

В.М. Баланюк<sup>1</sup>, канд. техн. наук, доцент, Е.М. Улинець<sup>2</sup>, О.І. Лавренюк<sup>1</sup>, канд. техн. наук,  
Ю.М. Марусяк<sup>3</sup>

(<sup>1</sup>Львівський державний університет безпеки життєдіяльності,  
<sup>2</sup>Державна інспекція техногенної безпеки,  
<sup>3</sup>ГУ МНС України у Львівській області)

## АЕРОЗОЛЬНО-ПОРОШКОВІ ВОГНЕГАСНІ РЕЧОВИНИ З ПІДВИЩЕНОЮ ЕФЕКТИВНІСТЮ ГАСІННЯ ТЛІННЯ

Розглянуто основні закономірності припинення горіння твердих горючих матеріалів, здатних до гетерогенного безполуменевого горіння. Проаналізовано недоліки використання вогнегасних порошків як засобів придушення тління. Теоретично обґрунтовано необхідність розробки нових аерозольно-порошкових вогнегасних засобів розширеного спектру дії з високою ефективністю гасіння пожеж класу А І. Проведено аналіз можливості використання різних солей як основних компонентів вогнегасного порошку і аерозолю, які б володіли високою теплопоглинальною здатністю та проявляли би ефект синергізму.

**Ключові слова:** тління, вогнегасні порошки, аерозольно-порошкові вогнегасні засоби, теплопоглинальна здатність, синергізм.

**Постановка проблеми.** Гасіння пожежі – це, насамперед, припинення процесу горіння у всіх його проявах, тобто створення в зоні горіння умов, які виключили б можливість продовження процесу горіння в будь-якій формі (полуменевого горіння, жевріння, тління). Оскільки умовами виникнення пожежі та поширення полум'я є наявність горючої речовини, окисника та джерела запалювання, то припинення горіння відбувається при вилученні одного із вказаних компонентів. Найчастіше гасіння пожеж досягається шляхом припинення дії джерела запалювання [1].

Однак, якщо у випадку горіння рідин, джерелом запалювання найчастіше є факел полум'я і придушення полуменевого горіння у вогнищі пожеж такого класу, як правило, призводить до гасіння пожежі, то при горінні твердих горючих матеріалів джерелами запалювання може бути як дифузійне полум'я, так і осередки гетерогенного горіння та тління [2]. Тому припинити полуменеве горіння твердих горючих матеріалів, навіть на досить тривалий час, не означає загасити пожежу. Вона продовжуватиметься за механізмом безполуменевого горіння (яке може бути досить інтенсивним) – тління.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Для визначення оптимальних шляхів гасіння горіння твердих матеріалів необхідно розглянути етапи горіння твердих горючих речовин на прикладі деревини оскільки вона є найбільш поширеним горючим матеріалом на пожежах. Як відомо [3], горіння целюлозних матеріалів протікає в три етапи, що обумовлено їхніми фізико-хімічними особливостями, зокрема, більшість порід деревини містить в собі хімічно зв'язаний кисень, що обумовлює здатність тліти. Кількість хімічно зв'язаного кисню в різних породах коливається в незначних межах, а саме в дубі міститься 38,18%, сосні – 39,2%, а, наприклад, у соломі – 42,2%, бавовні – 46,6%. Такий значний вміст кисню в целюлозних матеріалах обумовлює їхню невисоку теплоту згоряння – в межах 30000 кДж/м<sup>3</sup> [4]. Для досягнення стійкого горіння деревини необхідно, щоб деревина прогрілась на визначену глибину, що досягається за рахунок випромінювання енергії полум'ям з зони горіння. При цьому температура досягає 250-300°C, вихід газоподібних горючих компонентів є максимальним і висота полум'я найбільшою. Далі верхній шар поступово перетворюється на деревне вугілля, яке в даних умовах не горить, оскільки кисень повітря весь вступає в реакцію в зоні горіння полум'я. З часом вугілля нагрівається до температури 500-700°C. Розташовані нижче шари, нагріваючись до 300°C, теж починають розкладатися. Отже, при утворенні на поверхні деревини невеликого шару деревного вугілля полуменеве горіння не припиняється, тобто на цій стадії горіння протікає за гомогенним механізмом. Саме ця стадія є визначальною в умовах пожежі, оскільки вона супроводжується виділенням великої кількості продуктів згорян-

ня, нагрітих до високої температури, та інтенсивним випромінюванням. Це сприяє швидкому поширенню полум'я і збільшенню площі пожежі. На цій стадії горіння деревини гасіння буде найефективнішим, оскільки горіння ще не перейшло у фазу гетерогенного горіння.

Надалі шар вугілля на поверхні збільшується, зменшується вихід продуктів розкладу, в результаті чого полум'я вже не охоплює всієї поверхні, а залишається лише в місцях тріщин вугілля. В інших ділянках полум'я вже немає і кисень поступає до поверхні вугілля. Власне в цей момент і розпочинається гетерогенне горіння вугілля, яке протікає одночасно з гомогенним горінням продуктів розкладу.

Цей процес продовжується до повного перетворення деревини в вугілля, після чого вихід газоподібних продуктів розкладу деревини припиняється, а продовжується лише гетерогенне горіння вугілля [3].

Тому умовами припинення горіння твердих горючих матеріалів, здатних до гетерогенного горіння, є зниження температури цих матеріалів нижче за температуру початку їх піролітичного розкладу, в результаті чого знизиться вихід летких компонентів в зону горіння, та ізолювання осередків жевріння та тління. Одними з вогнегасних засобів, які мають одночасно інгібувальний ефект та здатність утворювати розплавлену ізолюючу плівку, є вогнегасні порошки.

Як відомо, вогнегасні порошки – це дисперсні суміші хімічних речовин. Головними компонентами вогнегасних порошоків є солі металів, здебільшого це калій, натрій карбонати та натрій бікарбонати, калій фосфати, калій хлориди, квасці, силіцій оксид, амоній фосфат, амоній сульфат і ін. До складу порошоків входять також добавки (кремнійорганічні сполуки, аеросил, біла сажа, стеарати металів, нафталін, тальк та ін.).

Дослідження великої групи солей у вигляді порошку показало, 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  $Al_2O_3$ ,  $CuO$ ,  $CuSO_4$ , призводять до гасіння полум'я лише завдяки його охолодженню. Інша група порошоків діє значно ефективніше завдяки значній інгібувальній здатності [5]. В роботі [6] при дослідженні інгібування спалахування метано-повітряної суміші встановили, що за зменшенням вогнегасної ефективності досліджувані солі розташовуються у такому порядку:  $K_2C_2O_4 \cdot H_2O > NaCl > K_2Cr_2O_7 > KCl > K_2CO_3 > Na_2CO_3 > Na_2SO_4 > NaF > NaHCO_3$ . Автори роботи [7] представили такий ряд солей в порядку зниження їх інгібувальної ефективності:  $LiF > LiCl > NaF > KF > NaCl > KJ > NaJ > NaBr > KCl > K_2CO_3 > Na_2CO_3 > NaSO_4 > Al_2O_3 > CaCO_3$ . Враховуючи величину питомого теплопоглинання ряд теплофізичної ефективності речовин в порядку її зниження виглядає так:  $H_2O > NH_4Cl > NH_4Al(SO_4)_2 \cdot 12H_2O > (NH_4)_2SO_4 > CO(NH_2)_2 > NaHCO_3 > (NH_4)_2HPO_4 > Na_2SO_4 > CaCO_3 > Al_2O_3 > NaCl > nCl > \text{фреон 114B2} > KJ$ . Оскільки, як зазначено вище, однією з необхідних умов припинення гетерогенного безполуменевого горіння твердих горючих матеріалів є охолодження їх поверхні, то з представлених вище солей практичний інтерес представляють саме ті речовини, які мають як високу інгібувальну так і теплопоглинальну здатність.

Однак, власне низька охолоджувальна здатність та нездатність утворювати газонепроникний шар багатьох порошоків є одним із основних недоліків, що унеможлиблює їх використання для успішного гасіння пожеж класу А 1. При порошковому гасінні можливі повторні спалахи від нагрітих до високих температур предметів та прихованих вогнищ тління [8]. Реальний охолоджуючий ефект порошку становить не більше 10-20% від загальної кількості тепла, що виділяється при горінні [9]. Порошок подається, як правило, протягом 5-30 секунд (що дорівнює часу виходу вогнегасного порошку з резервуара), гасіння пожежі відбувається вже через 2-8 секунд після подачі вогнегасного порошку. Потім відбувається самостійне охолодження конструкцій. Вогнегасна концентрація порошку утримується не більше 5 секунд. Надалі концентрація порошку знижується і за наявності конструкцій, які мають температуру вищу за температуру займання горючих матеріалів, або прихованих осередків тління можливе повторне займання [10]. 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 [2].

**Постановка завдання.** В поставленій нами задачі вогнегасний засіб повинен ефективно гасити насамперед тління і полуменеve горіння, а також не змінювати своїх властивостей при зберіганні протягом декількох років і бути завжди готовим до негайного застосування.

**Виклад основного матеріалу.** Проведений аналіз літературних джерел свідчить про те, що більшість розробок в області порошкового пожежогасіння полягає не в створенні нових, а в удосконаленні уже добре відомих і апробованих рецептур. Їх метою є пошук найбільш оптимального складу порошоків, який би забезпечував максимальну вогнегасну ефективність та універсальність застосування. Іншим шляхом підвищення вогнегасної здатності порошоків є створення вогнегасних композицій (сумішей), в склад яких входять дві різні активні складові (створення двокомпонентних складів (заміна основного компонентна іншим із посиленням їх спільної дії – синергізму) – створення бінарних сумішей).

Дуже схожими до вогнегасних порошоків за своїми вогнегасними характеристиками є вогнегасні аерозолі, які утворюються при згорянні аерозолеутворюючих речовин. В результаті утворюються ультрадисперсні солі калію, рідше натрію або кальцію, які ефективно можуть гасити полум'я протягом 20-30 хвилин.

Тому новим підходом до вирішення поставленої задачі є розробка такого вогнегасного засобу, у якому буде поєднано переваги вогнегасного порошку та аерозолі, що дасть змогу розширити спектр його використання, в тому числі для припинення гетерогенного горіння.

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

Перебуваючи над поверхнею осілого порошку аерозоль буде змішуватися з продуктами розкладу порошку ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ , та ін.). Відомо [11], що суміш газів та аерозолів має підвищену вогнегасну ефективність. Так, при додаванні до вогнегасного аерозолі газів флегматизаторів мінімальна вогнегасна концентрація зменшується приблизно на 40% [12]. Таким чином над поверхнею вогнегасного порошку утворюватиметься газовий пропарок з підвищеною концентрацією вогнегасних речовин, що буде сприяти активному та ефективному гасінню дифузійного горіння та флегматизувати горюче середовище.

При застосуванні аерозольно-порошкового пожежогасіння виникає питання сумісності компонентів вогнегасного порошку та аерозолі, які одночасно перебуватимуть у повітрі. Як зазначено вище, в результаті згорання аерозолеутворюючих речовин зазвичай утворюються карбонатно-хлоридні солі калію, рідше кальцію чи натрію. Тому вирішення описаного питання зводиться до пошуку таких солей, – головних компонентів порошоків, які б проявляли синергічний ефект по відношенню до згаданих солей і до того ж мали високу теплопоглинальну здатність.

У нашій країні широко використовуються порошкові вогнегасні склади на основі амоній і діамоній фосфатів (П-2 АП, П-4 АП, П-3 АПМ, Пірант-А, ПФ). Застосовуються також порошки на основі хлоридів металів (ПХ, ПХК, ПГС) та на основі натрію бікарбонату (ПСБ-3, ПСБ-3М).

Відомо [1, 13], що фосфати є антагоністами з хлоридами та карбонатами, тому їх сумісна дія на полум'я буде неефективною. Явище антагонізму підтверджене для сумішей солей, одним з компонентів яких є амоній гідрофосфат, а іншим – порошки таких солей як  $\text{K}_2\text{SO}_4$  та  $\text{K}_2\text{C}_2\text{O}_4$ .

Дослідження ефективності придушення полум'я бінарними сумішами солей з однойменними катіонами, наприклад,  $\text{KCl-KBr}$ ,  $\text{KCl-K}_2\text{C}_2\text{O}_4$ ,  $\text{NaCl-NaF}$ , підтвердили їх адитивність. Неадитивно, але в бік зниження, змінюється ефективність придушення полум'я сумішами, що складаються з солей з однойменними аніонами калій хлорид і натрій хлорид, калій хлорид і амоній хлорид. Проте результати досліджень таких бінарних сумішей як  $\text{NaHCO}_3$  і

$\text{KHCO}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$  і  $\text{K}_2\text{HPO}_4$ ,  $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$  і  $\text{K}_2\text{HPO}_4$  підтвердили явище синергізму для усіх варіантів [13]. Виявлений ефект синергізму залежить як від дисперсності порошку, так і від співвідношення компонентів в суміші. В роботі [14] показано, що суміші із порошків на основі натрій бікарбонату та калій хлориду при співвідношенні 1:1 володіють значно вищою ефективністю при пожежогаєнні в збагачених киснем середовищах, аніж при застосуванні їх окремо в тих же цілях.

Компоненти сумішей порошків, які містять  $\text{KCl}$  і  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ,  $\text{KCl}$  і  $(\text{NH}_4)_2\text{SiF}_6$ ,  $\text{KCl}$  і  $(\text{NH}_4)_2\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6$ ,  $\text{KCl}$  і  $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}$ , адитивно впливають на процес гасіння. Разом з тим властивості бінарних сумішей, які містять калій хлорид і натрій гідрокарбонат, натрій формиат, натрій ацетат, натрій фторид, натрій сульфат підсумовуються неадитивно в сторону підвищення ефективності гасіння полум'я, тобто для них відбувається ефект синергізму. Враховуючи порівняно високу теплопоглинальну здатність цих солей доцільно було б випробувати їх на можливість використання як основних компонентів аерозолепорошкових вогнегасних засобів.

Високі теплопоглинальні властивості мають сполуки магнію та купруму. Із сполук купруму в якості добавок, як компонентів вогнегасних порошків інтерес представляють такі солі, як мідний купорос, хлорид та карбонат міді [15]. При нагріванні пентагідрат міді  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  відщеплює дві молекули води, переходячи в тригідрат  $\text{CuSO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ , потім в моногідрат ( $110^\circ\text{C}$ )  $\text{CuSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ , і вище  $258^\circ\text{C}$  утворюється безводна сіль. Термічне розкладання стає помітним вище  $650^\circ\text{C}$  та протікає таким чином  $2\text{CuSO}_4 \rightarrow (t) 2\text{CuO} + 2\text{SO}_2\uparrow + \text{O}_2\uparrow$ . Заслужують на увагу також хлорид та карбонат міді. Монохлорид міді плавиться і кипить без розкладання. При нагріванні навіть в киплячій воді втрачає воду і перетворюється на оксид міді(I)  $\text{Cu}(\text{OH})_2 \rightarrow (t) \text{CuO} + \text{H}_2\text{O}$ . Карбонат міді також нестійкий і при нагріванні розкладається:  $\text{CuCO}_3 \rightarrow (t) \text{CuO} + \text{CO}_2$

Зі сполук магнію необхідно розглянути хлорид магнію – в природі бішофіт. Сам хлорид магнію представляє собою безбарвні кристали з густиною  $2,316 \text{ г/см}^3$ , температурою плавлення  $713^\circ\text{C}$ , температурою кипіння  $1412^\circ\text{C}$ . Хлорид магнію надзвичайно гігроскопічний; розчинність у воді при  $20^\circ\text{C}$  становить 35,3% за масою. В інтервалі температур від 3,4 до  $116,7^\circ\text{C}$  утворює стійкий гідрат  $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ . Описано [16] можливість використання водного розчину бішофіту як ефективного засобу гасіння лісових пожеж. Розчин бішофіту є ефективним антипіреном для деревини.

**Висновки.** Таким чином хлорид магнію та вищевказані сполуки міді потребують подальших досліджень їх вогнегасної ефективності при гасінні гетерогенного горіння. Виникає необхідність дослідити доцільність використання зазначених солей у вигляді добавки до розглянутих вогнегасних порошків.

#### Список літератури:

1. **Вогнегасні речовини:** Посібник / Антонов А.В., Боровиков В.О., Орел В.П., Жартовський В.М., Ковалишин В.В. – К.: Пожінформтехніка, 2004. – 176 с.
2. **Абдурагимов И.М.,** Говоров В.Ю., Макаров В.Е. Физико-химические основы развития и тушения пожаров. – М.: ВГТЦ МВД СССР, 1980. – 255 с.
3. **Демидов П.Г.,** Шандыба В.А., Щеглов П.П. Горение и свойства горючих веществ. – М.: Химия, 1981. – 272 с.
4. **Баратов А.Н.,** Иванов Е.Н., Корольченко А.Я. Пожарная безопасность. Взрывобезопасность. Справочн. изд. – М.: Химия, 1987. – 269 с.
5. **Баратов А.Н.,** Иванов Е.Н. Пожаротушение на предприятиях химической и нефтеперерабатывающей промышленности. – М.: Химия, 1979. – 368 с.
6. **Баратов А.Н.,** Вогман Л.П. Огнетушащие порошковые составы. – М.: Стройиздат, 1982. – 72 с.
7. **Шевцов Н.Р.** Взрывозащита горных выработок при их строительстве (конспект лекций): Учебное пособие. – Донецк: Новый мир, 1998. – 329 с.
8. **Авакимов С.С.,** Булгаков В.П., Бушуй М.И. и др. Технические средства и способы тушения пожаров. – М.: Энергоиздат, 1981. – 256с.

9. **Сабинин О.Ю.,** Агаларова С.М. Огнетушащие порошки. Проблемы. Состояние вопроса // Пожаровзрывобезопасность. – 2007. – №6. – С.63-68.
10. **Долговидов А.В.,** Сабинин О.Ю. Автоматические средства подачи огнетушащих порошков // Пожаровзрывобезопасность. – 2008. – №1. – С.62-67.
11. **Баланюк В.М.,** Грималюк Б.Т., Кіт Ю.В., Левуш С.С. Влияние газовой фазы на эффективность огнегасящих аэрозолей // Вісник НУ “Львівська політехніка”. – 2004. – №497. – С. 102-104.
12. **Баланюк В.М.,** Лавренюк О.І., Гарасимюк О.І., Галошюк О.Я. Особенности тушения твердых и жидких горючих веществ огнегасящим аэрозолем на основе солей калия. // Пожежна безпека: Збірник наукових праць. – №12. – 2008. – С. 60-65.
13. **Шкарабура М.Г.,** Маладика І.Г., Дядченко О.І. Взаємний вплив огнегасящих порошків на інгібування процесу горіння. // Проблемы пожарной безопасности. – Харьков: Фолио, 2003. – Вып. 14. – С. 230-234.
14. **Тищенко А.М.** Экспериментальное обоснование применения порошков для пожаротушения в кислородообогащенных средах // Проблемы пожарной безопасности. Специальный выпуск. – Харьков: ХИПБ МВД Украины. – 1999. – С.31-32.
15. **И.Т. Горюновский,** Ю.П. Назаренко, Е.Ф. Некряч. Краткий справочник по химии. – Издательство Академии наук Украинской ССР, 1962. – 659с.
16. <http://www.bischofite.com.ua>

*В.М. Баланюк, Э.М. Улинець, Е.И. Лавренюк, Ю.М. Марусяк*

### АЭРОЗОЛЬНО-ПОРОШКОВЫЕ ОГNETУШАЩИЕ ВЕЩЕСТВА С ПОВЫШЕННОЙ ЭФФЕКТИВНОСТЬЮ ТУШЕНИЯ ТЛЕНИЯ

Рассмотрены основные закономерности прекращения горения твердых горючих металлов, способных к гетерогенному беспламенному горению. Проанализированы недостатки использования огнетушащих порошков как средств подавления тления. Теоретически обоснована необходимость разработки новых аэрозольно-порошковых огнетушащих средств расширенного спектра действия с высокой эффективностью тушения пожаров класса А 1. Проведен анализ возможности использования различных солей как основных компонентов огнетушащего порошка и аэрозоля, которые бы обладали высокой теплопоглощающей способностью и проявляли эффект синергизма.

*Ключевые слова:* тление, огнетушащие порошки, аэрозольно-порошковые огнетушащие средства, теплопоглощающая способность, синергизм.

*V.M. Balanyuk, E.M. Ulynets, O.I. Lavrenyuk, Yu.M. Marusyak*

### AEROSOL POWDER EXTINGUISHING AGENTS WITH GREATER EFFICIENCY QUENCHING DECAУ

The basic laws of suspension burning of solid combustible metals capable of flameless heterogeneous combustion are seen 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 fire extinguishing class A 1 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 showed synergetic effect are analyzed.

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