

3. *Справочник. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Справ. Изд. В 2 книгах. –М. Химия, 1990.*
4. *Ксандопуло Г. И., Чувашева С. П., Гибов К. М. Влияние комплексных соединений олова, сурьмы и меди с аминами на горючесть эпоксидных смол // Материалы совещания по механизму ингибирования цепных газовых реакций. – Алма-Ата. -1971. С. 229-235.*
5. *J.B. Hiskey and V.P.Atluri // Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review. -1988. V. 4. -P. 95-134.*
6. *Патент № 25459А Україна, МКІ С30В 7/12, С30В 7/14. Спосіб одержання монокристалів π -комплексів галогенідів міді(I) / Михалічко Б.М., Миськів М. Г. (Україна); № 95073217; Заявл. 10.07.95; Опубл. 30.10.98; Бюл. № 4. -2 с.*
7. *Аксельруд Л. Г., Гринь Ю. Н., Завалий П. Ю., и др. Пакет программ для структурного анализа кристаллов - CSD. Общие описание. Львов, -1990.*
8. *Desiraju G. R. Hydrogen Bridges in Crystal Engineering. Interaction without Borders. // Acc. Chem. Res. -2002. Vol. 35. -P. 565-573.*
9. *Dyason J. C., Engelhardt L. M., Healy P. C., Pakawatchai C., White A. H. Bis((μ_2 -Chloro)-bis(2-methylpyridine-N)-copper(I)), bis((μ_2 -Chloro)-bis(2,4-dimethylpyridine-N)-copper(I)) // Inorg.Chem. -1985. Vol. 24. -P. 1950-1957.*
10. *Dyason J. C., Engelhardt L. M., Healy P. C., Pakawatchai C., White A. H. (N-pyridine-chloro-copper(I)) // Inorg. Chem. -1985. Vol. 25. -P. 1945-1951.*
11. *Healy P. C., Kildea J. D., Skelton B. W., White A. H. Catena((μ_2 -Chloro)-(acridine-N)-copper(I), Catena((μ_2 -Chloro)-(2,6-dimethylpyridil-N)-copper(I)) // Aust. J. Chim. -1989. Vol. 42. -P. 115-123.*

УДК 614.844; 614.845

В.М. Баланюк, к.т.н., О.І. Лавренюк, к.т.н. (Львівський державний університет безпеки життєдіяльності), О.І. Гарасимюк (ГУ МНСУ в м. Києві), О.Я. Галонько (ДВЛ ГУ МНСУ в Львівській області)

ОСОБЛИВОСТІ ГАСІННЯ ТВЕРДИХ ТА РІДКИХ ГОРЮЧИХ РЕЧОВИН ВОГНЕГАСНИМ АЕРОЗОЛЕМ НА ОСНОВІ СОЛЕЙ КАЛІЮ

Для в'яснення механізмів гасіння вогнегасними аерозолями на основі солей калію горючих речовин в різних агрегатних станах було проведено досліді по гасінню твердих горючих речовин та горючих рідин. Встановлено, що на час гасіння суттєво впливає швидкість утворення горючих продуктів розкладу та випаровування. Запропоновано використовувати потенціал горючості для більш легкого та надійного визначення вогнегасної концентрації аерозолю.

На даний час вирішення проблем гасіння пожеж в огороженні на початкових стадіях їх виникнення без нанесення вагомої шкоди матеріальним цінностям, які знаходяться в приміщенні, набуває все більшої актуальності. Забезпечення належного стану пожежної безпеки на об'єкті напряму залежить від наявних засобів пожежогасіння на ньому. Останнім часом все частіше при гасінні пожеж застосовують аерозольні засоби. Вогнегасний аерозоль утворюється при згорянні аерозолеутворюючої сполуки (АУС). Так як основним вогнегасним компонентом аерозолю є суміш наддрібних твердих частинок, тому в науковій літературі механізм припинення горіння аерозолями трактується в основному подібно до механізму припинення горіння вогнегасними порошками, які є засобами об'ємного пожежогасіння. Однак в порівнянні з іншими засобами об'ємного пожежогасіння, аерозолеві

засоби характеризуються вищими технічно-експлуатаційними показниками. Найважливіші з них: вогнегасна ефективність аерозоліу набагато перевищує ефективність порошкових засобів пожежогасіння, для зберігання аерозолеутворюючих зарядів не потрібно посудин під тиском, твердопаливний аерозолеутворюючий заряд та вогнегасний аерозоль, що утворюється, – екологічно безпечні (озононеруйнівні) та нетоксичні.

Відомо, що засоби об'ємного пожежогасіння проявляють різну флегматизуючу та вогнегасну концентрації по відношенню до дифузійного полум'я різних речовин. Це обумовлено як відмінністю в механізмах перебігу реакцій горіння, так і кількістю тепла, що виділяється тією чи іншою речовиною під час горіння.

Щодо взаємодії аерозолів з дифузійним полум'ям різних речовин, то в науковій літературі ця інформація дуже обмежена. Більш систематично це питання висвітлено в роботі [1], але із представлених в цій роботі результатів випливає, що мінімальна вогнегасна концентрація аерозолів дуже мало залежить від природи горючої речовини і від параметрів полум'я.

Тому процес гасіння горючих речовин в різних агрегатних станах за допомогою вогнегасних аерозолів на даний час викликає великий інтерес як з наукової, так і з практичної точки зору. Особливо цікавим є виявлення характеру взаємодії аерозоліу з дифузійним полум'ям твердих речовин та рідин. З огляду на це, нами було проведено ряд досліджень для встановлення поведінки полум'я при горінні твердих горючих речовин (ТГР) та горючих рідин (ГР) під впливом вогнегасного аерозоліу.

Об'єктами досліджень були тверді горючі матеріали – бруски ДВП та деревини (сосна) з розміром $100 \times 10 \times 10$ мм. Вологість зразків становила 8%. З широкого спектру рідких горючих речовин для досліджень обрали окремі представники гомологічного ряду парафінових (гексан, гептан, октан, нонан) та ароматичних вуглеводнів (бензол, толуол, ксилол), а також деякі спирти (метанол, етанол, бутанол). Гасіння горіння вказаних вище речовин і матеріалів проводили за допомогою вогнегасного аерозоліу, який одержували в результаті спалювання аерозолеутворювальної сполуки (АУС), що містила 20% ідітолу, решта – нітрат та перхлорат калію.

Експериментальні дослідження проводили за наступною методикою. Одночасно підпалювали два однакові зразки деревини або ДВП, причому бруски розташовували у вертикальному положенні. Через 60 с після підпалювання ТГР в камері об'ємом 11,7 л підпалювали наважку АУС. Час розгоряння зразків ТГР становив 120 с на відкритому просторі, після чого один зразок поміщали в камеру з аерозолем, а інший залишали на відкритому просторі з необмеженим доступом повітря.

Проводили спостереження за поведінкою полум'я в камері. Після внесення палаючого зразка в камеру спочатку відбувалося видовження полум'я на 20-60 мм відносно площини поверхні ТГР, а потім полум'я переходило в пульсуючий режим. В подальшому відбувалось зменшення висоти полум'я і повне погасання протягом деякого часу. При гасінні ТГР візуально не спостерігали відриву полум'я. В момент погасання полум'я в камері вимушено припиняли полуменево горіння зразка на відкритому просторі. Після припинення полуменевого горіння на деяких ділянках ТГР протягом тривалого часу спостерігалось тління.

За допомогою секундоміра вимірювали час з моменту згасання полуменевого горіння на двох зразках до повного припинення тління (час гасіння тління). За результат досліджень приймали середньоарифметичне значення, отримане на основі не менше 4 вимірів. Результати визначення часу гасіння тління ТГР наведено в таблиці 1.

Результати експерименту показали, що тривалість тління зразків на відкритому просторі та у камері під дією вогнегасного аерозоліу не відрізняється, тобто тління в обох випадках припинялося самостійно. Таким чином можна сказати, що аерозоль не впливає на тривалість тління, що добре узгоджується з думкою авторів [2]. Це, ймовірно, пов'язано з явищем термофорезу [3].

Час гасіння тління ТГР

№	Горючий матеріал	Час гасіння тління, с	Маса АУС, г	Примітка
1	Дерево (сосна)	150	0,4	
2	Дерево (сосна)	158	–	без вогнегасного аерозолю
3	Дерево(сосна)	160	0,8	
4	Дерево(сосна)	168	–	без вогнегасного аерозолю
5	ДВП	226	0,4	
6	ДВП	223	–	без вогнегасного аерозолю
7	ДВП	254	0,8	
8	ДВП	256	–	без вогнегасного аерозолю
9	ДВП	252	1,7	
10	ДВП	258	–	без вогнегасного аерозолю

Отже, можна зробити висновок, що вогнегасний аерозоль є неефективним при гасінні пожеж класу А₁, але ефективно гасить горіння твердих горючих речовин та горючих рідин на початкових стадіях, про що свідчать результати експериментальних досліджень, наведені в роботі [4].

Для встановлення характеру гасіння горіння горючих рідин за допомогою вогнегасного аерозолю використовували методику [5]. При гасінні горіння рідин вогнегасним аерозолем в концентраціях близьких до вогнегасних полум'я в окремих випадках набувало спіралевидної форми з закручуванням вправо. Частота обертання збільшувалася до 50-60 обертів на хвилину, що може свідчити про значне зменшення швидкості поширення полум'я внаслідок інгібуючої дії аерозолю [6]. При цьому відбувалось витягування полум'я до 40% по довжині. В момент гасіння полум'я набувало пульсуючого режиму, після чого відбувався відрив та гасіння полум'я. Мінімальна вогнегасна концентрація аерозолю становила від 12 до 20 г/м³. Результати експериментів наведені в таблиці 2.

Таблиця 2

Мінімальні вогнегасні концентрації аерозолю при гасінні горючих рідин

№	Речовина	МВК, г/м ³	Q _н , кДж/моль	T _с , °С
1.	Гексан C ₆ H ₁₄	17,0	3887	233
2.	Гептан C ₇ H ₁₆	18,0	4501	223
3.	Октан C ₈ H ₁₈	19,5	5116	215
4.	Нонан C ₉ H ₂₀	19,0	5731	205
5.	Бензол C ₆ H ₆	11,0	3169,4	560
6.	Толуол C ₇ H ₈	11,0	3771,9	535
7.	Ксилол C ₈ H ₁₀	12,0	5608,9	530
8.	Метанол CH ₃ OH	4,0	763,8	440
9.	Етанол C ₂ H ₅ OH	5,6	1408	400
10.	Бутанол C ₄ H ₉ OH	7,2	2728	340

З результатів експерименту добре видно, що при гасінні більш термічно стабільних горючих речовин (в межах одного гомологічного ряду), тобто рідин з високою температурою самоспалахування (T_с), спостерігається нижча мінімальна вогнегасна концентрація, ніж при гасінні менш термічно стабільних горючих рідин. Для порівняння процесів гасіння ГР та ТГР було додатково проведено детальний перегляд відеозйомок гасіння полум'я ТГР, який показав, що після зменшення розмірів полум'я не відбувається видимий відрив полум'я як у випадку з горючими рідинами. Це свідчить про переважання швидкості поширення полум'я над швидкістю утворення горючих газоподібних продуктів.

Відомо, що зменшення швидкості піролізу призведе до зменшення кількості парів, які будуть потрапляти в зону горіння. Наслідок цього – зменшення кількості виділеного тепла, яке діє на поверхню ТГР [7], та призводить до піролізу і утворення горючих газоподібних компонентів. А це відбувається в результаті зменшення швидкості поширення полум'я внаслідок значного інгібуючого впливу аерозолі.

Як вказує автор роботи [8], для різних горючих речовин при збільшенні теплоти згоряння масова швидкість згоряння зменшується, а швидкість виділення тепла віднесена до одиниці поверхні фронту полум'я однакова, тобто теплова напруга зони горіння не залежить від діаметру тигля та виду палива. Таким чином, можна вважати, що ефективність гасіння вогнегасними аерозолями буде залежати від природи горючої речовини, а також її агрегатного стану. Якщо порівняти мінімальні вогнегасні концентрації різних рідин, то з результатів експериментів видно, що мінімальна вогнегасна концентрація зростає зі збільшенням теплоти згоряння [9].

Приймаючи це до уваги, можна сказати, що відмінність в часі гасіння рідин та твердих горючих речовин вогнегасним аерозолем існує в зв'язку з різними швидкостями утворення продуктів піролізу та горючих парів, які поступають у зону горіння та формують теплову напругу факелу. Так, для горючих рідин з відносно низькою температурою кипіння (до 100°C) швидкість пароутворення є достатньо високою. Навіть при значному зменшенні кількості тепла, яке надходить до поверхні рідини з зони горіння, така рідина при набутій температурі буде забезпечувати поступлення в зону горіння достатніх об'ємів парів для підтримання процесу горіння. У випадку горіння ТГР зменшення кількості тепла, яке надходить до поверхні ТГР, набагато швидше призводитиме до зменшення розмірів полум'я завдяки зменшенню об'ємів газоподібних продуктів та до його згасання, що підтверджено проведеними експериментами.

Таким чином можна сказати, що одним з визначальних факторів, які впливають на час гасіння, а відповідно і мінімальну вогнегасну концентрацію для дифузійного полум'я ТГР та ГР буде швидкість газо-пароутворення при кипінні та розкладі горючої речовини.

Отже, для підвищення ефективності гасіння аерозолями та полегшення підбору вогнегасної концентрації аерозолі для різних речовин, необхідно систематизувати горючі речовини, які формують пожежне навантаження приміщень та обумовлюють їх пожежну небезпеку, як у газоподібному, рідкому, так і у твердому стані, за певними параметрами. Основними з них є температура самоспалахування, концентраційні межі поширення полум'я та нижча теплота згоряння. Оскільки, як зазначено вище, аерозоль не гасить гетерогенного горіння, але є ефективним при гасінні дифузійного та кінетичного полум'я, то для більш точного визначення вогнегасної концентрації аерозолі при гасінні ГР та ТГР необхідно використовувати додаткові параметри. Горючі рідини на початковій стадії горять набагато інтенсивніше за ТГР [10], отже, для гасіння рідин на першій стадії горіння необхідно використовувати більш високі концентрації вогнегасного аерозолі, ніж для гасіння ТГР.

Беручи до уваги вищезазначені характеристики та корелюючи вогнегасні концентрації аерозолі з нижчими молярними теплотами горіння рідин Q_n та температурами самоспалахування, стає очевидним, що речовини, які володіють невисокою нижчою теплотою горіння, гасяться при відносно нижчих вогнегасних концентраціях. В цьому випадку для спрощення визначення вогнегасної концентрації при проектуванні систем аерозольного пожежогасіння та застосуванні аерозольних засобів пожежогасіння під час гасіння пожеж класів А, В, С, зручно використати теоретичні обґрунтування, наведені автором роботи [11], щодо так званого потенціалу горючості. Умови протікання горіння, фізико-хімічні властивості речовини пов'язують з умовною числовою величиною – потенціалом горючості. При цьому можна зробити прив'язку потенціалу горючості до певної концентрації аерозолі, що спростить розрахунок необхідної кількості генераторів як у випадку оперативного застосування, так і у випадку проектування систем аерозольного

пожежогасіння. Враховуючи те, що ефективність вогнегасного аерозолю напряду залежить від таких факторів як температура середовища [12], вид горючої речовини, її агрегатний стан, тиск, склад атмосфери, наявність інертних газів [13], стає зрозумілим використання потенціалу горючості. Виходячи з вищесказаного та орієнтуючись на наведені в роботі [14] потенціали горючості, необхідно зробити висновок, що потенціал горючості представляє собою енергію, яка є в надлишку чи в недостатці, порівнянню з кількістю енергії, необхідною для горіння суміші в даних умовах, тобто при даних факторах впливу – температура середовища, склад атмосфери, вміст в атмосфері домішок, розмір реакційної посудини та інших. Отже, оскільки вогнегасний аерозоль є надзвичайно чутливим до впливу вище перелічених факторів, необхідно передбачати відповідну концентрацію вогнегасного аерозолю орієнтуючись на потенціал горючості розташованого в приміщенні пожежного навантаження. Визначення ступеня взаємозв'язку між вогнегасною концентрацією аерозолю і потенціалом горючості є напрямом наших подальших досліджень.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ:

1. Агафонов В.В., Копылов Н.П. Установки аэрозольного пожаротушения. Элементы и характеристики проектирование монтаж и эксплуатация. – М.: ВНИИПО, 1999. – 229 с.
2. Тарахно Е.В., Луценко Ю.В., Рябова И.Б., Олейник В.В. Анализ возможности применения аэрозольобразующих огнетушащих средств для тушения тлеющих материалов // Проблемы пожарной безопасности. – 1998. – Вып. 3. – С. 149–153.
3. Грин Х., Лейн В. Аэрозоли – пыли, дымы и туманы: Пер. с англ. под редакцией д-ра хим. наук Н.А.Фукса. – Л., 1969. – 427 с.
4. Агафонов В.В., Большаков В.С., Голубчиков В.Б. Условия и способы применения установок аэрозольного пожаротушения различных типов в малогабаритных помещениях // Материалы 16 Всероссийской научно-технической конференции. – 2001. – С. 96–101.
5. Баланюк В.М. Вогнегасна ефективність дослідного зразка аерозольутворюючої сполуки на основі бінарної суміші неорганічних солей калію // Пожежна безпека: Зб. наук. праць. Львів, 2006. – №9. – С. 37–42.
6. Тарахно Е.В., Михайлюк А.П., Рябова И.Б. Аэрозольное ингибирование пламенного горения // Проблемы пожарной безопасности. – 2000. – Выпуск 7. – С. 201–204.
7. Розловский А.Н. Основы техники взрывобезопасности при работе с горючими газами и парами. – М.: Химия, 1980. – 375 с.
8. Хзмаян Д.М., Каган Я.А. Теория горения и топочные устройства. – М.: Энергия, 1976. – 486 с.
9. Баланюк В.М., Грималюк Б.Т. Дослідження взаємодії аерозолю з дифузійним полум'ям різних речовин // Пожежна безпека: Зб. наук. праць. Львів, 2006. – №6. – С. 21–24.
10. Демидов П.Г. Саушев В.С. Горение и свойства горючих веществ. – М.: ВИПТШ МВД СССР, 1975. – 278 с.
11. Монахов В.Т. Потенциал горючести, физический смысл и основные закономерности // Пожаровзрывоопасность веществ и материалов: Сборник трудов. М., 1978. – Выпуск 1. – С. 28–39.
12. В.В. Агафонов, В.С. Большаков, В.Б. Голубчиков, Д.В. Поляков. Влияние начальных температур среды и аэрозолей АОС на эффективность объемного аэрозольного пожаротушения // Материалы 16 Всероссийской научно-технической конференции. – 2001. – С. 87–91.
13. Баланюк В.М., Грималюк Б.Т. Дослідження впливу інертних розріджувачів на ефективність вогнегасних аерозолів // Пожежна безпека: Зб. наук. праць. Львів, 2005. – №5. – С. 113–116.
14. Монахов В.Т., Ермаков Б.С., Гращенкова В.Я., Иванов А.В., Бармакова А.А. Приведенные потенциалы горючести газов. Экспериментальные данные // Пожаровзрывоопасность веществ и материалов: Сборник трудов. М., 1978. – Выпуск 1. – С. 40–56.