

*В.М. Баланюк¹, канд. техн. наук, доцент,
Н.М. Козяр, канд. техн. наук, О.І. Гарасимюк, А.Т. Лозинський
(Львівський державний університет безпеки життєдіяльності)*

ВПЛИВ ДОБАВОК CO₂ НА ВОГНЕГАСНУ ЕФЕКТИВНІСТЬ БІНАРНОЇ АЕРОЗОЛЬНО-ГАЗОВОЇ СУМІШІ

Теоретично обґрунтовано та експериментально підтверджено, що вплив добавок CO₂ до аерозолів значно збільшує вогнегасну ефективність отриманих бінарних аерозольних сумішей. Результатом добавляння до аерозолю вуглекислого газу стало зменшення вогнегасної концентрації компонентів кінцевої бінарної суміші до 30%. Отримано оптимальні співвідношення компонентів бінарної аерозольно-газової суміші; аерозоль – 15 г/м³ – вуглекислий газ – 4%, при яких суміш є вогнегасною, для дифузійного полум'я гептану при невеликих витратах компонентів. Обґрунтовано, що дія вогнегасних аерозолів є комплексною синергічною дією, яка проявляється у зменшенні вогнегасної концентрації компонентів бінарної вогнегасної суміші до 30% від вихідної концентрації.

Ключові слова: флегматизатор, інгібітор горіння, вогнегасний аерозоль, комбіноване гасіння, вогнегасний порошок, аерозольотворювальна сполука, інертні гази.

В.М. Баланюк, Н.М. Козяр, А.І. Гарасимюк, А.Т. Лозинський

ВЛИЯНИЕ ДОБАВОК CO₂ НА ОГНЕТУШАЩУЮ ЭФФЕКТИВНОСТЬ БИНАРНОЙ АЭРОЗОЛЬНО-ГАЗОВОЙ СМЕСИ

В статье теоретически обосновано и экспериментально подтверждено, что влияние добавок CO₂ до аэрозолей значительно увеличивает огнетушащую эффективность полученных бинарных аэрозольных смесей. Результатом добавления до аэрозоля вуглекислого газа стало уменьшение огнетушащей концентрации компонентов конечной бинарной смеси до 30%. Получены оптимальные соотношения компонентов бинарной аэрозольно-газовой смеси: аэрозоль – 15 г/м³ – углекислого газа – 7%, при которых смесь является огнетушащей, для диффузионного пламени гептана при небольших затратах компонентов. Обосновано, что действие огнетушащих аэрозолей является комплексным синергическим действием, которое проявляется в уменьшении огнетушащей концентрации компонентов бинарной огнетушащей смеси до 30% от исходной концентрации.

Ключевые слова: флегматизатор, ингибитор горения, огнетушащий аэрозоль, комбинированное тушение, огнетушащий порошок, аэрозольобразующая композиция, инертные газы.

V.M. Balaniuk, N. M. Kozyar, O. I. Harasymiuk, A. T. Lozynskyi

THE INFLUENCE OF CO₂ ADDITIVES ON FIRE EXTINGUISHING EFFICIENCY OF BINARY AEROSOL-GAS MIXTURE

The article is dedicated to theoretical and experimental investigation of the influence of CO₂ additives on binary aerosol-gas mixture fire extinguishing efficiency. Adding carbon dioxide to aerosol has reduced the extinguishing concentration of final binary mixture components to 30%. The resulting optimal ratio of the binary mixture components have been determined (aerosol – 15 g/m³ – carbon dioxide – 7%). These ratios have allowed to extinguish the diffusion flame of heptane with low components flowrate. The fire-extinguishing aerosol action is a complex synergistic effect, which manifests itself in reducing the necessary concentration of fire extinguishing components of a binary mixture up to 30% of the initial concentration.

Key words: retarder, a flame retardant, fire-extinguishing aerosol, combined fire extinguishing, extinguishing powder, aerosol-generating composition, inert gases.

Постановка проблеми: Створення нових технологій пожежогасіння нерозривно пов'язане з науково-технічним прогресом в галузі пожежогасіння. Успішне вирішення проблеми гасіння пожеж багато в чому пов'язане зі створенням і використанням нових екологічно безпечних і високоефективних вогнегасних речовин. Це можуть бути як абсолютно нові засоби, так і вдалі комбінації вже перевірених доступних вогнегасних речовин.

У практиці пожежогасіння в закритих приміщеннях одним з найбільш ефективних є спосіб придушення пожежі, при якому у всьому захищуваному об'ємі створюється середовище, що не підтримує процесу горіння. Досі для цього в якості вогнегасних речовин використовувалися газові інертні розріджувачі або хімічно активні галогенвуглеводні – хладони. Однак інертні розріджувачі мають низьку вогнегасну здатність, а хладони сприяють руйнуванню озонного шару Землі. Вогнегасні порошкові склади малоєфективні при об'ємному способі гасіння пожеж через великий розмір часток і нерівномірний розподіл у захищуваному просторі. У зв'язку з цим досить перспективно розвивати використання нового різновиду засобів об'ємного пожежогасіння – твердопаливного аерозолеутворюючого вогнегасного складу (АУС) і генераторів вогнегасного аерозолу на його основі. Сучасні аерозольні засоби за основними техніко-економічними показниками (висока вогнегасна здатність, автономність, можливість автоматичного приведення в дію, простота в експлуатації, мінімальні збитки при застосуванні) перевершують всі засоби, що використовуються для гасіння пожежі. При цьому в двофазовій системі аерозолу газоподібний компонент – це, як правило, суміш інертних газів, не підтримує горіння, а свіжостворені високодисперсні тверді частинки мають високу вогнегасну здатність.

Недоліками вогнегасних аерозолів є те, що вогнегасний аерозоль не здатний ліквідувати тління і цим обмежує коло свого застосування. Таким чином завданням роботи є визначення ефективності гасіння аерозолем при добавлянні CO_2 .

Виклад основного матеріалу. Відомо, що структура аерозолу змінюється під час його існування: з моменту утворення аерозолу при повному спалюванні (АУС) до його кінцевого перетворення під дією полум'я і високих температур. При спалюванні АУС з кожного його грама утворюється 3-5 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, які утворюються при згорянні АУС. 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 [1]. Такі ж показники матиме вогнегасний аерозоль, що утворюється при згорянні рецептур, які містять додатково газифікатор – ДЦДА, ДФА та інші. У таблиці 1 наведено склади аерозольгенеруючого палива й продуктів їхнього горіння. Як видно з таблиці, при горінні вміст газів флегматизаторів є невеликим, хоча з аналізу видно, що збільшення їх концентрації приведе до підвищення вогнегасної ефективності.

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 озонний шар та є більш доступними і дешевими, ніж хладони та інгібітори горіння. Однією з перших газових вогнегасних речовин, яку запропоновано, як альтернативу хладонам, – є саме діоксид вуглецю (CO_2). Відомий спосіб гасіння пожежі, що включає подачу в осередок пожежі діоксиду вуглецю у вигляді снігового аерозолу [2]. 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 відповідно необхідності відповідної кількості подаючої арматури та ємностей для його зберігання.

Таким чином вплив газового розріджувача CO_2 на вогнегасну ефективність аерозолів є актуальним питанням, яке потребує теоретичного аналізу характеристик АУС та експериментального визначення вогнегасної ефективності бінарних сумішей аерозолію та CO_2 .

Таблиця 1

Склад і продукти згорання АУС різних типів [3]

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 аерозолію (%)			
H_2O	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 аерозолію (%)			
K_2CO_3	-	33	39
KCl	35	14	-
KOH	1	1	4
Загалом	36	48	43

Як видно з табл. 1, в процесі згорання АУС утворюються компоненти які мають високу вогнегасну ефективність - K_2CO_3 , KCl, KOH.

Експеримент з визначення вогнегасної ефективності бінарної аерозольно-газової суміші проводили в камері об'ємом 175 л. Спочатку в камері спалювали наважку АУС після чого добавляли відповідну кількість газу – вуглекислого газу, перемішували, вводили в боковий отвір гептановий пальник та реєстрували результат – гасіння негасіння.

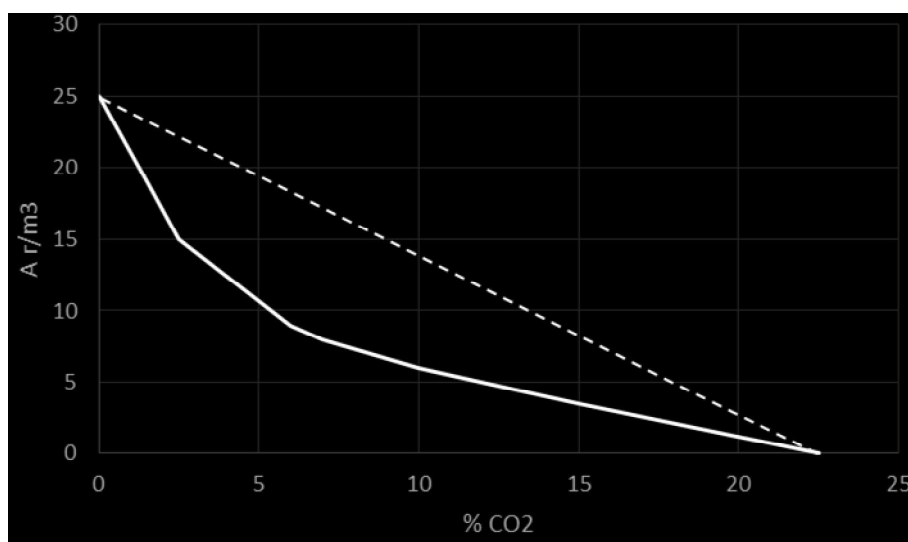


Рисунок 1. Зміна вогнегасної концентрації АУС (на основі ідітолу) при введенні різної кількості CO_2 для гасіння гептану

З результатів експерименту видно, що навіть незначна кількість введеного інертного газу в об'єм твердофазового аерозолу суттєво знижує вогнегасну концентрацію останнього, а також і швидкість горіння, а при подальшому збільшенні – зводить процес гасіння до створення повністю негорючого середовища – флегматизування. Відомо [4], що вогнегасна ефективність аерозолів не залежить від порядку введення інертних газів, а залежить тільки від їх концентрації, отже першочерговість подачі компонентів не має значення. Під час пожежі частина аерозолу 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 аерозолу після охолодження може седиментувати і буде виведена з процесу гасіння. Все це призводить до зменшення концентрації аерозолу. Введення відносно холодного газу з температурою 20-24°C сприяє швидкому встановленню такого теплового режиму, при якому вогнегасна дія аерозолу проявляється більш ефективно. Роль газової фази щодо підвищення вогнегасної ефективності аерозолів може бути пояснена тим, що компоненти газової фази CO_2 і H_2O сприяють утворенню карбонатних і гідратованих форм твердої фази.

Як вказано в [5] при збільшенні вологості вогнегасна ефективність аерозолу оксиду 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 сприяє збільшенню концентрації твердої фази в одиниці об'єму аерозолу.

На користь комбінованого характеру гасіння, можна також привести дані робіт [6] в яких говориться, що наявність інертних газових розріджувачів значно підвищує ефективність аерозолу. Крім того результати цих дослідів показали, ще один немаловажний ефект від додаткового використання інертних розріджувачів сумісно з АВС, а саме – наявність CO_2 чи N_2 збільшує оптичну проникність аерозолу, тобто збільшується видимість. Особливо це відчутно при концентраціях CO_2 від 2% і більше. Зниження мінімальної вогнегасної маси заряду АУС в 3,5 разів завдяки введенню CO_2 досягається при його концентрації 3,0% об., а це становить підвищену небезпеку для людей. Якщо ж гасіння проходиться в безлюдних об'ємах, то, без сумніву, застосування CO_2 має переваги перед N_2 .

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.

Механізм вогнегасної дії порошків є комбінованим і пов'язаний з такими видами впливу на процес горіння: розбавлення горючого середовища газоподібними продуктами розкладання аерозолу або безпосередньо аерозолевою хмарою; створення вогнепершкоджувального ефекту – гасіння полум'я в вузьких каналах між частинками порошкового хмари; інгібування ланцюгових реакцій горіння за гомогенним і гетерогенним механізмами.

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 [7-9]. Тому правильніше вважати, що при використанні будь-яких вогнегасних дисперсних складів діють всі перераховані механізми гасіння, тільки проявляються вони в різному ступені 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.

Проблемною стороною застосування дисперсних складів – зокрема вогнегасних порошків та аерозолів є нездатність швидкого та ефективного охолодження зони гасіння. В цьому полягає один із основних недоліків, який унеможлиблює їх використання для успішного гасіння пожеж класу А1. Всім відомі випадки, коли після порошкового гасіння можли-

ве повторне займання від нагрітих до високих температур предметів та продовження горіння прихованих вогнищ тління [10]. Дійсний охолоджувальний ефект порошку становить максимум 10-20% від загальної кількості тепла, що виділяється при горінні [11]. Порошок забезпечує гасіння впродовж 5-60 секунд після його подачі в об'єм, що подеколи дорівнює часу подачі вогнегасного порошку в об'єм, що захищається. Далі концентрація порошку зменшується і за наявності нагрітих конструкцій, або прихованих вогнищ гетерогенного горіння можливе повторне займання горючої системи [12]. Саме у зв'язку з цим, розміри частинок порошку у порівнянні з вогнегасним аерозолем є на декілька порядків більшими і відповідно менш ефективними. Комбінації вогнегасного аерозолу з інертним розріджувачем, значно швидше прогріватимуться, нагріваючи власні дрібні частинки та розбавляючи об'єм високо-температурної зони, при цьому будуть перебирати частину тепла на себе, тим самим компенсуючи недостатню охолоджувальну дію порошку. При витраті АУС починаючи з 70 г/м³ температура полум'я завдяки теплопоглинанню аерозольної суміші може знижуватися до 130-200 °С, досягаючи в ряді випадків критичних значень, при яких відбувається придушення процесу горіння [13]. Крім того, в роботі [14] вказано, що високодисперсні хімічні сполуки калію, які є основою більшості АУС, є найбільш ефективними із сполук лужних металів, для використання в ролі інгібувальних компонентів вогнегасних порошоків. Інші дані свідчать про позитивну взаємодію газу та порошку [15-17], а саме: завдяки розбавленню газом флегматизатором до створення концентрації кисню 14-16 %(об.). В результаті реакції горіння в рази швидше інгібуються активними частинками вогнегасного порошку та посилюється проявлення взаємозв'язаних фізико-хімічних факторів придушення полум'я порошками.

Розрахунки теплоємності аерозолів, одержаних з одиниці ваги АУС (1 г), показують, що із збільшенням кількості горючого теплоємність аерозолів навіть дещо зростає [18]. Відомо, що добавка газів флегматизаторів до аерозолу приведе до значного підвищення їх вогнепригнічувальної ефективності. Таким чином, не враховуючи концентрацію твердої фази, добавка до неї інертних газів, таких як CO₂, N₂ чи H₂O повинна значно підвищити теплопоглинальну здатність бінарної суміші аерозолу та газів флегматизаторів. При цьому відбудеться незначне зменшення концентрації самої твердої фази в одиниці об'єму аерозолу. Порівнюючи одержані розрахункові значення теплоємності АУС з теплоємностями газів-флегматизаторів CO₂ і N₂ (при 1400°C), які становлять відповідно Q=3241 кДж/м³ та Q=2012,5 кДж/м³ видно, що теплоємність аерозолу значно перевищує теплоємність цих газів і особливо у випадках утворення K₂CO₃ чи K₂CO₃·2H₂O.

Таким чином, як видно з результатів експерименту та дискусії, бінарні вогнегасні суміші, які містять вогнегасний аерозоль та добавку CO₂ володіють комплексною синергічною вогнегасною дією компонентів, які мають при підвищених концентраціях значну теплопоглинальну дію. Як видно з таблиці 2, при збільшенні вогнегасної ефективності теплопоглинальна здатність бінарної аерозолегазової суміші зростає з приблизно 9% при концентрації аерозолу 50 г/м³ з добавкою 50% CO₂ до 27% при добавці бінарної суміші з співвідношеннями компонентів – 150 г/м³ та добавкою 50% CO₂, що збігається.

Величина загального теплопоглинання і частка теплоти згоряння метаноповітряної суміші, що поглинається аерозолем, який складається з 50 % (мас.) K₂CO₃·2 H₂O та 50 % CO₂ з результатів авторів [13], які вказують на високу теплопоглинальну здатність аерозолів при високих концентраціях.

Таблиця. 2.[17]

С _А , г/м ³	∑ Q, кДж	% поглинання
50	315,750	8,9
75	473,625	13,3
100	631,500	17,8
150	947,250	26,7

Висновок. Добавлення CO₂ до аерозолі на основі неорганічних солей калію значно підвищує вогнегасну ефективність отриманої бінарної аерозольногазової суміші. Результатом добавлення до аерозолі вуглекислого газу стало зменшення вогнегасної концентрації компонентів кінцевої бінарної суміші до 30% при оптимальних співвідношеннях компонентів в бінарній аерозольно-газовій суміші – аерозолі 15 г/м³ – вуглекислого газу – 4% при яких суміш є вогнегасною, для дифузійного полум'я гептану при невеликих витратах компонентів.

Список літератури:

1. Вплив газової фази на ефективність вогнегасних аерозолів Баланюк В.М., Грималюк Б.Т., Кіт Ю.В., Левуш С.С. // Вісник НУ “Львівська політехніка”. – 2004. – №497. – С 11-12.
2. Патент СССР 494164. М.Кл. А 62 D 1/00, А 62с 1/10. Способ тушения пожаров / Я. Мирошников, М. Н. Исаев, Е. Г. Зиновьев, Н. М. Молочный; заявитель и патентообладатель Всесоюзный научно-исследовательский институт противопожарной обороны; заявл. 04.07. 1973; опубл. 5.12.75.
4. Теоретичні основи пожежовибухонебезпеки: Підручник./ Тарахно О.В. – Харків: АЦЗУ, 2006.
5. Дослідження впливу інертних газових розріджувачів на ефективність вогнегасних аерозолів. Баланюк В.М., Грималюк Б.Т. ЛПБ: Пожежна безпека №5. 2004.
6. Научно-исследовательский институт технико-экономических исследований. Химическая промышленность по производству минеральных удобрений. Обзорная информация. Порошковые пламеподавляющие составы. НИИТЭХИМ Москва 1984.
7. Дослідження з визначення вогнегасної ефективності сумішей інгібіторів горіння та інертних розріджувачів Жартовський В.М., Откидач М.Я., Цапко Ю.В., Тропінов О.Г. // Науковий вісник. – 2003. – №2. – С. 5-10.
8. Физико-химические основы развития и тушения пожаров/ В. Ф. Марков, Л. Н. Маскаева, М. П. Миронов, С. Н. Пажникова. – Екатеринбург: УрО РАН, 2009. – 274 с.
9. Порошковое пожаротушение / А. Н. Баратов, Л. П. Вогман, Д. В. Бухтояров, А. Л. Чибисов // Пожарная безопасность – 2012. – С. 120 – 122.
10. О механизмах огнетушащего действия средств пожаротушения / И.М. Абдурагимов // Пожаровзрывобезопасность – 2012. – Т. 21. – № 4. – С. 60-82.
11. Технические средства и способы тушения пожаров/ Авакимов С.С., Булгаков В.П., Бушуй М.И. и др. – М.: Энергоиздат, 1981. – 256с.
12. Огнетушащие порошки. Проблемы. Состояние вопроса / Сабинин О.Ю., Агаларова С.М. // Пожаровзрывобезопасность. – 2007. – №6. – С.63-68.
13. Автоматические средства подачи огнетушащих порошков/ Долговидов А.В., Сабинин О.Ю. // Пожаровзрывобезопасность. – 2008. – №1. – С.62-67.
14. Установки аерозольного пожаротушения: Элементы и характеристики, проектирование, монтаж и эксплуатация/ Агафонов В. В., Копылов Н.П. - М: ВНИИПО, 1999. – 232 с.
15. Ефективності порошків при гасінні полум'я газоповітряного середовища з перемінним вмістом кисню/ Тищенко О.М. Автореферат дис. на здобуття наукового ступеня к.т.н. ХІПБ МВС У. Харків – 2000.
16. Комбинированное пожаротушение инертными газами с одновременным ингибированием очагов горения порошковыми смесями/ Тищенко А.М. // Проблемы пожарной безопасности. – 1999. – Выпуск 6. – С. 159–162.
17. Экспериментальное обоснование комбинированного применения азота с огнетушащими порошками для противопожарной защиты объектов/ Быков С.А., Откидач Н.Я., Тищенко А.М. // Проблемы пожарной безопасности. – 2003. – Выпуск 14. – С. 55-59.
18. Флегматизування газових горючих середовищ сумішами вогнегасних аерозолів та газових вогнегасних речовин: автореф. дис. канд. техн. наук: 21.06.02/ Д.А. Журбинський – Львів, 2014. – 19 с.

Referense:

1. Balanyuk V.M., Hrymalyuk B.T., KitYu.V., Levush S.S. Vplyv hazovoyi fazy na efektyvnist' vohnehasnykh aeropoliv // Visnyk NU "L'viv's'kapolitekhnik". – 2004. – №497. – S 11-12.
2. Patent SSSR 494164. M.Kl. A 62 D 1/00, A 62s 1/10. Sposobtushenyapozharov /Ya. Myroshnykov, M. N. Ysaev, E. H. Zynov'ev, N. M. Molochnyy; zayavitel' y patentoobladatel' Vsesoyuznyy nauchno-yssledovatel'skiyinstytutprotyvopozharnoyoborony; zayavl. 04.07. 1973; opubl. 5.12.75.
4. Tarakhno O.V. Teoretychni osnovy pozhezhovybukhonebezpeky: Pidruchnyk. - Kharkiv: ATsZU, 2006.
5. Doslidzhennya vplyvu inertnykh hazovykh rozridzhuvachiv na efektyvnist' vohnehasnykh aeropoliv/ Balanyuk V.M., Hrymalyuk B.T. LIPB. Pozhezhnabezpeka №5. 2004.
6. Nauchno-yssledovatel'skiy ystytut tekhniko-ekonomycheskykh yssledovanyy. Khymycheskaya promshlenoost' po proyzvodstvu myneral'nukh udobrennyy. Obzornaya ynformatsyya. Poroshkovue plamepodavlyayushchye sostavu. NYIT'EKHYM Moskva 1984.
7. Zhartovs'kiy V.M., OtkidachM.Ya., TsapkoYu.V., Tropinov O.H. Doslidzhennya z vyznachennya vohnehasnoyi efektyvnosti sumishey inhibitoriv horinnya ta inertnykh rozridzhuvachiv // Naukovyyvisnyk. – 2003. – №2. – S. 5-10.
8. Markov, V. F. Fyzyko-khymycheskye osnovu razvytyya y tushenyya pozharov/ V. F. Markov, L. N. Maskayeva, M. P. Myronov, S. N. Pazhnykova. - Yekaterynburh: UrO RAN, 2009. - 274 s.
9. Baratov, A. N. Poroshkovoe pozharotushenye / A. N. Baratov, L. P. Vohman, D. V. Bukhtoyarov, A. L. Chybysov // Pozharnaya bezopasnost' – 2012. – S. 120 – 122.
10. Abdurahymov, Y. M. O mekhanizmax ohnetushashcheho deystviya sredstv pozharotushenyya / Y.M. Abdurahymov // Pozharovzrubezopasnost' – 2012. – T. 21. – № 4. – S. 60-82.
11. Avakymov S.S., Bulhakov V.P., Bushuy M.Y. y dr. Tekhnicheskye sredstva y sposobu tushenyya pozharov. – M.: Enerhoizdat, 1981. – 256s. Abdurahymov Y.M., HovorovV.Yu., Makarov V.E. Fyzyko-khymycheskye osnovu razvytyya y tushenyya pozharov. – M.: VPTSh MVD SSSR, 1980. – 255 s.
12. SabynynO.Yu., Ahalarova S.M. Ohnetushashchye poroshky. Problemu. Sostoyanye voprosa // Pozharovzrubezopasnost'. – 2007. – №6. – S.63-68.
13. Dolhovydov A.V., SabynynO.Yu. Avtomaticheskye sredstva podachy ohnetushashchykh poroshkov // Pozharovzrubezopasnost'. – 2008. – №1. – S.62-67.
14. Ahafonov V. V., Kopulov N.P. Ustanovky aeropol'noho pozharotushenyya: Elementu y kharakterystyky, proektyrovanye, montazh y ekspluatatsyya. - M: VNIYPO, 1999. - 232 s.
15. Tyshchenko O.M. Efektyvnosti poroshkiv pry hasinni polum'ya hazopovitryanoho seredovyshcha z pereminnym vmistom kysnyu. Avtoreferatdys. Na zdobuttya naukovooho stupenya k.t.n. KhIPB MVS U. Kharkiv – 2000.
16. Tyshchenko A.M. Kombynyrovannoe pozharotushenye ynertnumy hazamy s odnovremennum ynhybyrovanyem ochahov horenyya poroshkovumy smesyamy // Problemu pozharnoy bezopasnosti. – 1999. – Vupusk 6. – S. 159–162.
17. Bukov S.A., OtkydachN.Ya., Tyshchenko A.M. Eksperymental'noe obosnovanye kombynyrovannoho pryomenenyya azota s ohnetushashchymy poroshkamy dlya protyvopozharnoy zashchyty ob'ektov // Problemu pozharnoy bezopasnosti. – 2003. – Vupusk 14. – S. 55-59.
18. Zhurbyns'kiy D.A. Flehmatyzuvannya hazovykh horyuchykh seredovyshch sumishamy vohnehasnykh aeropoliv ta hazovykh vohnehasnykh rechovyn: avtoref. dys. nazdob. Naukovoho stupenya kand. tekhn. nauk: spets. 21.06.02. "Pozhezhnabezpeka" / D.A. Zhurbyns'kiy – L'viv , 2014. – 19 s.

