

В. М. Баланюк¹, канд. техн. наук, доцент, О.І. Гарасимюк²
(¹Львівський державний університет безпеки життєдіяльності,
²ГУДСНС м. Київ)

КОМБІНОВАНЕ АЕРОЗОЛЬНО-ПОРОШКОВЕ ПОЖЕЖОГАСІННЯ

Висвітлено закономірності гасіння гетерогенного горіння твердих речовин порошковими вогнегасними сумішами. Проаналізовано компоненти солей які використовуються для гасіння твердих горючих речовин та виявлено їх можливі недоліки при гасінні пожежі. Обґрунтовано розробку нових аерозольно-порошкових вогнегасних засобів з високою ефективністю гасіння пожеж класу А1. Проведено аналіз можливості використання деяких солей як можливих компонентів вогнегасного порошку і аерозолю, які мають високу теплопоглинальну здатність та можуть проявляти ефект синергізму з вогнегасними компонентами аерозолю.

Ключові слова: гетерогенне горіння, вогнегасні порошки, аерозольно-порошкові вогнегасні засоби, хлориди, карбонати, вогнегасні аерозолі.

В.М. Баланюк, О.І. Гарасимюк

КОМБИНИРОВАННОЕ АЭРОЗОЛЬНО-ПОРОШКОВОЕ ПОЖАРОТУШЕНИЕ

Освещены закономерности тушения гетерогенного горения твердых веществ порошковыми огнетушащими смесями. Проанализированы компоненты солей используемых для тушения твердых горючих веществ, и выявлено их возможные недостатки при тушении пожара. Обоснованно разработку новых аерозольно-порошковых огнетушащих средств с высокой эффективностью тушения пожаров класса А1. Проведен анализ возможности использования некоторых солей в качестве возможных компонентов огнетушащего порошка и аэрозоля, которые обладают высокой теплопоглощающей способностью и могут проявлять эффект синергизма с огнетушащими компонентами аэрозоля.

Ключевые слова: гетерогенное горение, огнетушащие порошки, аерозольно-порошковые огнетушащие средства, хлориды, карбонаты, огнетушащие аэрозоли.

V. M. Balanyuk, O. I. Garasymyuk

AEROSOL POWDER EXTINGUISHING AGENTS WITH GREATER EFFICIENCY QUENCHING DECAY

The basic laws of extinguishing solid combustible metals capable of flameless heterogeneous combustion are discussed in the article. The drawbacks of extinguishing powders as a means of suppressing corruption are analyzed. The necessity of developing new aerosol-powder extinguishing agents extended-spectrum with high efficiency of class A 1 fire extinguishing are theoretically argued in the paper. The possibilities of using various salts as the main components of extinguishing powders and aerosols, which would possess high heat-absorbing ability and show synergetic effect are analyzed.

Keywords: corruption, fire-extinguishing powder, aerosol powder extinguishing agents, teplopohlynayucha ability, synergy.

Постановка проблеми

Припинити горіння на пожежі – означає, припинити всі види горіння – гомогенне а особливо гетерогенне. Відомо що на пожежах відомі випадки поновлення горіння через продовження гетерогенного горіння твердих горючих речовин. Таким чином придушення вогнищ гетерогенного горіння є необхідним для запобігання виникненню повторного займання. В більшості випадків при порошковому гасінні необхідно забезпечити придушення джерел запалювання. Для припинення горіння необхідно припинити дію джерел займання.

При горінні речовин в різних агрегатних станах, джерелом запалювання найчастіше є полум'я і гасіння полум'я. Гасіння горючої рідини, у випадку рідини як правило, призводить до гасіння полум'я, але у випадку горіння твердої горючої речовини джерелом запалювання може бути як полум'я, так і вогнище гетерогенного горіння. [1]. Тому у випадку порошкового гасіння загасити полум'я, не завжди означає загасити пожежу. Вогонь продовжуватиме існувати у вигляді тліючих вогнищ. Таким чином актуальним завданням сьогодення є розроблення засобу комбінованого пожежогасіння з ефективним гасінням дифузійного та гетерогенного горіння в якому можливе поєднання переваг вогнегасних порошків та аерозолів.

Виклад основного матеріалу

Для визначення ефективних способів гасіння горіння твердих матеріалів необхідно розглянути етапи горіння твердих горючих речовин на прикладі деревини оскільки вона є найбільш поширеним горючим матеріалом на пожежах. Відомо [2], що горіння целюлозних матеріалів протікає в три етапи, що обумовлено їхніми особливостями, зокрема, більшість порід деревини містить в собі хімічно зв'язаний кисень, що обумовлює здатність тліти. Вміст кисню в різних породах коливається в незначних межах, зокрема в дубі міститься 38,18%, сосні – 39,2%, соломі – 42,2%, бавовні – 46,6%. Достатньо високий вміст кисню в деревині обумовлює її невисоку теплоту згоряння – в межах 30000 кДж/м³ [3]. Для стійкого горіння деревини необхідне її прогрівання на визначену глибину, що досягається завдяки випромінюванню енергії. Температура поверхні деревини при цьому сягає 250-300°C і різко збільшується інтенсивність горіння. При цьому поверхня деревини карбонізується та горить в гетерогенному режимі.

Температура вугілля піднімається до 500-700°C. Глибші шари, нагріваються до 300°C, піддаються піролізу і газоподібні продукти викидаються через тріщини назвні. Горіння переходить в наступну стадію – змішану, коли одночасно горять і верхній карбонізований шар деревини і газоподібні продукти піролізу. Піроліз сприяє горінню на пожежі, оскільки він забезпечує виділення газоподібних продуктів, які згоряють та дають високу температуру через інтенсивне випромінювання. Це сприяє швидкому поширенню полум'я і збільшенню площі пожежі. Гасіння деревини на цьому етапі горіння є ефективним, оскільки горить ще не карбонізований шар.

Далі товщина карбонізованого шару збільшується, зменшується потік газових продуктів розкладу, і в результаті цього полум'я горить лише над тріщинами в карбонізованому шарі. На інших ділянках деревини полум'я відсутнє і повітря безперешкодно потрапляє до поверхні деревини. В цей момент розпочинається гетерогенне горіння карбонізованого шару, яке протікає паралельно з дифузійним горінням продуктів піролізу.

Горіння продовжується до повного перетворення глибоких шарів деревини в вугілля, після чого вихід продуктів піролізу зупиняється, і відбувається тління карбонізованого залишку [2].

Отже умовою гасіння твердих горючих матеріалів класу А1, є зниження температури поверхні цих матеріалів до температури нижчої за температуру початку їх піролізного розкладу, в результаті вихід летких компонентів в зону горіння повинен значно зменшитись. Паралельно з цим потрібно забезпечувати ізоляцію осередків гетерогенного горіння. Одними з вогнегасних засобів, які володіють інгібувальним ефектом та здатні утворювати розплавлену ізолювальну плівку, є вогнегасні порошки.

Вогнегасний порошок – це суміш хлоридів, карбонатів, фосфатів металів – К, Na, Ca, Al і т.д. Найбільш поширеними компонентами вогнегасних порошків є солі калій, натрій карбонати та натрій бікарбонати, калій фосфати, калій хлориди, квасці, силіцій оксид, амоній фосфат, амоній сульфат і ін. До складу порошків входять також цільові та модифікувальні добавки - кремнійорганічні сполуки, аеросил, біла сажа, стеарати металів, нафталін, тальк та ін.

Аналіз багатьох груп дисперсних солей показав, що одні солі незначно впливають на ефективність гасіння, а деякі, навіть у невеликих концентраціях, різко знижують швидкість поширення полум'я. Солі, які діють через термічний вплив - Al_2O_3 , $MgSO_4$, K_2SO_4 , $KHCO_3$, $NaHCO_3$, чинять ефективну охолоджувальну дію. Інші солі діють набагато краще через значний інгібувальний ефект [4]. Автори роботи [5] при визначенні інгібувальної ефективності при спалахуванні метано-повітряної суміші встановили, що зменшення вогнегасної ефективності солей розміщується в такому порядку: $K_2C_2O_4 \cdot H_2O > NaCl > K_2Cr_2O_7 > KCl > K_2CO_3 > Na_2CO_3 > Na_2SO_4 > NaF > NaHCO_3$. В роботі [6] показано ряд солей щодо зниження їх інгібувальної здатності: $LiF > LiCl > NaF > KF > NaCl > KJ > NaJ > NaBr > KCl > K_2CO_3 > Na_2CO_3 > NaSO_4 > Al_2O_3 > CaCO_3$. Таким чином величина питомого теплопоглинання ряду теплофізичної ефективності речовин в порядку її зниження має наступний вигляд: $H_2O > NH_4Cl > NH_4Al(SO_4)_2 \cdot 12H_2O > (NH_4)_2SO_4 > CO(NH_2)_2 > NaHCO_3 > (NH_4)_2HPO_4 > Na_2SO_4 > CaCO_3 > Al_2O_3 > NaCl > nCl > \text{фреон 114B2} > KJ$. Отже, як зазначено вище, однією з необхідних умов припинення тління твердих горючих матеріалів є охолодження та ізоляція їх поверхні, з показаних вище солей практичний інтерес представляють саме ті речовини, які мають одночасно як інгібувальну так і теплопоглинальну здатність.

Але проблемною стороною застосування вогнегасних порошків є нездатність ефективного охолодження та утворення газонепроникного шару багатьма солями. В цьому полягає один із основних недоліків, який унеможливує їх використання для успішного гасіння пожеж класу А 1. Як було сказано раніше після гасіння порошком можливе повторне займання від нагрітих до високих температур предметів та продовження горіння прихованих вогнищ тління [7]. Дійсний охолоджувальний ефект порошку складає максимум 10-20% від загальної кількості тепла, що виділяється при горінні [8]. Порошкове пожежогасіння відбувається впродовж 5-60 секунд після подачі порошку в об'єм, що подеколи дорівнює часу подачі вогнегасного порошку в захищений об'єм. При порошковому гасінні вогнегасна концентрація порошку забезпечується протягом 5-30 секунд. Далі концентрація порошку зменшується і за наявності нагрітих конструкцій або прихованих вогнищ гетерогенного горіння можливе повторне займання горючої системи [9]. При інтенсивній пожежі після порошкового гасіння, вже через 20-30 секунд може відбутись повторне займання [1].

Таким чином ефективне об'ємне гасіння повинно включати вогнегасну дію як на дифузійне горіння, так і на гетерогенне горіння. Відповідно вогнегасний порошок має забезпечувати ефективне гасіння тління і його дисперсної фази полуменевого горіння, і при цьому не змінювати своїх властивостей при зберіганні протягом декількох років і бути завжди готовим до можливого застосування. Аналіз літератури показав, що більше половини досліджень в області гасіння порошками полягають в удосконаленні уже відомих і досліджених рецептур. Основною метою цих досліджень є пошук найбільш ефективного складу порошків, які б мали низьку вогнегасну концентрацію. В порошкових рецептурах доцільно замінити один з компонентів на аерозольний з метою отримання синергічного ефекту.

Відомо, що вогнегасні порошки за своїми властивостями подібні до вогнегасних аерозолів, які утворюються при згорянні аерозолеутворювальних сполук. В результаті згорання аерозолеутворювальних сполук утворюються ультрадисперсні солі калію, натрію або кальцію, або інших залежно від тих що входять в склад АУС і які ефективно можуть гасити полум'я протягом 20-30 хвилин.

Тому вирішенням поставленої задачі є розробка комбінованого вогнегасного засобу, який би поєднував вогнегасні переваги вогнегасного порошку та аерозолі. Це дало б змогу розширити спектр його використання, в основному для припинення гетерогенного горіння.

При одночасній подачі в захищений об'єм порошку та аерозолі перш за все відбудеться осідання порошку завдяки великим розмірам його частинок 20-60 мкм порівняно з розмірами частинок аерозолі – 1-10 мкм. Порошок осідаючи утворить шар, який зменшуватиме інтенсивність виходу летких компонентів в зону горіння та перешкоджатиме надходженню повітря до горючої поверхні. Таким чином тепло буде витрачатись на нагрівання частинок порошку і зона горіння охолоджуватиметься. До того ж, порошок контактуючи з нагрітою поверхнею буде термічно розкладатись, в результаті чого будуть утворюватись газоподібні продукти розкладу, які флегматизуватимуть горюче середовище.

При подачі аерозолі в об'єм він змішається з продуктами термічного розкладу порошоків (CO_2 , N_2 , H_2O , та ін.). Суміш інертних газів та вогнегасних аерозолів має підвищену вогнегасну [10] та флегматизувальну ефективність [11]. Так, при додаванні до вогнегасного аерозолі газів флегматизаторів, авторами [11] виявлено ефект синергізму у разі застосування бінарних сумішей вогнегасних аерозолів із вмістом неорганічних солей калію та газових вогнегасних речовин-розріджувачів (діоксид карбону або азот), який проявився у зниженні значень флегматизувальної концентрації газових горючих середовищ від 1,25 до 3,5 разів порівняно з концентрацією вогнегасних аерозолів, та більше ніж на порядок, порівняно з флегматизувальною концентрацією газових вогнегасних речовин.

В результаті над поверхнею вогнегасного порошку утворюватиметься газова суміш з вогнегасних речовин в твердій та газовій фазі.

При гасінні аерозольно-порошковою сумішшю постає питання сумісності елементів вогнегасного порошку та аерозолі, які утворюють суміш. Як вказано раніше, в результаті згорання АУС утворюється суміш карбонатно-хлоридних солей калію, кальцію чи натрію. Суть пошуку зводиться при цьому до пошуку солей, які б проявляли синергічний ефект стосовно згаданих солей і до того ж мали б високу теплопоглинальну здатність.

В Україні широко використовуються порошкові вогнегасні суміші на основі фосфату амонію та діафонію марок (П-2 П-4 АП, П-3 АПМ, Пірант-А, ПФ). Застосовуються також в якості порошоків хлориди металів (ПХ, ПХК, ПГС) і бікарбонатні суміші (ПСБ-3, ПСБ-3М) [8].

Автор праці [12] вказує, що фосфати є антагоністами з хлоридами та карбонатами, тому їх сумісна дія на полум'я буде можливо малоефективною. Антагонізм підтверджений для порошоків, що представляють суміші амоній гідрофосфат, та K_2SO_4 або $\text{K}_2\text{C}_2\text{O}_4$.

Експериментальні визначення ефективності гасіння полум'я бінарними сумішами солей з однаковими катіонами, а саме хлорид та бромід калію, хлорид та оксалат калію, хлорид та фтори натрію, показали їх адитивну вогнегасну дію. Також зменшується ефективність гасіння порошками, які складаються з солей з однаковими аніонами, а саме калій хлорид і натрій хлорид, калій хлорид і амоній хлорид. Але результати досліджень [12] сумішей NaHCO_3 і KHCO_3 , Na_2HPO_4 і K_2HPO_4 , $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ і K_2HPO_4 вказали на синергізм в усіх випадках. Зрозуміло, що вогнегасна ефективність залежить від дисперсності порошку, співвідношення компонентів. Автори [13] показали, що суміш солей - натрій бікарбонату та калій хлориду при співвідношенні 1:1 мають значно вищу вогнегасну ефективність в середовищах з надлишковою концентрацією кисню, ніж при застосуванні їх окремо.

Порошки, які мають в своєму складі хлориди, сульфати, фториди або оксалати володіють адитивною вогнегасною ефективністю. Попри те властивості багатокомпонентних сумішей, у які входять KCl і NaHCO_3 , натрій форміат, натрій ацетат, натрій фторид, натрій сульфат, є неадитивними щодо підвищення вогнегасної ефективності, відповідно вони є синергічними. При їх порівняно високій теплопоглинальній здатності їх можна використати як компоненти аерозольно-порошкових вогнегасних засобів.

Щодо підвищення ефективності гасіння гетерогенного горіння в аерозольно- порошкових композиціях, то доцільно збільшити вміст добавок сполук фосфатів, а саме - Na_2HPO_4 і K_2HPO_4 , $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ і K_2HPO_4 , які проявляють синергічний ефект. При цьому деякі автори вважають, що дані компоненти є антагоністами [14]. Але, якщо порівняти час осідання порошку з часом осідання аерозолю, то він є значно меншим. Після осідання основної маси вогнегасного порошку в об'ємі він буде придушувати гетерогенне горіння, а в повітрі в цей час залишиться аерозоль який гаситиме полум'я горіння.

Висновок: В роботі проаналізовано компонентний склад вогнегасних порошоків та теоретично обґрунтовано, що для підвищення ефективності гасіння гетерогенного горіння можна використовувати розглянуті солі в якості компонентів вогнегасного порошку у аерозольно-порошкових композиціях, дія порошкової частини яких вибірково спрямована на гасіння гетерогенного горіння. Застосування вказаних солей в якості компонентів аерозольно-порошкових композицій повинно значно підвищити ефективність гасіння ними пожеж класу А1. Використання запропонованого способу гасіння для поєднання переваг аерозольного та порошкового гасіння можливе в пристрої стаціонарних та переносних пристроях пожежогасіння, модулях, вогнегасниках і т.д.

Список літератури

1. Абдурагимов И.М., Говоров В.Ю., Макаров В.Е. Физико-химические основы развития и тушения пожаров. – М.: ВПТШ МВД СССР, 1980. – 255 с.
2. Демидов П.Г., Шандыба В.А., Щеглов П.П. Горение и свойства горючих веществ. – М.: Химия, 1981. – 272 с.
3. Баратов А.Н., Иванов Е.Н., Корольченко А.Я. Пожарная безопасность. Взрывобезопасность. Справочн. изд. – М.: Химия, 1987. – 269 с.
4. Баратов А.Н., Иванов Е.Н. Пожаротушение на предприятиях химической и нефтеперерабатывающей промышленности. – М.: Химия, 1979. – 368 с.
5. Баратов А.Н., Вогман Л.П. Огнетушащие порошковые составы. – М.: Стройиздат, 1982. – 72 с.
6. Шевцов Н.Р. Взрывозащита горных выработок при их строительстве (конспект лекций): Учебное пособие. – Донецк: Новый мир, 1998. – 329 с.
7. Авакимов С.С., Булгаков В.П., Бушуй М.И. и др. Технические средства и способы тушения пожаров. – М.: Энергоиздат, 1981. – 256с.
8. Сабинин О.Ю., Агаларова С.М. Огнетушащие порошки. Проблемы. Состояние вопроса // Пожаровзрывобезопасность. – 2007. – №6. – С.63-68.
9. Долговидов А.В., Сабинин О.Ю. Автоматические средства подачи огнетушащих порошков // Пожаровзрывобезопасность. – 2008. – №1. – С.62-67.
10. Баланюк В.М., Грималюк Б.Т., Кіт Ю.В., Левуш С.С. Влияние газовой фазы на эффективность вогнегасних аерозолів // Вісник НУ “Львівська політехніка”. – 2004. – №497. – С. 102-104.
11. Журбинський Д. А. Вплив виду аерозольотворювальних сполук на основі солей калію та добавок інертних газів на флегматизувальну ефективність аерозолю / В. М. Баланюк, Д. А. Журбинський, А. С. Лин // Пожежна безпека: зб. наук. праць. – Л.: ДЛУБЖД, 2013. – № 22. – С. 7-11.
12. Особливості гасіння твердих та рідких горючих речовин вогнегасним аерозолем на основі солей калію. // Пожежна безпека: Збірник наукових праць. – №12. – 2008. – С. 60-65.
13. Шкарабура М.Г., Маладика І.Г., Дядченко О.І. Взаємний вплив вогнегасних порошоків на інгібування процесу горіння. // Проблеми пожежної безпеки. – Харків: Фолио, 2003. – Вып. 14. – С. 230-234.
14. 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, 2003, №2. С. 5-10.

References

1. Abdurahymov Y.M., Hovorov V.Yu., Makarov V.E. *Fyzyko-khymycheskiye osnovy razvytyya y tushenyaya pozharov.* – M.: VPTSh MVD SSSR, 1980. – 255 s.
2. Demydov P.H., Shandyba V.A., Shcheglov P.P. *Horenye y svoystva horyuchykh veshchestv.* – M.: Khymyya, 1981. – 272 s.
3. Baratov A.N., Yvanov E.N., Korol'chenko A.Ya. *Pozharnaya bezopasnost'. Vzryvobezopasnost'. Spravochn. yzd.* – M.: Khymyya, 1987. – 269 s.
4. Baratov A.N., Yvanov E.N. *Pozharotushenye na predpryyatyyakh khymycheskoy y neftepererabatyvayushchey promyshlennosti.* – M.: Khymyya, 1979. – 368 s.
5. Baratov A.N., Vohman L.P. *Ohnetushashchye poroshkovye sostavy.* – M.: Stroyizdat, 1982. – 72 s.
6. Shevtsov N.R. *Vzryvozhachyta hornykh vyrabotok pry ykh stroytel'stve (konspekt lektsyy): Uchebnoe posobyie.* – Donetsk: Novyy myr, 1998. – 329 s.
7. Avakymov S.S., Bulhakov V.P., Bushuy M.Y. y dr. *Tekhnicheskiye sredstva y sposobu tushenyaya pozharov.* – M.: Enerhoizdat, 1981. – 256s.
8. Sabynyn O.Yu., Ahalarova S.M. *Ohnetushashchye poroshky. Problemu. Sostoyanye voprosa // Pozharovzrubblebezopasnost'.* – 2007. – #6. – S.63-68.
9. Dolhovydov A.V., Sabynyn O.Yu. *Avtomatycheskiye sredstva podachy ohnetushashchykh poroshkov // Pozharovzrubblebezopasnost'.* – 2008. – #1. – S.62-67.
10. Balanyuk V.M., Hrymalyuk B.T., Kit Yu.V., Levush S.S. *Vlyv hazovoyi fazy na efektyvnist' vohnehasnykh aeropoliv // Visnyk NU "L'vivs'ka politekhnika".* – 2004. – #497. – S. 102-104.
11. Zhurbyns'kyy D. A. *Vplyv vydu aeropol'utvoryval'nykh spoluk na osnovi soley kaliyu ta dobavok inertnykh haziv na flehmatyzoval'nu efektyvnist' aeropolu / V. M. Balanyuk, D. A. Zhurbyns'kyy, A. S. Lyn // Pozhezhna bezpeka: zb. nauk. prats'.* – L.: DLUBZhD, 2013. – # 22. – S. 7-11.
12. *Osoblyvosti hasinnya tverdykh ta ridkykh horyuchykh rehovyn vohnehasnym aeropolom na osnovi soley kaliyu. // Pozhezhna bezpeka: Zbirnyk naukovykh prats'.* – #12. – 2008. – S. 60-65.
13. Shkarabura M.H., Maladyka I.H., Dyadchenko O.I. *Vzayemnyy vplyv vohnehasnykh poroshkiv na inhibuvannya protsesu horinnya. // Problemu pozharnoy bezopasnosti.* – Khar'kov: Folyo, 2003. – Vup. 14. – S. 230-234.
14. Zhartovs'ky`j V.M., Otkidach M.Ya., Czapko Yu.V., Tropinov O.G. *Doslidzhennya z vy`znachennya vognegasnoyi efekty`vnosti sumishej ingibitoriv gorinnya ta inertny`x rozridzhuvachiv. Naukovy`j visny`k,* 2003, #2. S. 5-10.

