustion Science. *John Wiley and Sons. Technical science*. New York, 1982. Vol. 8. P. 317-354.
290. Груздев А.Г., Кайдалов В.В., Осипков В. Н., Орионов Ю.Э., Стрелец А.В., Яшнев Ю.И. Современные технологии комбинированного тушения пожаров газовых, газонефтяных и нефтяных фонтанов. *Пожарная безопасность: сб. научн. докл. Технические науки*. Москва, 2011. №3. С. 84-88.
291. Мамиконян Г.М. Тушение пожаров мощных газовых и нефтяных фонтанов : пособ. Москва : Недра, 1971. 95 с.
292. Копилов Н.П., Москвиллин Е.А., Жарков В.Г., Сушкина Є.Ю. Тушение очагов пожара взрывом . Крупные пожары: предупреждение и тушение : сб. тез. докл. XVI научн.-практ. конф. (г.Москва 2001 г.): Москва 2001. С. 27-28.
293. Виноградов С.А., Грицина І.М., Сенчихін Ю.М. Про можливість гасіння пожеж газових фонтанів за допомогою високошвидкісних струменів води *Пожежна безпека : зб. наук. праць. Технічні науки*. Львів, 2010. №17. С. 77-82.
294. Balanyuk, V. M., Zhurbinskiy D. A. Phlegmatisation of flammable gas mixtures by aerosol sprays. *ВіТР. Technical science*. Poland, 2013. Vol. 32, No 4, P.53–58.
295. А.М. Гришин, В.П. Зима, Д.П. Касымов. Применение взрывчатых веществ в устройствах локализации природных пожаров. *Пожаровзрывобезопасность. Технические науки*. Москва, 2015. 36. 24. №7.

296. Blitznetsov M., Dudin V., Gerasimov S., Houas L., Jourdan G., Logvinov A., Meshkov E., Vlasov Y. Proc. : 8th Int. Workshop on the Physics of Compressible Turbulent Mixing (Pasadena, USA, 2001). Pasadena, 2001. P. 1-5.
297. Сенчихин Ю.Н., Гузенко В.А. Тушение лесных пожаров направленными взрывами. *Крупные пожары: предупреждение и тушение* : Материалы 16 научно-практической конференции (г. Москва, 2001). 2001. Ч. 2. С. 112-114.
298. Комбинаторный способ локализации и тушения низовых лесных и степных пожаров пат. 2458716 S1. Российская Федерация: МПК А62S 3/02 (2006.01) №2011110659/12. заявл. 21.03.2011; опубл.20.08.2011. Бюл. №23.
299. Накладной шнуровой заряд для локализации низовых лесных и степных пожаров пат 2496539 Российская федерация : МПК А 62S 3/02. №98120291; заявл. 02.11.1998; опубл. 16.08.1998. Бюл.№8.
300. Дезинтегратор фронта низового лесного пожара с огнегасящим патроном. Свидетельство РМ 10582 Российская федерация. №98120291; заявл. 02.11.1998; опубл. 16.08.1998. Бюл. №8.
301. Груздев А.Н., Кайдалов В.В., Осыпков В.Н., Орионов Ю.Э. Стрелец А.В., Яшнев Ю.И. Современные технологи комбинированного тушения пожаров газовых, газонефтяных и нефтяных фонтанов. *Пожарная безопасность: сб. науч. Докл. Технические науки. Львов, 2011. №3. С. 84-88.*
302. Руев Н.А., Федоров А.В., Фомин В.М. Развитие неустойчивости Рихтмаэра – Мешкова при взаимодействии диффузионного слоя смешения двух газов с ударными волнами. *Прикладная механика и техническая физика. Техн науки. Новосибирск, 2005. Т. 46, №3. S 3-11.*
303. G. Doig, Z. Johnson, R. Mann. Shock Wave Interaction with a Flame : 18 th Australasian Fluid Mechanics Conference Launceston (Australia, 3-7 December 2012). Australia, 2012. NSW 2052.
304. Giannuzzi P.M., Hargather M.J., Doig G.C. Explosive-driven shock wave and vortex ring interaction with a propane flame. *Springer. Tech. science. Berlin, 2016, Volume 26, No 6, P 851–857.*

305. Баланюк В.М., Копистинський Ю.О., Лавренюк О.І. Визначення ефективності гасіння вогнегасною аерозольною речовиною в умовах застосування газових ударних хвиль. *Пожежна безпека : зб. наук. праць. Технічн. науки.* Львів, 2012. №21. С. 23-28.
306. В.М. Баланюк, к.т.н., доц., Ю.О. Копистинський, к.т.н., Т.Б. Бойко, к.т.н., Д.А. Журбинський. Використання ударних хвиль при гасінні дифузійного полум'я вогнегасними аерозолями «Пожежна безпека: теорія і практика». *Технічні науки.* Черкаси, 2014. №18. С. 32-37.
307. Виноградов С.А., І.М. Грицина, Ю.М. Сенчихін. Про можливість гасіння пожеж газових фонтанів за допомогою високошвидкісних струменів води. *Пожежна безпека : зб. наук. праць. Технічн. науки.* Львів, 2010. №17. С. 77-82.
308. Захматов В.Д. Эффективное быстрое и безопасное тушение пожаров на складах боеприпасов. *Экологическая безопасность и природопользования : Зб. науч. тр. Экология.* Кременчуг, 2008, Вип. 2. С. 200-218.
309. Захматов В.Д., Кожемякин А.С. Перспективные импульсные устройства и автоматические системы пожаровзрывозащиты радиационно зараженных объектов. *Пожарная безопасность зданий, сооружений и объектов тушения пожаров: сб. науч. тр. Технические науки.* Москва, 1999. С. 33 - 36.
310. Захматов В.Д., Черный В.Г., Балыка Г.А., Орлов В.С. Про можливі резерви ефективності вибухоімпульсного порошкового гасіння газо- та нафтопродуктів. *Нафтова і газова промисловість. Технічн. науки.* Київ 1993. №4. с. 44-47.
311. Захматов В.Д. Гасіння газових фонтанів імпульсними пожежогасними установками. *Нафтова і газова промисловість. Технічн. науки.* Київ, 1993. №1. С. 25-29.
312. Захматов В.Д., Понимасов В.Н., Красиков Е.Г. Взрывной способ порошкового пожаротушения. *Безопасность труда в промышленности. Технические науки.* Москва, 1991. №11. с. 39-42.
313. Захматов В.Д., А.С. Кожемякин, В.Л. Цикановский. Тушение газовых фонтанов импульсными установками пожаротушения. *Охрана труда. Технические науки.* Киев, 1997. №5. С. 38-40.

314. ГОСТ Р 12.3.047-98. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля. [Действует от 01.01.2000]. Государственный Стандарт Российской Федерации.

315. Звуковой тиск URL
https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%97%D0%B2%D1%83%D0%BA%D0%BE%D0%B2%D0%B8%D0%B9_%D1%82%D0%B8%D1%81%D0%BA.

316. Баланюк В.М., Межеричская Ю.В. Теоретическое обоснование возможности применения комбинированной смеси газовых и аэрозольных огнетушащих веществ для тушения пожаров объемным способом. *Обеспечение безопасности жизнедеятельности* : проблемы и перспективы. научно-практическая конференция курсантов (студентов), слушателей магистратуры и адъюнктов (аспирантов) (г. Минск 5-7 апреля 2012 года). Минск, 2012. С. 279-280.

317. Руководство по анализу опасности аварийных взрывов и определению параметров их механического действия. РБ Г-05-039-96. Введено в действие с 1 августа 1997, г. Москва.

318. Лопанов А.Н., Хомченко Ю.В. Теория горения и взрыва: Методические указания к выполнению лабораторных работ : метод. пособ. Белгород : Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2010. 180с.

319. Каневский И.Н. Фокустрование звуковых и ультразвуковых : пособ. / под редакцией Н.А. Петруница. Москва: Наука, 1977. с. 336.

320. Gaydon A.G., Wolfhard H. G., Flenes: Their Structure, radiation and Temperature : handbook. London : Chapman and Hall, 1979. Vol 4. Aulf., XIII, 449 p.

321. Архипов В.А., Синогина Е.С. Горение и взрывы : пособ. Томск : Томский государственный педагогический университет, 2008. 156 с.

322. Копылов Н.П., Жевлаков А.Ф., Николаев В.М., Андреев В.А. Создание систем аэрозольного пожаротушения. Юбилейный сборник ВНИИПО : пособ. Москва : ВНИИПО МВД России, 1997. 335 с.

323. Баланюк В.М., Козяр Н.М., Гарасим'юк О.І. Обґрунтування вибору компонентів тернарних вогнегасних сумішей, для протипожежного захисту

об'єктів з наявністю високотемпературних джерел запалювання. *Актуальні проблеми моделювання ризиків і загроз виникнення надзвичайних ситуацій на об'єктах критичної інфраструктури* : міжнар.наук.-практ.конф.(м.Київ, 26-28 травня 2016 р.). Київ, 2016. С. 536-541.

324. Баланюк В.М., Козяр Н.М., Гарасим'юк О.І., Лозинський А.Т. Вплив добавок CO_2 на вогнегасну ефективність бінарної аерозольно-газової суміші *Пожежна безпека : зб. наук. пр. Техн. науки*. Львів, 2016. №28. С. 6-12.

325. Kent, J.H., Williams F.A. Extinction of laminar diffusion flames for liquid fuels : 15th Symposium (International) on Combustion. (Pittsburgh, 1974). Pitsburg, 1974. P. 315-325.

326. Баланюк В.М., Гарасим'юк О.І. Комбіноване аерозольно-порошкове пожежогасіння. *Пожежна безпека : зб. наук. пр. Техн. науки*. Львів, 2015. – №26. С. 7-12.

327. Гарасим'юк О.І., Баланюк В.М., Козяр Н.М. Застосування газо-аерозольно-порошкових вогнегасних сумішей для захисту від запалювальних сумішей. *ScienceRise. Техн. науки*. Харків, 2016. Vol. 5, № 2 С.10-14.

328. Гарасим'юк О.І., Баланюк В.М. Обґрунтування сфери застосування аерозольно- порошкових вогнегасних систем. *Актуальні проблеми у сфері науки : матеріали XXXXI Міжнар.наук.-практ. конф.* (м. Чернівці, 30-31 травня 2016 р.). Чернівці, 2016. Т. 1. С 6-9.

329. Баланюк В.М., Гарасим'юк О.І., Лозинський А.Т. Визначення вогнегасної ефективності аерозольутворювальних сумішей з добавкою амоній гідроген фосфату. *Пожежна безпека : зб. наук. пр. Техн. науки*. Львів, 2015. №26. С. 6-11.

330. Баланюк В.М., Гарасим'юк О.І., Лин А.С. Вплив на флегматизувальну ефективність аерозолю добавок CO_2 : 16 Всеукраїнська конференція рятувальників (23-24 вересня 2014 р.). Київ, 2014. С. 27-29

331. Марков В.Ф., Маскаєва Л.Н., Миронов М.П., Пажникова С.Н. Физико-химические основы развития и тушения пожаров : пособ. Екатеринбург: УрО РАН, 2009. 274 с.

332. Вильямс, Ф.А. Теория горения : пособ. Москва : Наука, 1968. 478 с.
333. Balanyuk V. M., Kozyar N. M., Garasymuyk O. I. Study of fire-extinguishing efficiency of environmentally friendly binary aerosol-nitrogen mixtures. *Eastern-european journal of enterprise technologies. Technical science*. Kharkiv, 2016. №3/10 (71). С. 4-12
334. Журбинський Д.А., Баланюк В.М., Нуянзін В.М., Куліца О.С. Гасіння газових горючих середовищ сумішами вогнегасних аерозолів та газових вогнегасних речовин : монограф. Черкаси : ЧПБ ім. Героїв Чорнобиля НУЦЗ України, 2015. 120 с.
335. Иличкин В.С., Копылов Н.П., Потанин Б.В. Токсическая опасность огнетушащих аэрозолей: исследования и оценки. *Пожарная безопасность. Технич. науки*. Балашиха, Россия, 2003. №5. С. 43-54.
336. Joseph A. Senecal. Flame extinguishing in the cup-burner by inert gases. *Fire Safety Journal. Technical science*. USA, 2005. №40 P. 579–591. doi:10.1016/j.firesaf.2005.05.008
337. Balanyuk V. M., Kovalyshyn V.V., Kozyar N.M. Effect of ecologically safe gas-aerosol mixtures on the velocity of explosive combustion of n-heptane. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. Technical science*. Kharkiv, 2017 No4/10 (88). P. 12-18.
338. Пляскин И.И. Оптимизация технических решений в машиностроении : пособ. Москва : Машиностроение, 1982. 176 с.
339. Винарский М.С., Лурье М.В. Планирование эксперимента в технологических исследованиях : пособ. Киев : Техника, 1975. 168 с.
340. Лыков А.В. Тепломассообмен: справочн. Москва : Энергия, 1978. 480 с.
341. Девлишев П.П. Исследование кинетики пожара на моделях. *Пожарная наука и техника: Сб. науч. тр. Технич. науки*. Москва, 1977. С. 178-208.
342. Гуліда Е.М., Карабин О.О., Смотр О.О. Математична модель розповсюдження пожежі за рахунок теплового випромінювання. *Наук. зб. УкрНДІПБ. Техн. науки*. Київ, 2006, № 1 (13). С. 24-30.

343. Абрамов Ю.А., Басманов А.Е., Туркин И.Б. Нагрев поверхностного слоя нефтепродукта в резервуаре от факела горящего резервуара. *Проблемы пожарной безопасности. Техн. науки.* Харьков, 2004. Вып. 16. С. 3-7.
344. Blasts, shockwaves could be deployed to battle fast-moving bushfires URL <http://www.abc.net.au/news/2014-05-21/blasts-shockwave-could-join-battle-against-fast-moving-bushfire/5468038>.
345. Баланюк В.М. Пожежогасіння ударними хвилями в аерозольному середовищі. *Надзвичайні ситуації: безпека та захист* : матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції (з міжнародною участю) (Київ, 9 – 10 жовтня 2015 р.). Київ, 2015. С. 194-197.
346. Баланюк В.М. Застосування комбінованих систем «ударна хвиля-вогнегасний аерозоль» для гасіння пожеж у важкодоступних місцях. *Пожежна та техногенна безпека. Теорія, практика, інновації* : матеріали Міжнародної науково-практичної конференції (м.Львів, 2016 р.). Львів, 2016. С. 275-279.
347. Действие ударной волны на человека, здания и сооружения URL <http://studopedia.org/1-18377.html>.
348. Balanyuk V.M. Extinguishment of n-heptane diffusion flames with the shock wave. *BiTP. Technical science.* Poland, 2016. Vol. 42, No 2. P. 103-111.
349. V.M. Balanyuk. The Increase of Fire Extinguishing Efficiency of Gas-Aerosol Binary Mixture Using Shock Waves. *BiTP. Technical science.* Poland, 2017. Vol. 46 No 2. PP. 72–86, doi: 10.12845/
350. Husain T. Extinguishing of Kuwaiti oil fires - challenges, technology, and success. *Atmospheric Environment. Ecology.* USA, 1993. No 28(13). P. 2139-2147.
351. Кривокорытов М.С., Голуб В.В., Володин В.В. Влияние акустических колебаний на диффузионное горение метана. *Письма в ЖТФ. Технические науки.* Санкт-Петербург, 2012, Vol. 38, No 10. С. 57-63.
352. Giannuzzi P. M., Hargather M. J., Doig G. C.. Explosive-driven shock wave and vortex ring interaction with a propane flame. *Shock Waves. Technical science.* Switherland, 2016. Vol. 26, No 6. PP. 851–857. DOI 10.1007/s00193-016-0627-2.

353. Akhmetov D.G., Lugovtsov B.A., Tarasov V.F. Extinguishing gas and oil well fires by means of vortex rings. *Combust. Explos. Shock Waves Technical science*. Switherland, 1980. Vol. 16(5). 490–494.
354. Balanyuk V.M. Improving the efficiency of gas fire extinguishing shock wave. *ВіТР. Technical science*. Poland, 2016. Vol. 43, No 3. P. 81-95.
355. Баланюк В.М. Комбіноване гасіння пожеж горючих рідин ударною хвилею та аерозолем. Сучасний стан цивільного захисту України перспективи та шляхи до європейського простору : матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції рятувальників (Київ, 11-12 жовтня 2016 р.).Київ, 2016. С 28-32.
356. Баланюк В.М. Вогнегасна ефективність та флегматизувальна дія поєднання вогнегасного аерозолю, газової вогнегасної речовини і ударних хвиль. *Пожежна безпека : зб. наук. праць. Технічні науки*. Львів, 2016. №29. С. 6-12.
357. Баланюк В.М. Пожежогасіння серіями ударних хвиль. *Проблеми пожежної безпеки. Сборник научных трудов*. Харьков, 2016 №40. С 26-34.
358. Копистинський Ю.О. Дослідження впливу ударної хвилі на вогнегасну ефективність речовини неорганічних солей калію. *Науковий вісник УкрНДІПБ. Тех.науки*. Київ, 2011. № 2 (24). 2012. №21. С. 23-27.
359. Fogel'zang A.E., Vasil'ev V.V., Sinditskii V.P. Effektivnye sistemy pozharotusheniya na osnove porokhov i spetsial'nykh tverdykh topliv (Efficient Systems for Fire-Fighting on the Basis of Powders and Special-Purpose Propellants). *NPO "InformTEI". Tekh. nauki*. Moscow, 1991, Vol. 32. PP. 30–31.
360. Zhukov B.P., Denisyuk A.P., Shepelev Y.G. Combustion of Fire-Extinguishing Powders Based on Potassium Nitrate. *Doklady Physical Chemistry. Technical science*. Switherland, 2002. Vol. 32, No 4-6, PP. 35-39. doi:10.1023/A:1014447212689.
361. Ручний аерозольний вогнегасник пат. US2013/0175061 United States: A1., A62C 13/22. № 93874;
362. Гарасым'юк О.И., Баланюк В.М., Пастухов П.В. Некоторые аспекты повышения эффективности аэрозольно-порошкового пожаротушения. *Вестник Кокшетауского технического института. Технические науки*. Кокшетау, РК, 2016. № 2 (22), С. 39-49.

363. Баланюк В.М. Вогнегасні фактори комбінованих систем на основі газів, аерозолі та ударних хвиль : Сучасний стан цивільного захисту України та перспективи розвитку (м.Київ, 10-11 жовтня 2017 р.). Київ, 2017. С. 29-31.
364. Баланюк В.М., Ковалишин В.В., Козяр Н.М. Запобігання займання газових сумішей н-гептану комбінованими системами ударних хвиль та об'ємних вогнегасних речовин. *ScienceRise. Техн. науки*. Харків, 2017. № 11(40). С.21-24.
365. Баланюк В.М. Определение эффективности тушения огнетушащими аэрозолями горючих жидкостей на открытом пространстве. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий. Техн. науки*. Харьков, 2015 №5/10 (77). С–4-11. DOI: 10.15587/1729-4061.2015.51399
366. Pat. US2013/0175061 A1, United States. A62C 13/22.
367. ГОСТ 4217-77 Реактивы. Калий азотнокислый. Технические условия. [Дата введения 01.01.1979] Мин. хим. пром. СССР. Москва, 2003. 11 с.
368. ГОСТ 9293-74 Азот газообразный и жидкий. Технические условия. [Дата введения 01.01.1976] АО "Кодекс". Москва: Стандартинформ, 2007. 15 с.
369. Аерозольний вогнегасник (варіанти): пат. 115578 Україна. МПК: а62с 13/00, А62С 35/02 № 201507130; заявл. 16.07.2015; опубл. 27.11.2017, бюл. № 22. 14 с.
370. Спосіб комбінованого гасіння пожежі вогнегасним аерозолем, газовою вогнегасною речовиною і ударними хвилями та пристрій для його здійснення: пат. 115080 Україна: МПК: А62С 3/06, А62С 35/00, А62С 37/00, А62С 13/22, А62С 3/16. а62с 35/00. №201506267; заявл. 26.12.2016; опубл. 11.09.2017, бюл. № 17. 6 с.
371. Аерозольний генератор з акустично-ударною активацією аерозолі: пат. 67867 Україна: МПК А62С 35/00. № 201109276; заявл. 25.07.2011; опубл. 12.03.2012, Бюл. № 5. 4 с
372. Автономна установка аерозольного пожежогасіння : пат 107100 Україна: МПК А62С 35/00, А62С 37/00. №201510409; заявл. 25.05.2016; опубл. 25.05.2016, бюл. № 10. 4 с.

Додаток А
Акти впровадження

Затверджую

Ректор Львівського державного університету

безпеки життєдіяльності

член-кореспондент НАПН України

д-тн, професор



Козяр М.М.

2017 р.

АКТ

Впровадження результатів дисертаційної роботи

Баланюка Володимира Мірчовича

за темою «Наукові основи зменшення впливу на довкілля пожеж
на їх початковій стадії дією ударних хвиль»

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., та завідувача випробувальної пожежної лабораторії ЛДУБЖД п. Петровського В.Л., склали акт про те, що результати дисертаційного дослідження Баланюка В.М., впроваджені в навчальний процес Львівського державного університету безпеки життєдіяльності при викладанні дисциплін «Екологічна безпека», «Промислова екологія» «Теорія розвитку та припинення горіння», «Теорія горіння та вибуху», «Теоретичні основи пожежовибухонебезпечності» на кафедрах екологічної безпеки та процесів горіння та загальної хімії. При цьому використовувались матеріали навчальних посібників «Теорія горіння та вибуху» Михалічко Б.М., Баланюк В.М., Лавренюк О.І., «Теорія розвитку та припинення горіння» Лавренюк О.І., Баланюк В.М., термінологічного словника «Довідник

рятувальника» авторів Баланюк В.М., Винявська Г.Ф., Щербина О.М. та ін. та матеріали монографії авторів Журбинський Д. А., Баланюк В. М., Нуянзін В. М., Куліца О. С. «Гасіння газових горючих середовищ сумішами вогнегасних аерозолів та газових вогнегасних речовин».

В діяльність навчальної пожежно-рятувальної частини ЛДУБЖД впроваджено електронну програму довідник – «Небезпечні речовини» в якому в характеристиках небезпечних речовин вказано засоби гасіння та нейтралізації для кожної хімічно-небезпечної речовини.

Загалом результати дисертаційних досліджень Баланюка Володимира Мірчовича за темою «Наукові основи зменшення впливу на довкілля пожеж на їх початковій стадії дією ударних хвиль» використовуються на лекційних, практичних та лабораторних заняттях з використанням розроблених методик та дослідницьких установок для визначення вогнегасної ефективності об'ємних засобів гасіння в тому числі комбінованих з ударними хвилями.

Голова комісії:

Члени комісії:



Р.В. Пархоменко

О.І. Лавренюк

В.Л. Петровський

Затверджую

В.о. начальника Черкаського
інституту пожежної безпеки
імені Героїв Чорнобиля
Національного університету
цивільного захисту



О.М. Тищенко

109 2017 р.

АКТ

Впровадження результатів дисертаційної роботи

Баланюка Володимира Мірчовича

за темою «Наукові основи зменшення впливу на довкілля пожеж на їх
початковій стадії дією ударних хвиль»

Комісія в складі: голови комісії – головного наукового співробітника, доктора технічних наук, професора Поздєєва С.В., та членів: начальника науково-дослідної лабораторії інновацій у сфері цивільної безпеки факультету цивільного захисту, кандидата технічних наук Нуянзіна В. М.; доцента кафедри фізико-хімічних основ розвитку та гасіння пожеж факультету оперативно-рятувальних сил, кандидата хімічних наук, доцента Магльованої Т. В.; інженера науково-дослідної лабораторії інновацій у сфері цивільної безпеки, кандидата хімічних наук, старшого наукового співробітника Єлагіна Г. І., склали акт про те, що результати дисертаційних досліджень Баланюка В. М., за темою «Наукові основи застосування ударних хвиль для припинення та запобігання горіння газових горючих середовищ» на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 21.06.02. – пожежна безпека, впроваджені в навчальний процес Черкаського інституту пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля Національного

університету цивільного захисту на кафедрі процесів горіння при підготовці здобувачів освітніх рівнів «Бакалавр» та «Магістр» за спеціальністю 261 «Пожежна безпека». При цьому, під час викладання дисциплін «Теорія розвитку та припинення горіння», «Теорія горіння та вибуху», використовувались матеріали монографії «Гасіння газових горючих середовищ сумішами вогнегасних аерозолів та газових вогнегасних речовин», авторами яких є: Журбинський Д.А., Баланюк В.М., Нуянзін В.М., Куліца О.С. та методичного посібника Баланюка В.М. і Лавренюк О.І. «Теоретичні основи вибухопожежонебезпечності». Результати дисертаційного дослідження використовуються на практичних заняттях і лабораторних роботах з використанням розроблених методик і дослідницьких установок.

Застосування в навчальному процесі Черкаського інституту пожежної безпеки ім. Героїв Чорнобиля НУЦЗ України матеріалів дисертаційного дослідження Баланюка В. М., дало змогу розширити інформаційні та лабораторні основи з даних дисциплін і підвищити якість підготовки фахівців у сфері цивільного захисту.

Голова комісії:
д.т.н. проф.



С.В. Поздеев

Члени комісії:
к.т.н.



В.М. Нуянзін

к.х.н., с.н.с.



Г.І. Єлагін

к.х.н., доц.



Т. В. Магльована

Додаток Б
Акти виготовлення



Затверджую, директор ТзОВ Експерт 112

Гуріненко О.

16 червня 2016 р.

АКТ

Впровадження результатів дисертаційної роботи

Баланюка Володимира Мірчовича

за темою «Наукові основи зменшення впливу на довкілля пожеж на їх початковій стадії дією ударних хвиль»

Комісія в складі: голови комісії – завідувача науково-дослідної лабораторії пожежної безпеки ЛДУ БЖД ДСНС України – п. Петровського В.Л., та членів комісії – наукового співробітника відділу організації науково-дослідної діяльності ЛДУБЖД к.х.н., доц., Сиси Л.В., і молодшого наукового співробітника відділу організації науково-дослідної діяльності ЛДУБЖД п. Лозинського А.Т., склали акт про виготовлення за результатами дисертаційної роботи Баланюка Володимира Мірчовича, експериментальних взірців автономної аерозольної системи пожежогасіння згідно технічних документів.

Автономна аерозольна система пожежогасіння виконує функції попередження, виявлення та гасіння пожежі, незалежно від зовнішніх джерел живлення, систем управління, не пов'язана з установкою автоматичної пожежної сигналізації і не видає сигнал про пожежу для персоналу. Для підвищення ефективності та зменшення часу гасіння автономна аерозольна система пожежогасіння може застосовуватись комбіновано з генераторами ударних хвиль.

Автономна аерозольна система пожежогасіння призначена для протипожежного захисту електричного та електронного обладнання, розміщеного в локальних об'ємах (шафах, електрошафах, електрощитових,

розподільних щитах, нішах, каналах, відсіках, серверах, серверних приміщеннях і т.п.); устаткування транспортних засобів (автомобілів, залізничних локомотивів і вагонів, повітряних і морських суден), яке розміщене в локальних обсягах (шафах, моторних і технічних відсіках, трюмах, контейнерах і т.п.); вмісту банківських сховищ, сейфів, комірок.

Система створює концентрацію вогнегасного аерозолю в 50 г/м^3 у перерахунку на захищасий об'єм.

При експлуатації систем слід керуватися діючими нормативними документами в тому числі ДСТУ 4490:2005 «Установки автоматичні аерозольного пожежогасіння».

Автономні аерозольні системи пожежогасіння не застосовуються для гасіння лужних і лужноземельних металів, тліючих матеріалів, а також речовин, горіння яких відбувається без доступу повітря.

Системи виготовлені на базі підприємства «Експерт 112» м. Київ у кількості по 10 одиниць, на відповідні об'єми захисту - $0,015 \text{ м}^3$, $0,1 \text{ м}^3$, $0,6 \text{ м}^3$, 1 м^3 , 5 м^3 та 10 м^3 . Ефективність систем підтверджено протоколами випробувань № 12С/НЛПБ-2016 від 24.03.2016., які надані «ТОВ Незалежна лабораторія пожежної безпеки» м. Київ, атестат акредитації № 2Н688 від 05.06.2013.


На автономні аерозольні системи пожежогасіння розроблено і зареєстровано ТУ 39299386-0001:2015 та отримано сертифікат відповідності UA 1.182.0016778-16.

Голова комісії



В. Л. Петровський

Члени комісії: к.х.н. доц.



Л. В. Сиса



А. Т. Лозинський

Затверджую

Заступник директора ТзОВ науково-виробничого підприємства «Вогнеборець»
к.т.н. доц.



Юзьків Т.Б.

«16» 06 2017 р.

АКТ

Впровадження результатів дисертаційної роботи

Баланюка Володимира Мірчовича

за темою «Наукові основи зменшення впливу на довкілля пожеж
на їх початковій стадії дією ударних хвиль»

Комісія в складі: голови комісії – к.т.н., с.н.с.старшого наукового співробітника відділу організації науково-дослідної діяльності Кирилів Я.Б., завідувача науково-дослідної лабораторії пожежної безпеки ЛДУ БЖД ДСНС України – п. Петровського В.Л. та заступника директора ТзОВ «Науково-виробниче підприємство «Вогнеборець»» п. Лозинського А.Т., склали акт про виготовлення за результатами дисертаційної роботи Баланюка Володимира Мірчовича на базі ТзОВ «Вогнеборець» м. Львів, експериментальних хвирців пристроїв комбінованого гасіння на основі вогнегасного аерозолу та ударних хвиль згідно технічних документів кількості по 2 одиниці кожного виду на об'єми захисту – 5 м^3 , 10 м^3 , 15 м^3 , 30 м^3 , 60 м^3 .

Пристрій комбінованого гасіння на основі вогнегасного аерозолу та серій ударних хвиль може застосовуватись для протипожежного захисту електричного та електронного обладнання, розміщеного в локальних об'ємах (шафах, електрошафах, електрощитових, розподільних щитах, нішах, каналах, відсіках, серверах, серверних приміщеннях і т.п.); устаткування транспортних засобів

(автомобілів, залізничних локомотивів і вагонів, повітряних і морських суден), розміщеного в локальних обсягах (шафах, моторних і технічних відсіках, трюмах, контейнерах і т.п.); вмісту банківських сховищ, сейфів, комірок, складів паливо-мастильних матеріалів та технологічного устаткування з значним пожежним навантаженням у вигляді горючих рідин, полімерів, та інших легкозаймистих матеріалів, та можливим утворенням високоенергетичних джерел запалювання.

При використанні пристроїв слід керуватися діючими нормативними документами в тому числі ДСТУ 4490:2005 «Установки автоматичні аерозольного пожежогасіння».

Пристроїне застосовуються для гасіння лужних і лужноземельних металів, тліючих матеріалів, а також речовин, горіння яких відбувається без доступу повітря. Пристрій створює аерозольно – газове середовище на яке з метою гасіння дифузійного полум'я діють серіями ударних хвиль з частотою 10 Гц.

Голова комісії

к.т.н., с.н.с.

Члени комісії:



Я.Б.Кирилів



В.Л.Петровський

А. Т.Лозинський

Завідувач директор ТзОВ

«Експерт 112»

Гуріненко О.

«26» серпня 2017 р.



АКТ

Впровадження результатів дисертаційної роботи

Баланюка Володимира Мірчовича

за темою «Наукові основи зменшення впливу на довкілля пожеж на їх початковій стадії дією ударних хвиль»

Комісія в складі: голови комісії – завідувача науково-дослідної лабораторії пожежної безпеки ЛДУ БЖД ДСНС України – п. Петровського В.Л., та членів комісії – наукового співробітника відділу організації науково-дослідної діяльності ЛДУБЖД к.х.н., доц., Сиси Л.В., і молодшого наукового співробітника відділу організації науково-дослідної діяльності ЛДУБЖД п. Лозинського А.Т., склали акт про виготовлення за результатами дисертаційної роботи Баланюка Володимира Мірчовича експериментальних зразків генераторів вогнегасного аерозолі згідно технічних документів на базі підприємства «Експерт 112» м. Київ у кількості 12 одиниць на об'єм захисту – 150 м³ та 2 одиниць на об'єм захисту 60 м³. Ефективність генератора вогнегасного аерозолі підтверджено протоколами випробувань № 19/3-2017 від 10.04.2017., які надані «Науково-дослідним центром «Пожежна безпека» Українського науково-дослідного інституту цивільного захисту м. Київ.

На генератори вогнегасного аерозолі розроблено і зареєстровано ТУ 28.29-39299386-0002:2016 та отримано сертифікат відповідності UA 1.182.0005778-17.

Генератор вогнегасного аерозолю може бути виконаний на наступні об'єми захисту 5 м³, 10 м³, 30 м³, 60 м³, 90 м³ та 150 м³.

Генератор після спрацювання створює концентрацію вогнегасного аерозолю в 50 г/м³ з розрахунку на захищаємий об'єм.

Генератор вогнегасного аерозолю виконує функції попередження, та гасіння пожежі при подачі сигналу від системи пожежної сигналізації і для підвищення ефективності та зменшення часу гасіння може застосовуватись комбіновано з генераторами ударних хвиль.

Генератор вогнегасного аерозолю призначений для локалізації та гасіння пожеж легкозаймистих і горючих рідин, твердих горючих матеріалів та електрообладнання, в тому числі тих, що знаходяться під напругою, а також горючих газів та жирів.

Генератори вогнегасного аерозолю не застосовуються для гасіння лужних і лужноземельних металів, тліючих матеріалів, а також речовин, горіння яких відбувається без доступу повітря.

Голова комісії



В. Л. Петровський

Члени комісії: к.х.н. доц.



Л. В. Сиса



А. Т. Лозинський

Додаток В
Протоколи випробувань



ЛЬВІВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БЕЗПЕКИ ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ
НАУКОВО- ДОСЛІДНА ЛАБОРАТОРІЯ

Свідоцтво про атестацію № РЛ 125/15 від 02 листопада 2015 р.
Ліцензія ДДПБ МНС України серія АГ № 506341 від 11.02.2011 р.

ПРОТОКОЛ № 05/8/160326
ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ГАСІННЯ ПРИСТРОЯМИ
КОМБІНОВАНОГО ГАСІННЯ НА ОСНОВІ УДАРНИХ ХВИЛЬ,
ВОГНЕГАСНОЇ ГАЗОВОЇ РЕЧОВИНИ ТА ВОГНЕГАСНОГО
АЕРОЗОЛЮ

Львів-2017

ПРОТОКОЛ № 05/8/160326

ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ГАСІННЯ ПРИСТРОЯМИ КОМБІНОВАНОГО ГАСІННЯ НА ОСНОВІ УДАРНИХ ХВИЛЬ, ВОГНЕГАСНОЇ ГАЗОВОЇ РЕЧОВИНИ ТА ВОГНЕГАСНОГО АЕРОЗОЛЮ

Дата проведення випробування:	Умови в приміщенні:
06.12.2017 р.	температура, °С 5
	атм.тиск, кПа 97,5
	відносна вологість, % 67

МІСЦЕ ПРОВЕДЕННЯ ВИПРОБУВАНЬ: науково-дослідна лабораторія ЛДУ
БЖД.

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

ЗАМОВНИК ВИПРОБУВАНЬ:

ОБ'ЄКТ ВИПРОБУВАНЬ: Генератори вогнегасного аерозолю та пристрої
комбінованого гасіння.

Характеристика:

Генератори вогнегасного аерозолю ГВА - 65Г, ГВА - 65В, ПКГ - 65АУГ,
ПКГ - 65АУВ, ПКГ - 65БКУГ, ПКГ - 65БКУВ, ПКГ - 65БУАГ, ПКГ - 65БАУВ

Для проведення випробувань застосовують:

- ваги з допустимою похибкою зважування 0,01 кг;
- секундомір з допустимою похибкою вимірювання 0,2 с;
- осередок горіння класу 21В у вигляді противня з відповідною кількістю бензину та дизельного пального.

Метод ґрунтується на встановленні часу гасіння при дії газоаерозольної суміші або газоаерозольної суміші та ударних хвиль на вогнище 21В.

Зразки надані замовником 05.12.2017 р.

Методика випробувань:

Визначення вогнегасної здатності при гасінні пожежі класу В.

Метод ґрунтується на підтвердженні вогнегасної ефективності теоретично та експериментально обґрунтованих параметрів пристроїв комбінованого гасіння та попередження пожежі на прикладі гасіння стандартного вогнища 21 В. Об'єм приміщення для випробування – 65 м³, негерметичність становила 0,5 %.

Стандартне вогнище встановлювали по центру камери. Генератори вогнегасного аерозолі встановлювали збоку на кріпленнях на стіні, а ПКГ в центрі вогнища 21 В.

Проведення випробувань.

Горючу суміш бензину АІ-92 та дизельного пального заливали в протвінь, підпалювали та давали час на розгорання 10 секунд. Після зазначено часу запускали відповідний пристрій та фіксували ефект «гасіння» «не гасіння». Результати випробувань подано в таблиці 1.

Таблиця 1

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДАНІ:

Результати полігонних випробувань ГВА та ПКГ із використанням серій ударних хвиль - в об'ємі 65м³

Модель ПКПГ	Концентрація аерозолі г/м ³	Вага заряду АУС, г	Концентрація, газів %		Загальний Об'єм газів л		Р УХ Па	Теплова потужність полум'я	Результат
			CO ₂	N ₂	CO ₂	N ₂			
ГВА-65Г	50	3250						66	Погашено
ГВА-65В			—	—	—	—			

ПКГ - 65АУГ ПКГ - 65АУВ	30	1950	-	-	-	-	2500	65	Погашено
ПКГ - 65БКУГ ПКГ - 65БКУВ	15	956	5	-	4550	-	2500	66	Погашено
ПКГ - 65БУАГ ПКГ - 65БАУВ	20	956	-	5	-	4550	2500	62	Погашено

ВИСНОВОК :

1. За результатами випробувань пристроїв комбінованого гасіння та попередження пожежі встановлено що зазначені пристрої ефективно гасять вогнище 21В.

Завідувач
НДЛ ЛДУБЖД

Завідувач НДЛ
Екологічної безпеки к.х.н. доц.



В. Л. Петровський

О. Л. Сиса



**УКРАЇНСЬКИЙ НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ ІНСТИТУТ
ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ**
*
НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ ЦЕНТР "ПОЖЕЖНА БЕЗПЕКА"



2H278
ДСТУ ISO/IEC 17025

ЗАТВЕРДЖУЮ
Начальник науково-
дослідного центру



М.СКОРОБАГАТЬКО

2017 року

ПРОТОКОЛ № 19/3-2017

СЕРТИФІКАЦІЙНИХ ВИПРОБУВАНЬ ГЕНЕРАТОРУ ВОГНЕГАСНОГО АЕРОЗОЛЮ "FIRESTOP"
(МОДЕЛЬ FS-F-10), НАДАНОГО НА ВИПРОБУВАННЯ ТОВ "ЕКСПЕРТ 112" (М. КИЇВ)

Київ-2017

Науково-дослідний центр "ПОЖЕЖНА БЕЗПЕКА"	
№ документа	19/3-2017 від "10" 04 2017 р.
Всього аркушів	1
аркуш	1
підпис	

ВИПРОБУВАЛЬНИЙ ЦЕНТР: Науково-дослідний центр (НДЦ) "ПОЖЕЖНА БЕЗПЕКА".

Адреса: 01011, м. Київ, вул. Рибальська, 18.

Телефони: 254-58-36, 331-67-87.

МІСЦЕ ПРОВЕДЕННЯ ВИПРОБУВАНЬ: Пожежно-випробувальний полігон УкрНДЦЗ (вул. Центральна, комплекс 60, с. Дмитрівка Києво-Святошинського району Київської області).

ЗАМОВНИК ВИПРОБУВАНЬ: ТОВ "ЕКСПЕРТ 112".

Адреса замовника випробувань: 01004, м Київ, вул. Пушкінська, 25, офіс 33.

Випробування проведено на підставі Рішення Органу із сертифікації "Харківський незалежний центр сертифікації" (ОС "ХНЦС") № 182-496/03-17 від 10.03.2017 та договору № 60-17 від 28.03.2017.

ОБ'ЄКТ ВИПРОБУВАНЬ: генератор вогнегасного аерозолю "FIRESTOP" (модель FS-F-10) (далі - генератор), що наданий на випробування ТОВ "ЕКСПЕРТ 112" (м. Київ).

ЗРАЗКИ ДЛЯ ВИПРОБУВАНЬ: Випробуванням піддавали 3 (три) зразки генератора. Відбирання та ідентифікацію зразків проведено ОС "ХНЦС" (Акт відбору зразків та Акт ідентифікації зразків продукції № 182-469/03-17 від 15.03.2017).

ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТА ВИПРОБУВАНЬ:

У таблиці 1 наведені основні технічні характеристики генератора згідно з ТУ У 28.29-39299386-0002:2016, паспорту та інструкції з експлуатації.

Таблиця 1 – Основні характеристики генератора

№ з/п	Характеристика	Модель FS-F-10
1.	Маса спорядженого генератора, кг	2,5±0,1
2.	Маса аерозолеутворюючого заряду, кг	0,5±0,05
3.	Габаритні розміри, мм, - висота; - довжина; - ширина	100±2 165±2 100±2
4.	Час роботи, с	30±5
5.	Час спрацювання, не більше, с	5
6.	Електричний опір між корпусом генератора і клемми для підключення шлейфу запуску, не менше, МОм	1

МЕТА ВИПРОБУВАНЬ:

Перевірка відповідності характеристик генераторів вимогам нормативних документів (ДСТУ 4442-2005 , ДСТУ SEN/TR 15276-1:2014, ТУ У 28.29-39299386-0002:2016, паспорту та інструкції з експлуатації) за показниками:

Науково-дослідний центр "ПОЖЕЖНА БЕЗПЕКА"	
№ документа	від "10" 04 2017 р.
Всього аркушів	8
аркуш	2 підпис

- комплектність (п. 5.3 ДСТУ 4442-2005, п. 4.1 ДСТУ CEN/TR 15276-1:2014);
- маркування (п. 5.4 ДСТУ 4442-2005, п. 6 ДСТУ CEN/TR 15276-1:2014);
- пакування (п. 5.5 ДСТУ 4442-2005);
- габаритні розміри генератора (п. 5.1.2 ДСТУ 4442-2005);
- маса генератора (п. 5.1.1 ДСТУ 4442-2005);
- інерційність спрацювання генератора (п. 5.1.1 ДСТУ 4442-2005);
- тривалість подавання вогнегасного аерозолю (п. 5.1.1 ДСТУ 4442-2005);
- розміри температурних зон при роботі генератора (п. 5.1.3 ДСТУ 4442-2005, 4.3 ДСТУ CEN/TR 15276-1:2014);
- наявність крізних тріщин, прогарів і горіння зовнішньої поверхні корпусу генератора (п. 5.1.6 ДСТУ 4442-2005);
- електричний опір між корпусом генератора та клемми підключення (п. 5.1.5 ДСТУ 4442-2005, 4.4 ДСТУ CEN/TR 15276-1:2014).

ДАТА ТА УМОВИ ПРОВЕДЕННЯ ВИПРОБУВАНЬ:

Таблиця 2 – Дата та умови проведення випробувань

Умови проведення випробувань: у лабораторному приміщенні/ навколишнє середовище	Дата проведення випробувань
	07.04.2017
Температура повітря, °C	16,0/8,0
Відносна вологість повітря, %	52/93
Атмосферний тиск, мм рт. ст.	742/742

ВИПРОБУВАЛЬНЕ ОБЛАДНАННЯ ТА ЗАСОБИ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ:

Таблиця 3 – Засоби вимірювальної техніки

№ з/п	Найменування	Заводський номер	Діапазон вимірювання	Клас точності, невизначеність/похибка засобу вимірювальної техніки	Дата наступної атестації, калібрування/ повірки
1.	ІВС "Термоконт"	б/н	Від 0°C до 1200 °C	$\Delta = \pm 0,35 \%$	10.2017
2.	Термопари ТХА (3 шт.)	б/н	Від 0 °C до 333 °C; від 334 °C до 1200 °C	U = 1,05 °C $\Delta = \pm 2,5 \text{ °C}$ $\Delta = \pm 0,0075 \cdot T_{\text{вим}}$	03.2018
4.	Лінійка вимірювальна	б/н	Від 0 мм до 1000 мм	U = 0,1 мм/ $\Delta = \pm 1,0 \text{ мм}$	12.2017
5.	Гігрометр "Testo" 608-N1	45037984	Від 0 °C до 50 °C від 2 % до 98 %	$\Delta = \pm 0,5 \text{ °C}$ $\Delta = \pm 3 \%$	07.2017
6.	Барометр-анероїд М67	927	Від 600 мм рт. ст. до 800 мм рт. ст.	$\Delta = \pm 1 \text{ мм рт. ст.}$	12.2017
7.	Секундомір СОС пр. 2Б-2-000	3401	Від 0 с до 3600 с; від 0 с до 60 с; більше 60 с	2 клас точності; U = 2,26 с/ $\Delta = \pm (0,4 \cdot \tau_{\text{вим}} / 60) \text{ с};$ $\pm (0,4 + 1,5 \cdot (\tau_{\text{вим}} - 60) / 3540) \text{ с}$	07.2017
8.	Ваги ВН-30-1D-A	1615813	Від 0 кг до 30 кг	$\pm 5 \text{ г}$	05.2017
9.	Ваги MW-1200	990200057	Від 0 г до 1200 г	U = 0,10328 + 1,752E-04/ $\Delta = \pm 0,05 \text{ г}$	05.2017
10.	Мультиметр SDM 3055	SDM 30CF3150024	Від 0 Ом до 10 МОм	1 %	04.2018

МЕТОД ВИПРОБУВАНЬ: Випробування проводяться згідно з вимогами ДСТУ 4442:2005 Пожежна техніка. Установки аерозольного пожежозасищення.

Науково-дослідний центр
пожежозасищення

№ документа: *СВ.2017* від "10" 04 2017 р.
Всього аркушів: *8*
аркуш *3* підпис: *[підпис]*

Генератори вогнегасного аерозолю. Загальні технічні вимоги та методи випробування і ДСТУ CEN/TR 15276-1:2014 Стационарні системи пожежогасіння. Системи аерозольного пожежогасіння. Частина 1. Вимоги до компонентів та методи їх випробувань (CEN/TR 15276-1:2009, IDT), ТУ У 28.29-39299386-0002:2016 Генератор вогнегасного аерозолю "FIRESTOP", паспорту та інструкції з експлуатації на виріб.

Перед випробуваннями перевіряють **комплектність** (п. 5.3 ДСТУ 4442-2005, п. 4.1 ДСТУ CEN/TR 15276-1:2014), **пакування** (п. 5.5 ДСТУ 4442-2005) та **маркування** (п. 5.4 ДСТУ 4442-2005, п. 6 ДСТУ CEN/TR 15276-1:2014) зразків генератора на відповідність вимогам ТУ У 28.29-39299386-0002:2016, паспорту та інструкції з експлуатації.

Габаритні розміри та масу зразків генератора перевіряють на відповідність ТУ У 28.29-39299386-0002:2016, паспорту та інструкції з експлуатації.

Інерційність спрацювання зразків генератора визначають за допомогою секундоміра, як проміжок часу між моментами подавання пускового сигналу до моменту початку виходу вогнегасного аерозолю з зразка генератора. Інерційність спрацювання повинна відповідати вимогам п. 5.1.1 ДСТУ 4442-2005, ТУ У 28.29-39299386-0002:2016, паспорту та інструкції з експлуатації.

Тривалість подавання вогнегасного аерозолю зразків генератора визначають за допомогою секундоміра, як проміжок часу між моментами початку та припинення виходу вогнегасного аерозолю з зразка генератора. Тривалість подавання вогнегасного аерозолю повинна відповідати вимогам п. 5.1.1 ДСТУ 4442-2005, ТУ У 28.29-39299386-0002:2016, паспорту та інструкції з експлуатації.

Розміри температурних зон при роботі зразків генератора визначають таким чином. Закріплюють один зразок генератора згідно з нормативними документами виробника так, щоб забезпечувався вільний вихід струменя вогнегасного аерозолю. Термоелектричні перетворювачі встановлюють на відстані 0,6 м, 1,1 м, 2,5 м від зрізу вихідного отвору зразка генератора. Здійснюють пуск виробу відповідно до інструкції з експлуатування. Фіксують максимальні значення температури кожного термоелектричного перетворювача в зрізі вихідного отвору та на відповідних відстанях протягом всього часу роботи зразка генератора. Радіус або довжина температурних зон, що утворюються безпосередньо біля зразка генератора під час його роботи, відносно центру зрізу випускного отвору, згідно п.п. 5.1.3 ДСТУ 4442-2005, п. 4.3 ДСТУ CEN/TR 15276-1:2014 повинні бути не більше:

- 0,6 м — для температурної зони з температурою 400 °С (1 зона);
- 1,1 м — для температурної зони з температурою 200 °С (2 зона);
- 2,5 м — для температурної зони з температурою 75 °С (3 зона).

Наявність крізних тріщин, прогарів і горіння зовнішньої поверхні корпусу зразків генератора перевіряють візуально після їх спрацювання. Згідно п. 5.1.6 ДСТУ 4442-2005 не допускається наявності крізних тріщин, прогарів і горіння зовнішньої поверхні корпусу генератора після закінчення його роботи. Допускається лише пошкодження лакофарбового покриття.

Науково-дослідний центр "ПОЖЕЖНА БЕЗПЕКА"	
№ документа	від " 10 " 04 2017 р.
Всього аркушів	8
аркуш	підпис

Електричний опір між корпусом та клемми зразків генератора для подавання електричного сигналу на пуск, вимірюють за допомогою мегомметра (мультиметра) з відповідними метрологічними характеристиками. Параметри електричного сигналу для пуску зразків генератора та контролю стану працездатності ланцюга пускового пристрою повинні відповідати значенням наведених в п. 5.1.5 ДСТУ 4442-2005, п. 4.4 ДСТУ CEN/TR 15276-1:2014, ТУ У 28.29-39299386-0002:2016, паспорті та інструкції з експлуатації.

РЕЗУЛЬТАТИ ВИПРОБУВАНЬ: Випробуванням піддавали три зразки генератора пронумеровані від № 1 до № 3.

Перед випробуваннями зразки генераторів протягом 24 годин були витримані за нормальних умов навколишнього середовища.

Під час перевірки комплектності, пакування та маркування зразків генератора встановлено, що вони відповідають вимогам ДСТУ 4442-2005, ДСТУ CEN/TR 15276-1:2014, ТУ У 28.29-39299386-0002:2016, а також паспорту та інструкції з експлуатації.

Зовнішній вигляд зразка генератора наведено на рисунку 1.

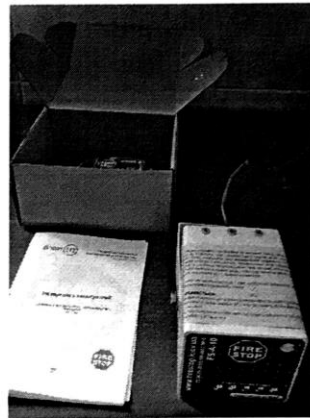


Рисунок 1 – Зовнішній вигляд зразка генератору

Результати визначення габаритних розмірів зразків генератора наведено у таблиці 4.

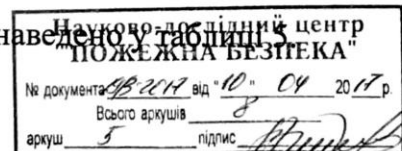
Таблиця 4 - Результати визначення габаритних розмірів зразків генератора

№ зразка	Довжина, мм	Ширина, мм	Висота, мм	Вимога згідно нормативного документа, мм	Висновок про відповідність
1	165,40	100,10	100,40	165x100x100 (±2)	Відповідає
2	165,20	100,50	100,50		Відповідає
3	165,80	100,30	100,80		Відповідає

Розширена невизначеність результату вимірювання габаритних розмірів зразків становить $\pm 0,1$ мм.

Максимальна похибка результату вимірювання габаритних розмірів зразків становить ± 1 мм.

Результати визначення маси зразків генератора наведено у таблиці 5.



Таблиця 5 - Результати визначення маси зразків генератора

№ зразка	Маса спорядженого зразка генератора, кг	Маса зразка генератора після спрацювання, кг	Маса аерозолеутворюючого заряду, кг	Вимога згідно нормативного документа		Висновок про відповідність
				Для спорядженого зразка генератора, кг	Для заряду вогнегасного аерозолю, кг	
1	2,405	1,910	0,495	2,5±0,1	0,5±0,05	Відповідає
2	2,525	1,020	0,500			Відповідає
3	2,530	1,980	0,550			Відповідає

Розширена невизначеність результату вимірювання маси зразків становить $\pm 0,06$ г.

Максимальна похибка результату вимірювання маси зразків становить $\pm 0,05$ г.

Результати визначення інерційності спрацювання та тривалості подавання вогнегасного аерозолю наведено у таблиці 6.

Таблиця 6 - Результати визначення інерційності спрацювання та тривалості подавання вогнегасного аерозолю

№ зразка	Інерційність спрацювання, с	Нормативне значення, с	Тривалість роботи, с	Нормативне значення, с	Висновок про відповідність
1	1,2	≤ 5	28	30±5	Відповідає
2	1,4		26		Відповідає
3	1,5		27		Відповідає

Розширена невизначеність результату вимірювання часу становить $\pm 0,4$ с.

Максимальна похибка результату вимірювання часу становить $\pm 0,6$ с.

Результати визначення розмірів температурних зон при роботі зразків генератора наведено у таблиці 7. Робочі моменти визначення цього параметру наведено на рисунку 2.

Таблиця 7 - Результати визначення розмірів температурних зон при роботі зразків генератора

№ зразка	Температура у 1 зоні, °С	Нормативне значення для 1 зони, °С	Температура у 2 зоні, °С	Нормативне значення для 2 зони, °С	Температура у 3 зоні, °С	Нормативне значення для 3 зони, °С	Висновок про відповідність
1	253,2	≤ 400	136,4	≤ 200	53,4	≤ 75	Відповідає
2	248,1		140,2		54,2		Відповідає
3	258,0		138,4		55,1		Відповідає

Розширена невизначеність результату вимірювання температури становить $\pm 4,7$ °С.

Максимальна похибка результату вимірювання температури становить $\pm 2,9$ °С.



Рисунок 2 – Робочі моменти визначення розмірів температурних зон

Науково-дослідний центр
"ПОЖИВНА БЕЗПЕКА"
№ документа: 2017 від "10" 04 2017 р
Всього аркушів: 8
аркуш: 6 підпис: [підпис]

Зовнішнім оглядом зразків генератора після спрацювання встановлено відсутність крізних тріщин, прогарів і горіння зовнішньої поверхні корпусу. Зовнішній вигляд зразка генератора після спрацювання наведено на рисунку 3.



Рисунок 3 – Зовнішній вигляд зразка генератора після спрацювання

Результати визначення електричного опору між корпусом та клемми зразків генератора для подавання електричного сигналу на пуск наведено у таблиці 8.

Таблиця 8 - Результати визначення електричного опору між корпусом та клемми зразків генератора для подавання електричного сигналу на пуск

№ зразка	Виміряне значення опору, МОм	Нормативне значення, МОм	Висновок про відповідність
1	3,15	≥1	Відповідає
2	6,39		Відповідає
3	10,02		Відповідає

Розширена невизначеність результату вимірювання опору становить $\pm 0,03$ МОм.

Максимальна похибка результату вимірювання опору становить $\pm 0,02$ МОм.

ВИСНОВОК: випробувані зразки генератора вогнегасного аерозолу "FIRESTOP" (модель FS-F-10), надані на випробування ТОВ "ЕКСПЕРТ 112" (м. Київ) відповідають вимогам ДСТУ 4442-2005, ДСТУ СЕН/TR 15276-1:2014, ТУ У 28.29-39299386-0002:2016, паспорту та інструкції з експлуатації за показниками: комплектність (п. 5.3 ДСТУ 4442-2005, п. 4.1 ДСТУ СЕН/TR 15276-1:2014); маркування (п. 5.4 ДСТУ 4442-2005, п. 6 ДСТУ СЕН/TR 15276-1:2014); пакування (п. 5.5 ДСТУ 4442-2005); габаритні розміри (п. 5.1.2 ДСТУ 4442-2005); маса (п. 5.1.1 ДСТУ 4442-2005); інерційність спрацювання (п. 5.1.1 ДСТУ 4442-2005); тривалість подавання вогнегасного аерозолу (п. 5.1.1 ДСТУ 4442-2005); розміри температурних зон (п. 5.1.3 ДСТУ 4442-2005, 4.3 ДСТУ СЕН/TR 15276-1:2014);

Найкраще дослідницький центр
 Національний університет «Львівська політехніка»
 № документа: 15276-1:2014 від " 09 " 2017 р.
 Всього аркушів: 8
 аркуш: 7 підпис: [підпис]

наявність кризних тріщин, прогарів і горіння зовнішньої поверхні корпусу (п. 5.1.6 ДСТУ 4442-2005); електричний опір між корпусом та клемми підключення (п. 5.1.5 ДСТУ 4442-2005, 4.4 ДСТУ CEN/TR 15276-1:2014).

ПРИМІТКИ:

1. Протокол № 19/3-2017 стосується тільки зразків генератора вогнегасного аерозолі "FIRESTOP" (модель FS-F-10), які були відібрані ОС "ХНЦС" та піддіні випробуванням.
2. Забороняється повне чи часткове передрукування та копіювання протоколу № 19/3-2017 без дозволу НДЦ "ПОЖЕЖНА БЕЗПЕКА".
3. Копії протоколу № 19/3-2017 чинні тільки в разі їх завірення в НДЦ "ПОЖЕЖНА БЕЗПЕКА".


Керівник випробувань:

Начальник відділу вогнезахисту
та пожежогасіння науково-
випробувального центру УкрНДЦЗ

 В.В. Присяжнюк


Випробування провів:

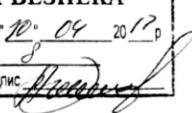
Старший науковий співробітник
відділу вогнезахисту та пожежогасінн
янауково-випробувального центру
УкрНДЦЗ

 О.В. Мілютін

Представник сектору метрології:

Начальник сектору метрології
УкрНДЦЗ

 С.Ю. Шверев

Науково-дослідний центр "ПОЖЕЖНА БЕЗПЕКА"	
№ документа	19/3-2017 від "20" 04 2017 р.
Всього аркушів	2
аркуш	2 підпис 

Додаток Г
Акти впровадження на об'єктах

Затверджую

Директор ТзОВ «Експерт 112»

п. Гуріненко



«22» 08 2017

АКТ

Впровадження результатів дисертаційної роботи

Баланюка Володимира Мірчовича

за темою «Наукові основи зменшення впливу на довкілля пожеж на їх початковій стадії дією ударних хвиль»

Комісія в складі: голови комісії – завідувача науково-дослідної лабораторії ЛДУ БЖД ДСНС України - п. Петровського В.Л. та членів комісії – доцента кафедри процесів горіння та загальної хімії к.т.н. Лавренюк О.І. та провідного фахівця лабораторії п. Лозинського А.Т., склали акт про те, що виготовлені за результатами дисертаційної роботи Баланюка В. М., експериментальні зразки генераторів вогнегасного аерозолю та автономних систем аерозольного пожежогасіння встановлені на ряді об'єктів м. Києва та області . А саме – ТзОВ «Юридичний центр правового партнерства» м. Київ, вул. Іллінська 8, Дитячому розважальному комплексу «Fly park» в ТРЦ Караван, вул Героїв праці 7., нежитлових приміщеннях за адресою м. Київ, вул. Бориспільська 9, 2,3 поверхи. Акти прийняття зазначених систем наведено в додатках.

Голова комісії:

Завідувач науково-дослідної лабораторії
ЛДУ БЖД ДСНС України

В.Л. Петровський

Члени комісії:
Доцент кафедри ПГ та ЗХ к.т.н., доц.,

О.І. Лавренюк

Заступник директора НВ «Вогнеборець»
Доцент кафедри ПГ та ЗХ

А.Т. Лозинський

АКТ

Прийняття автоматичної установки (системи) аерозольного пожежогасіння до експлуатування

м. Київ

№ 26 "вересень" 2016 р.

I. Комісія, яка призначена наказом: **ТОВАРИСТВО З ОБМЕЖЕНОЮ ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ "ЮРИДИЧНИЙ ЦЕНТР ПРАВОВОГО ПАРТНЕРСТВА"**

(назва організації-замовника робіт, яка призначила комісію)

У складі:

Голови - представника замовника робіт: **Легейда Іван Іванович – директор**
(прізвище, ім'я та по батькові, посада)

Членів комісії-представників:

монтавальної організації: **ТОВ «ЗК БЕЗПЕКА», в особі директора Гуріненко Олена Сергіївна**
(прізвище, ім'я та по батькові, посада)

організації, що здійснює технічне обслуговування автоматичної установки (системи) аерозольного пожежогасіння «FIRESTOP»:

(прізвище, ім'я та по батькові, посада)

II. Провела перевірку виконаних робіт та встановила:

Монтавальною організацією: **ТОВ «ЗК БЕЗПЕКА»**

Змонтована в приміщеннях замовника за адресами: **в офісних приміщеннях, які знаходяться в БЦ «Іллінський», 10 під'їзд, 6 поверх за адресою: м. Київ, вул. Іллінська, 8**

(назва будинку, споруди, цеху, приміщень у будинку, відомча належність, адреса)

на електрощитових об'єктах яких: **Електрощитова об'ємом 0,050 м³ в кількості 2 штуки**

(площа, що захищається, м³)

Що входять до складу: **ТОВАРИСТВО З ОБМЕЖЕНОЮ ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ "ЮРИДИЧНИЙ ЦЕНТР ПРАВОВОГО ПАРТНЕРСТВА" за адресою: 04070, м. Київ, вулиця Іллінська, будинок 8**

(назва підприємства, установи, організації, його черги, пускового комплексу, відомча належність, адреса)

відповідно до затвердженої проектно-кошторисної документації, розробленої -

Шифр проекту: -

(назва проектної організації, її адреса, №, шифр проекту)

Експертний висновок на РІП видано ДС НС України «...» 2016 р. за № ...
(назва підрозділу)

III. Тип автоматичної установки (системи) аерозольного пожежогасіння «FIRESTOP»:

Перелік обладнання змонтованого на об'єкті та пред'явлене до здачі:

№ п/п	Найменування (тип) обладнання, що змонтоване	Кількість встановленого обладнання	№ сертифікату та термін дії	Резерв обладнання, що передано замовнику	Примітка
1	FS -01-0600	2	-	-	-
Примітка:	Всього	2	-	-	-

в разі зберігання резерву обладнання не на захищеному об'єкті до акту додається договір між замовником та організацією яка забезпечує зберігання резерву обладнання. В цьому договорі обов'язково вказуються зобов'язання щодо поставки на об'єкт резерву обладнання у термін визначений цими нормами.

IV. Результати перевірки:

Автоматична установка (система) аерозольного пожежогасіння «FIRESTOP»

(вказується тип системи)

пройшла комплексне випробування, знаходиться в працездатному стані і готова до експлуатування, про що складено відповідний акт. Найменування суб'єкта господарювання, що здійснює технічне обслуговування системи протипожежного захисту:

(адреса суб'єкта господарювання, № ліцензії та термін її дії)

Висновок комісії і оцінка виконаних робіт:

Автоматична установка (система) аерозольного пожежогасіння «FIRESTOP» установлена з дотриманням інструкції та готова до експлуатації Замовником відповідно до її призначення

(тип)

змонтовано в офісних приміщеннях, які знаходяться в БЦ «Іллінський», 10 під'їзд, 6 поверх за адресою: м. Київ, вул. Іллінська, 8

(назва будинку, споруди, цеху, приміщень у будинку, відомча належність, адреса)

Голова комісії - представник замовника (забудовника)

М.П.

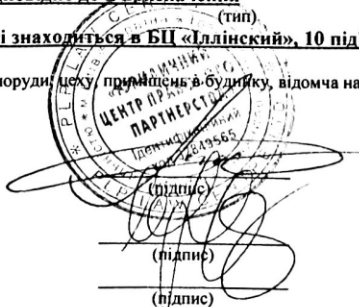
Члени комісії:

Монтавальна організація

М.П.

Обслуговуюча організація:

М.П.



Легейда І.І.

(прізвище та ініціали)

Гуріненко О.С.

(прізвище та ініціали)

(прізвище та ініціали)

АКТ

Прийняття системи локального пожежогасіння кухонного обладнання до експлуатування

м. Київ

"29" квітня 2017 р.

I. Комісія, яка призначена наказом: Фізична особа-підприємець Барановський Дмитро Євгенійович
(назва організації-замовника робіт, яка призначила комісію)

У складі:

Голови - представника замовника робіт: Барановський Дмитро Євгенійович – керівник
(прізвище, ім'я та по батькові, посада)

Членів комісії-представників:

монтажної організації: ТОВ «Експерт 112», в особі директора Гуріненко Олена Сергіївна
(прізвище, ім'я та по батькові, посада)

організації, що здійснює технічне обслуговування системи локального пожежогасіння кухонного обладнання «FIRESTOP»: ТОВ «Експерт 112», в особі директора Гуріненко Олена Сергіївна
(прізвище, ім'я та по батькові, посада)

II. Провела перевірку виконаних робіт та встановила:

Монтажну організацію: ТОВ «Експерт 112»

Змонтована в приміщенні замовника за адресою: дитячий розважальний комплекс «Fly Park» в ТРЦ «Караван» за адресою: м. Харків, вул. Героїв Праці, 7

(назва будинку, споруди, цеху, приміщень у будинку, відомча належність, адреса)

на кухні тип та кількість яких: FS-K в кількості 6 штук

(площа, що захищається, м²)

Що входять до складу: Фізична особа-підприємець Барановський Дмитро Євгенійович, дитячий розважальний комплекс «Fly Park» в ТРЦ «Караван» за адресою: м. Харків, вул. Героїв Праці, 7

(назва підприємства, установи, організації, його черги, пускового комплексу, відомча належність, адреса)

відповідно до затвердженої проектно-кошторисної документації, розробленої ТОВ «Експерт 112», 01004, м. Київ, вул. Пушкінська, будинок 25, офіс 33, шифр проекту: 213-0617

(назва проектною організації, її адреса, №, шифр проекту)

III. Тип системи локального пожежогасіння кухонного обладнання «FIRESTOP»:

Перелік обладнання змонтованого на об'єкті та пред'явлене до здачі:

№ п/п	Найменування (тип) обладнання, що змонтоване	Кількість встановленого обладнання	№ сертифікату та термін дії	Резерв обладнання, що передано замовнику	Примітка
1	FS-K	6	UA1.182.0005242-17, з 11.04.2017 по 10.04.2019 рр.	—	-
Примітка:	Всього	6	-	—	-

в разі зберігання резерву обладнання не на захищеному об'єкті до акту додається договір між замовником та організацією яка забезпечує зберігання резерву обладнання. В цьому договорі обов'язково указуються зобов'язання щодо поставки на об'єкт резерву обладнання у термін визначений цими нормами.

IV. Результати перевірки:

Системи локального пожежогасіння кухонного обладнання «FIRESTOP»

(вказується тип системи)

пройшла комплексне випробування, знаходиться в працездатному стані і готова до експлуатування, про що складено відповідний акт.

Найменування суб'єкта господарювання, що здійснює технічне обслуговування системи протипожежного захисту:

ТОВ «Експерт 112», 01004, м. Київ, вул. Пушкінська, будинок 25, офіс 33, Електронна ліцензія видана згідно Наказу

Державної служби України з надзвичайних ситуацій від 10.05.2017 № 256

(адреса суб'єкта господарювання, № ліцензії та термін її дії)

Висновок комісії і оцінка виконаних робіт:

Система локального пожежогасіння кухонного обладнання «FIRESTOP» встановлена з дотриманням інструкцій та готова до експлуатації Замовником відповідно до її призначення

(тип)

змонтовано в дитячому розважальному комплексі «Fly Park» в ТРЦ «Караван» за адресою: м. Харків, вул. Героїв Праці, 7

(назва будинку, споруди, цеху, приміщень в будинку, відомча належність, адреса)

Голова комісії - представник замовника
(забудовника)

М.П.

Членів комісії:

Монтажна організація

М.П.

Обслуговуюча організація

М.П.



Барановський Д.Є.
(прізвище та ініціали)

Гуріненко О.С.

(прізвище та ініціали)

Гуріненко О.С.

(прізвище та ініціали)

Голова комісії-представник
Замовника (забудовника)

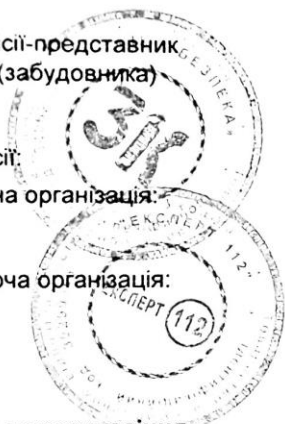
М.П.

Члени комісії:

Монтувальна організація:

М.П.

Обслуговуюча організація:



(підпис)

О.М. Венгер
(прізвище та ініціали)

(підпис)

О.С. Гуріненко
(прізвище та ініціали)

(підпис)

О.С. Гуріненко
(прізвище та ініціали)

III Системи пожежогасіння

Монтувальною організацією **ТОВ «ЗК БЕЗПЕКА», 08131, Київська область, Києво-Святошинський район, село Софіївська Борщагівка, вулиця Мала Кільцева, 4А**

(назва організації та її адреса)

ліцензія серії АЕ № 291837, що діє до термін дії необмежений

проведено монтування системи пожежогасіння **аерозольне пожежогасіння котельні**

(водяне, пінне, газове, порошкове, аерозольне)

відповідно до затвердженої проектно-кошторисної документації, розробленої:

ТОВ «ЗК БЕЗПЕКА», 08131, Київська область, Києво-Святошинський район, село Софіївська Борщагівка, вулиця Мала Кільцева, 4А, Шифр 3/06-2017-ПГ

(назва проектної організації, її адреса, №, шифр проекту)

яка пройшла експертизу (експертну оцінку) в **Департаменті запобігання надзвичайним ситуаціям**

(назва організації, що проводила експертизу (оцінку))

експертний звіт (оцінка) № 260299/р/д" 17" липня 2017 р. виданий **Департаментом запобігання надзвичайним ситуаціям**

Перелік обладнання, що змонтоване на об'єкті та пред'явлене до здачі

№ з/п	Найменування (тип) змонтованого обладнання	Кількість встановленого обладнання	№ сертифіката та термін дії	Резерв обладнання, що передано замовнику	Примітка
1.	Прилад приймально-контрольний, ПУІЗ «Тірас-1»	1 шт.	UA1.166.0034134-16, з 25.08.2016 р. до 15.09.2018 р.	-	-
2.	Блок живлення, БЖ 1230	1 шт.	UA1.018.0033968-16, з 22.08.2016 р. до 15.09.2018 р.	-	-
3.	Акумулятор, 12 В, 18А/г	1 шт.	UA1.182.0016778-16 р. з 24.03.2016 р. до 24.12.2020 р.	-	-
4.	Пристрій ручного запускання, ПРЗ «Тірас»	1 шт.	UA1.016.0034139-16 з 25.08.2016 р. до 15.09.2018 р.	-	-
5.	Пристрій аварійного зупинення, ПАЗ «Тірас»	1 шт.	UA1.016.0034139-16 з 25.08.2016 р. до 15.09.2018 р.	-	-
6.	Оповіщувач «Аерозоль не входить», ОСЗ-9	1 шт.	UA1.018.0010104-16, з 26.02.2016 р. до 02.06.20120 р.	-	-

Додаток Д
Сертифікат відповідності

МІНІСТЕРСТВО ЕКОНОМІЧНОГО РОЗВИТКУ І ТОРГІВЛІ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНА СИСТЕМА СЕРТИФІКАЦІЇ УкрСЕПРО

Серія ВГ

СЕРТИФІКАТ ВІДПОВІДНОСТІ

UA1.182.0016778-16

Зареєстровано в Реєстрі за №

Зареєстровано в Реєстрі

Термін дії з 24 березня 2016 до 24 грудня 2020

Срок дієвості с

Продукція Автономна установка (система) аерозольного пожежогасіння
'FIRESTOP' запчастини та комплектуючі до неї

Продукція

код УКТ ЗЕД, ТН ЗЕД

28.29.22

код ДКПП, ОКП

Відповідає вимогам

Соответствует требованиям

ДСТУ 4442:2005, п.п 5.1.1, 5.1.2, 5.1.3, 5.1.4, 5.1.6, 5.1.7, 5.1.10.1, 5.1.10.2,
5.3, 5.4; ДБН В.2.5-56:2014, п. 5.14; ТУ 39299386-0001:2015 'Автономна
установка (система) аерозольного пожежогасіння 'FIRESTOP.'

Виробник продукції

Изготовитель продукции

ТОВ 'ЕКСПЕРТ 112', 01004, м. Київ, вул. Пушкінська, буд. 25, офіс
33, код ЄДРПОУ 39299386, Україна

Сертифікат видано

Сертификат выдан

ТОВ 'ЕКСПЕРТ 112', 01004, м. Київ, вул. Пушкінська, буд. 25, офіс 33, код
ЄДРПОУ 39299386

Додаткова інформація

Дополнительная информация

Автономна установка (система) аерозольного пожежогасіння 'FIRESTOP'
запчастини та комплектуючі до неї, яка виготовляється серійно з
24.03.2016 р. до 24.12.2020 р. за ТУ 39299386-0001:2015 'Автономна уста-
новка (система) аерозольного пожежогасіння 'FIRESTOP'', з урахуванням
гарантійного терміну зберігання, технічний нагляд один раз на рік.

Сертифікат видано органом з сертифікації

Сертификат выдан органом по сертификации

ОС 'ХАРКІВСЬКИЙ НЕЗАЛЕЖНИЙ ЦЕНТР СЕРТИФІКАЦІЇ',
61072, м. Харків, пр. Леніна, б. 48А, літ I-II, тел. (057) 763-18-88,
Свідоцтво про призначення № UA.P.182 від 20.11.2012 р.,
Свідоцтво про уповноваження № UA.PN.182 від 20.11.2012 р.

На підставі

На основании

Протоколу сертифікаційних випробувань № 12С/НЛПБ-2016 від 24.03.2016 р., виданого ВЛ
ТОВ 'Незалежна лабораторія пожежної безпеки', м. Київ, вул. Автозаводська, 17, оф. 47,
атестат акредитації № 2Н688 від 05.06.2013 р.; Сертифікат на систему управління як істю №
UA2.070.09485-15 від 25.12.2015 р. до 24.12.2020 р.

Керівник органу з сертифікації

Руководитель органа по сертификации

М.П.



підпис

А.В. Горлов

ініціали, прізвище

Чинність сертифіката відповідності можна
перевірити в Реєстрі системи УкрСЕПРО
за тел. (044) 537-35-76

№ 312300



МІНІСТЕРСТВО ЕКОНОМІЧНОГО РОЗВИТКУ І ТОРГІВЛІ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНА СИСТЕМА СЕРТИФІКАЦІЇ

Серія ВГ

СЕРТИФІКАТ ВІДПОВІДНОСТІ

UA1.182.0005778-17

Зареєстровано в Реєстрі Системи за №
Зареєстрован в Реєстрі Системи

Термін дії з 20 квітня 2017 до 10 квітня 2019

Срок действия с

Продукція Генератор вогнегасного аерозолю (ГВА) 'FIRESTOP', автономний
Продукция вузол запуску 'FIRESTOP', комплектуючі та запасні частини до них.

код УКТ ЗЕД, ТН ЗЕД
28.29.22

код ДКПП, ОКП

Відповідає вимогам ДСТУ 4442-2005 п. 5.1.1, 5.1.2, 5.1.3, 5.1.5, 5.1.6, 5.3, 5.4, 5.5; ДСТУ
Соответствует требованиям СЕН/TR 15276-1:2014 п. 4.1, 4.3, 4.4, 6

Виробник продукції ТОВ 'ЕКСПЕРТ 112', 01004, м. Київ, вул. Пушкінська, буд. 25, офіс
Изготовитель продукции 33, код ЄДРПОУ 39299386, Україна; виробнича площа: 01004, м. Київ, вул.
Пушкінська, буд. 25, Україна

Сертифікат видано ТОВ 'ЕКСПЕРТ 112', Україна, 01004, м. Київ, вул. Пушкінська, буд. 25, офіс
Сертификат выдан 33, код ЄДРПОУ 39299386

Додаткова інформація Генератор вогнегасного аерозолю 'FIRESTOP', який виготовляється
Дополнительная информация серійно з 20.04.2017 р. 10.04.2019 р. за ТУ 28.29-39299386-0002:2016 'Гене-
ратор вогнегасного аерозолю 'FIRESTOP. Технічні умови', з урахуванням
гарантійного терміну зберігання, технічний нагляд один раз на рік. Доб-
ровільна сертифікація.

Сертифікат видано органом з сертифікації ОС 'ХАРКІВСЬКИЙ НЕЗАЛЕЖНИЙ ЦЕНТР СЕРТИФІКАЦІЇ',
Сертификат выдан органом по сертификации 61072, м. Харків, пр. Леніна, б. 48А, літ I-II, тел. (057) 763-18-88,
Свідоцтво про призначення № UA.P.182 від 20.11.2012 р.,
Свідоцтво про уповноваження № UA.PN.182 від 20.11.2012 р.

На підставі Протоколу сертифікаційних випробувань № 19/3-2017 від 10.04.2017 р., виданого Науково-
На основании дослідним центром 'ПОЖЕЖНА БЕЗПЕКА' Українського науково-дослідного інституту ци-
вільного захисту, м. Київ, вул. Рибальська, 18, атестат акредитації № 2Н278 від 16.01.2 017 р.
до 15.01.2022 р., акт обстеження виробництва № 182-496/03-17 від 11.04.2017 р.



Керівник органу з сертифікації
Руководитель органа по сертификации

(Handwritten signature)

А.В. Горлов

підпис

ініціали, прізвище

Чинність сертифіката відповідності можна
перевірити в Реєстрі Системи
за тел. (044) 528-84-28

№ 662020

Додаток Ж
Патенти на винахід та корисну модель,
технічні умови



УКРАЇНА

(19) UA (11) 115080 (13) C2

(51) МПК (2017.01)

A62C 35/00

A62C 13/22 (2006.01)

A62C 3/06 (2006.01)

A62C 3/16 (2006.01)

A62C 37/00

МІНІСТЕРСТВО
ЕКОНОМІЧНОГО
РОЗВИТКУ І ТОРГІВЛІ
УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД

(21) Номер заявки: а 2016 08287	(72) Винахідник(и): Баланюк Володимир Мірчович (UA)
(22) Дата подання заявки: 24.08.2016	(73) Власник(и): Баланюк Володимир Мірчович, вул. Заставська, 33, м. Городок, Львівська обл., 81500 (UA)
(24) Дата, з якої є чинними права на винахід: 11.08.2017	(58) Перелік документів, затих до уваги експертизою: UA 67 867 U, 12.03.2012 RU 2 001 646 C1, 30.10.1993 RU 2 031 671 C1, 27.03.1995 RU 2 091 104 C1, 27.09.1997 RU 2 108 824 C1, 20.04.1998 RU 2 115 460 C1, 30.07.1998 RU 2 135 236 C1, 27.08.1999 RU 2 426 569 C1, 20.08.2011 WO 95/32761 A1, 07.12.1995 JP 06-269513 A, 27.08.1994 CN 203017611 U, 26.06.2013 US 6 116 348 A, 12.09.2000 US 6 173 790 B1, 16.01.2001 UA 971225733, 29.12.1999
(41) Публікація відомостей про заявку: 28.12.2018, Бюл.№ 24	
(48) Публікація відомостей про видачу патенту: 11.08.2017, Бюл.№ 17	

(54) СПОСІБ КОМБІНОВАНОГО ГАСІННЯ ПОЖЕЖИ ВОГНЕГАСНИМ АЕРОЗОЛЕМ, ГАЗОВОЮ ВОГНЕГАСНОЮ РЕЧОВИНОЮ І УДАРНИМИ ХВИЛЯМИ ТА ПРИСТРІЙ ДЛЯ ЙОГО ЗДІЙСНЕННЯ

(67) Реферат:

Винахід належить до галузі пожежогасіння. Спосіб включає подачу після виникнення пожежі одночасно вогнегасної газової речовини та аерозолів, де як вогнегасні газові речовини використовують азот, вуглекислий газ або хладони, причому при гасінні пожежі їх попередньо змішують з вогнегасними аерозолями, причому на суміш вогнегасних газів та вогнегасного аерозолу діють послідовними ударними хвилями до моменту гасіння пожежі. Пристрій для здійснення способу містить корпус, з двох сторін захищений теплоізолюючим шаром, заряд аерозолеутворюючої сполуки, засіб для її запалювання і кільцеве вихідне сопло з утримуючою решіткою, над якою розташована ємність з газовою вогнегасною речовиною, що містить кільцеве сопло виходу газової вогнегасної речовини з зазначеної ємності, яке спрямовано паралельно кільцевому соплу виходу вогнегасного аерозолу. В корпусі під утримуючою решіткою розташований каталітичний блок, на зазначеному кільцевому вихідному соплі розташовано ізолюючу плавку плівку, крім того в заряді аерозолеутворюючої сполуки сформований внутрішній канал, під генератором вогнегасного аерозолу розташований генератор ударних хвиль, який складається з піротехнічних зарядів та секцій, в яких вони розташовані та які формують послідовні ударні хвилі. Винахід забезпечує підвищення

UA 115080 C2



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **115578** (13) **C2**
(51) МПК (2017.01)
A62C 13/00
A62C 35/02 (2006.01)

МІНІСТЕРСТВО
ЕКОНОМІЧНОГО
РОЗВИТКУ І ТОРГІВЛІ
УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД

(21) Номер заявки: а 2015 07130	(72) Винахідник(и): Баланюк Володимир Мірчович (UA)
(22) Дата подання заявки: 16.07.2015	(73) Власник(и): Баланюк Володимир Мірчович, вул. Заставська, 33, м. Городок, Львівська обл., 81500 (UA)
(24) Дата, з якої є чинними права на винахід: 27.11.2017	(56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою: UA 93874 U, 27.10.2014 US 8413733 B2, 09.04.2013 RU 2492889 C2, 20.09.2013 RU 2323756 C1, 10.05.2008 RU 2508146 C2, 27.02.2014 RU 2031671 C1, 27.03.1995 RU 2426569 C1, 20.08.2011 RU 94002970 A1, 20.06.1998 US 20130175061 A1, 11.07.2013
(41) Публікація відомостей про заявку: 25.01.2017, Бюл.№ 2	
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 27.11.2017, Бюл.№ 22	

(54) АЕРОЗОЛЬНИЙ ВОГНЕГАСНИК (ВАРІАНТИ)**(57) Реферат:**

Об'єкт винаходу: аерозольний вогнегасник (варіанти).

Галузь застосування: винахід належить до засобів локального та об'ємного пожежогасіння, зокрема до аерозольних вогнегасників, і може застосовуватись як комбінований переносний, так і стаціонарний засіб гасіння відкритих і закритих пожеж класів А, В, С, Е напрямленим струменем вогнегасного аерозолу разом з вогнегасними газами та ударними хвилями.

Суть винаходу: аерозольний вогнегасник (варіанти) після виникнення пожежі забезпечує подачу вогнегасного аерозолу у вигляді струменя або суміші вогнегасного аерозолу та газів, де як газу використовують екологічно безпечні вогнегасні газу, наприклад азот, вуглекислий газ, водяну пару або озонобезпечні хладони, які в процесі гасіння пожежі змішують з вогнегасними аерозолями, при цьому на утворену суміш вогнегасного газу та аерозолу діють одинарними або серійними ударними хвилями. Аерозольний вогнегасник містить з обох сторін оснащений теплоізолюючим шаром корпус із зарядом аерозольутворювальної сполуки, запальник, кришку, сопло, на якому розташовано ізолюючу плавку плівку, та перед соплом розташований каталітичний блок. Аерозольний вогнегасник додатково може містити ємність з газовою вогнегасною речовиною та генератор ударних хвиль, який утворює ударні хвилі, що діють на полум'я в газоаерозольному середовищі.

Технічний результат: створення варіантів аерозольного вогнегасника, які мають зменшені габарити, подовжений час роботи, збільшену відстань та високу ефективність гасіння пожеж

UA 115578 C2



ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **67867** (13) **U**
(51) МПК (2012.01)
A62C 35/00

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: u 2011 09276	(72) Винахідник(и): Баланюк Володимир Мірчович (UA), Копистинський Юрій Олегович (UA)
(22) Дата подання заявки: 25.07.2011	(73) Власник(и): Баланюк Володимир Мірчович, вул. Заставська, 33, м. Городок, Львівська, 81500 (UA)
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: 12.03.2012	
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 12.03.2012, Бюл.№ 5	

(54) АЕРОЗОЛЬНИЙ ГЕНЕРАТОР З АКУСТИЧНО-УДАРНОЮ АКТИВАЦІЄЮ АЕРОЗОЛЮ

(57) Реферат:

Аерозольний генератор з акустично-ударною активацією аерозолю містить корпус, в якому встановлений піротехнічний (аерозольутворювальний) заряд, запальник. В корпусі міститься металевий циліндр з аерозольутворювальним зарядом, з можливістю охолодження аерозолю між металевим циліндром та корпусом утворений міжстіночний простір, на корпусі міститься концентратор енергії акустично-ударної хвилі, в якому розташований піротехнічний заряд.

UA 67867 U



МІНІСТЕРСТВО
ЕКОНОМІЧНОГО
РОЗВИТКУ І ТОРГІВЛІ
УКРАЇНИ

УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **131390** (13) **U**
(51) МПК (2018.01)
A62C 2/00

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: **u 2018 08130**
(22) Дата подання заявки: **23.07.2018**
(24) Дата, з якої є чинними
права на корисну
модель: **10.01.2019**
(46) Публікація відомостей
про видачу патенту: **10.01.2019, Бюл.№ 1**

(72) Винахідник(и):
Баланюк Володимир Мірчович (UA)
(73) Власник(и):
Баланюк Володимир Мірчович,
вул. Заставська, 33, м. Городок, Львівська
обл., 81500 (UA)

**(54) СПОСІБ ПОЖЕЖОГАСІННЯ ТА СТВОРЕННЯ ОХОРОННОЇ АЕРОЗОЛЬНОЇ ЗАВІСИ
ВОГНЕГАСНОЮ РЕЧОВИНОЮ ОБ'ЄМНОЇ ДІЇ**

(57) Реферат:

Спосіб пожежогасіння та створення охоронної аерозольної завіси вогнегасною речовиною об'ємної дії, що включає гасіння пожежі вогнегасним аерозолем. Перед, під час або після виникнення моменту пожежі або необхідності охорони об'єкта вогнегасну речовину об'ємної дії (вогнегасний аерозоль, порошок, газоаерозольну суміш) подають струменем, безпосередньо на полум'я та (або) для створення охоронної аерозольної завіси.

UA 131390 U

Погоджено
МОЗ України
висновок від «27» жовтня 2015 р.
№ 05.03.02-07/48241



Затверджую
Директор ТОВ «Експерт 112»
О.С. Гуріненко

«01» вересня 2015 р.

**Автономна установка (система)
аерозольного пожежогасіння «FIRESTOP»**

Технічні умови
ТУ 39299386-0001:2015

Код за ДКПП 28.29.22

Дата надання чинності 01.09.2015 р.

Без обмеження строку чинності

Погоджено
ДСНС України
лист від «20» листопада 2015 р.
№ 26-16867/261



Розроблено
Директор ТОВ «Експерт 112»
О.С. Гуріненко

«01» вересня 2015 р.

Погоджено

ДСНС України

“ ___ ” _____ 2016 року

Затверджую

Директор ТзОВ «Експерт 112»

“ ___ ” _____ 2016 року

**ГЕНЕРАТОРИ ВОГНЕГАСНОГО АЕРОЗОЛЮ
«FIRESTOP»**

(ПРОЕКТ)

Технічні умови
ТУ У 39299386-0002:2016

Розроблено:

к.т.н. доц.



Баланюк В.М.

Львів-2016

Погоджено

ДСНС України

Затверджую

Директор ТзОВ «Експерт 112»

“ ___ ” _____ 2016 року

“ ___ ” _____ 2016 року

**ГЕНЕРАТОРИ ВОГНЕГАСНОГО
АЕРОЗОЛЮ ПІДВИЩЕНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ
«FIRESTOP»**

(ПРОЕКТ)

Технічні умови
ТУ У 39299386-0003:2016

Розроблено:

к.т.н. доц.



Баланюк В.М.

Львів-2016