

УДК 614.844; 614.845

Д.А. Журбинський, Академія пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля,  
В.М. Баланюк, к.т.н., доц., Львівський державний університет безпеки життєдіяльності

## ФЛЕГМАТИЗУВАЛЬНА ЕФЕКТИВНІСТЬ АЕРОЗОЛЮ НА ОСНОВІ СОЛЕЙ КАЛІЮ

Флегматизувальна ефективність аерозолю залежить від багатьох факторів, зокрема від концентраційних меж та способу подачі аерозолю. Проведено експеримент з визначення флегматизувальної ефективності аерозолю при нижній та верхній концентраційних межах поширення полум'я (КМПП). Виявлено, що аерозоль володіє флегматизувальними властивостями, вплив яких добре проявляється вже при концентрації 35 - 37 г/м<sup>3</sup>. Зроблено висновок, що для подальшого підвищення флегматизувальної ефективності в аерозольній системі необхідно збільшити концентрацію газів – CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, парів H<sub>2</sub>O.

**Ключові слова:** флегматизувальна ефективність аерозолю, концентраційні межі, полум'я, гази флегматизатори.

**Постановка проблеми.** В даний час для газового пожежогасіння використовуються гази, які є складовими атмосфери і лише деякі з них є синтезовані та не входять в склад атмосфери.

Для визначення переваг та недоліків їх експлуатації необхідно розглянути їх характеристики. В основному, для гасіння використовуються такі гази – карбон діоксид, азот, водяна пара, хладони, зокрема хладон 23 (трифторметан), «Інерген».

**Аналіз останніх досягнень і публікацій.** Карбон діоксид – безбарвний газ з густиною 1,98 кг/м<sup>3</sup>, що не має запаху, не підтримує горіння більшості речовин. Механізм флегматизування карбон діоксидом полягає в його здатності розбавляти концентрацію реагуючих речовин до меж, при яких горіння стає неможливим [1].

Хладон 23 (трифторметан) – легкий газ без кольору і запаху. У модулях знаходиться в рідкій фазі. Володіє високим тиском власної пари (48 кгс/см<sup>2</sup>), не вимагає наддуву газовим витискувачем. Екологічно безпечний (ODP=0). Рекомендується для захисту приміщень з можливим перебуванням людей. ГДК = 50 %, а вогнегасна концентрація – 14,6 %.

Азот використовується для флегматизації горючої пари і газів, для продування і осушення ємкостей і апаратів від залишків газоподібних або рідких горючих речовин. Балони із стислим азотом в умовах розвинутої пожежі представляють небезпеку, оскільки можливий їх вибух унаслідок пониження міцності стінок при високій температурі і підвищення тиску газу в балоні при нагріванні. Мірою, що запобігає вибуху, є випуск газу в атмосферу. Якщо це зробити неможливо, балон необхідно рясно зрошувати водою з укриття [2]. Азот не можна застосовувати для гасіння магнію, алюмінію, літію, цирконію і інших матеріалів, які утворюють нітрид, що володіє вибуховими властивостями. У цих випадках як інертний розчинник застосовують аргон, значно рідше - гелій [2].

Інерген – інертний, тобто нерозріджений, нетоксичний і негорючий газ. Він складається на 52 % з азоту, на 40 % з аргону і на 8 % з карбон діоксиду. Це означає, що він не завдає шкоди довкіллю, не ушкоджує устаткування і інші предмети. Механізм гасіння інергеном полягає у флегматизації горючого середовища.

**Постановка задачі та її розв'язання.** Метою роботи є визначення факторів впливу та ефективність флегматизаційного впливу аерозолю при нижній та верхній концентраційних межах поширення полум'я.

***Виділення невіршених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується стаття.***

Загальними недоліками вказаних флегматизаторів є висока вартість, складна технологія використання, необхідність евакуації людей з приміщення, що захищається, нанесення шкоди оточуючому середовищу. Таким чином, гази флегматизатори, які використовуються в наш час, володіють рядом характеристик, які не зовсім відповідають вимогам сьогодення, а саме: хладони руйнують озоновий шар, карбон діоксид призводить до парникового ефекту, а азот не достатньо ефективний. Це основні недоліки, які можна доповнити рядом дрібніших. Таким чином, існує проблема високоефективного універсального флегматизатора, який би не володів вищевказаними недоліками. Найкраще для цього підходить газоаерозольна суміш, яка утворюється при згоранні аерозольутворювальних сполук (далі – АУС).

***Виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів.*** Механізм флегматизуючої дії газових вогнегасних речовин полягає у декількох аспектах: зниження концентрації кисню, відбір тепла від зони горіння, розбавлення зони реакції горіння газовими компонентами.

Подальшого підвищення флегматизувальної ефективності можна досягти при забезпеченні додаткового інгібування початку реакції горіння. Ефективним інгібуючим ефектом володіє аерозоль на основі неорганічних солей калію, який утворюється при згоранні АУС.

Аерозоль, який утворюється при цьому, складається з дрібнодисперсних частинок солей та гідроксидів, зокрема,  $K_2CO_3$ ,  $KCl$ ,  $KOH$  тощо, а також газів – продуктів згорання –  $CO_2$ ,  $CO$ ,  $H_2O$ ,  $N_2$  [3]. Більшість авторів стверджують, що механізм вогнеподавляючої дії аерозолу полягає у інгібуванні реакції окислення, зниженні швидкості її протікання та відповідно, неможливості виникнення полум'яного горіння [4]. Газоаерозольна суміш, яка утворюється в результаті згорання аерозоль утворювальної сполуки, використовується в основному, для гасіння пожеж класів А<sub>2</sub> В, С, Е. Швидкість гасіння при цьому залежить від концентрацій аерозолу неорганічних солей калію та інертних газів [5]. Враховуючи компонентний склад газоаерозольної суміші та способу її утворення, залишається актуальним питання флегматизаційних властивостей аерозолу на основі неорганічних солей калію.

Флематизаційна дія аерозолів буде проявлятися за рахунок компонентів аерозолу з сильною інгібувальною дією та високими значеннями теплоємностей. Ці компоненти призводитимуть до зменшення кількості активних радикалів в зоні реакції та відповідно зменшення тепловиділення. Також, дотичні шари аерозолу будуть активно поглинати тепло реакції, що призводитиме до перерозподілу тепла, яке необхідне для підтримання нормальної швидкості горіння. Крім цього, в зоні реакції буде зростати концентрація інертних розріджувачів, що також позитивно впливатиме на флегматизувальну ефективність. Для виявлення ролі кожного із цих факторів необхідно розглянути процес утворення аерозолу з АУС. У більшості запропонованих рецептур АУС у якості окислювачів використовують  $KNO_3$ ,  $KClO_4$  або їх суміш. В меншій мірі використовують нітроцелюлозу та інші окисники. Як паливо пропонують використовувати різноманітні синтетичні смоли – ідітол, епоксидну смолу, каучуки та інші, а також різноманітні добавки для регулювання процесу горіння АУС, так як в продуктах горіння АУС різного складу, який залежить від природи пального і окисників та їх співвідношення, може знаходитись різне співвідношення газових компонентів ( $CO_2$ ,  $CO$ ,  $H_2O$ ,  $N_2$ ,  $N_xO_y$ ) і твердої фази у вигляді дрібнодисперсних частинок ( $K_2O$ ,  $K_2CO_3$ ,  $KHCO_3$ ,  $KOH$ ,  $KCl$ ,  $KNO_2$ ), а також гідратовані форми цих сполук.

Для визначення ефективності флегматизувального впливу аерозолу на горючу пароповітряну суміш експеримент проводився при нижній та верхній концентраційних межах поширення полум'я для гептану.

Експеримент проводився на установці (рис.1), яка складається з витратоміру, пальника та випаровувача н-гептану на водяній бані. Будова пальника передбачає можливість ежектування аерозолу разом з горючим газом і окисником в пальник, при його

відповідному розташуванні. Як видно з рис. 1, пальник розташований над поверхнею камери таким чином, щоб полум'я було зовні камери. При цьому аерозоль не обтікає полум'я, а потрапляє разом з повітрям в пальник при заданій концентрації аерозолю.

Опишемо методику визначення флегматизувальної ефективності в потоці аерозолю та горючої суміші. Пальник під'єднували до паропроводу гептану та кріпили його в верхній частині камери так, щоб газозабірник пальника контактував з аерозольним середовищем.

Подача парів гептану регулювалась витратоміром для отримання відповідних концентраційних меж. Витратоміром регулювали витрату парів н-гептану та знаходили нижню та верхню концентраційні межі, які для гептану відповідно становлять 1,07 % та 6,7 % [6]. Нижня та верхня концентраційні межі поширення полум'я досягались регулюванням витрат горючої пари гептану вентиляем 6. Пара н-гептану подавалась по трубопроводу з випарника 3. Полум'я запалювалось потужною електричною іскрою відповідно при нижній та верхній концентраційній межі, після чого в потік горючого газу підмішувався аерозоль.

При досягненні стабільної подачі парів н-гептану пароповітряна суміш підпалювалась. Після досягнення стабілізації полум'я спалювалась наважка АУС. Аерозоль засмоктувался газозабірником пальника в пароповітряний потік.

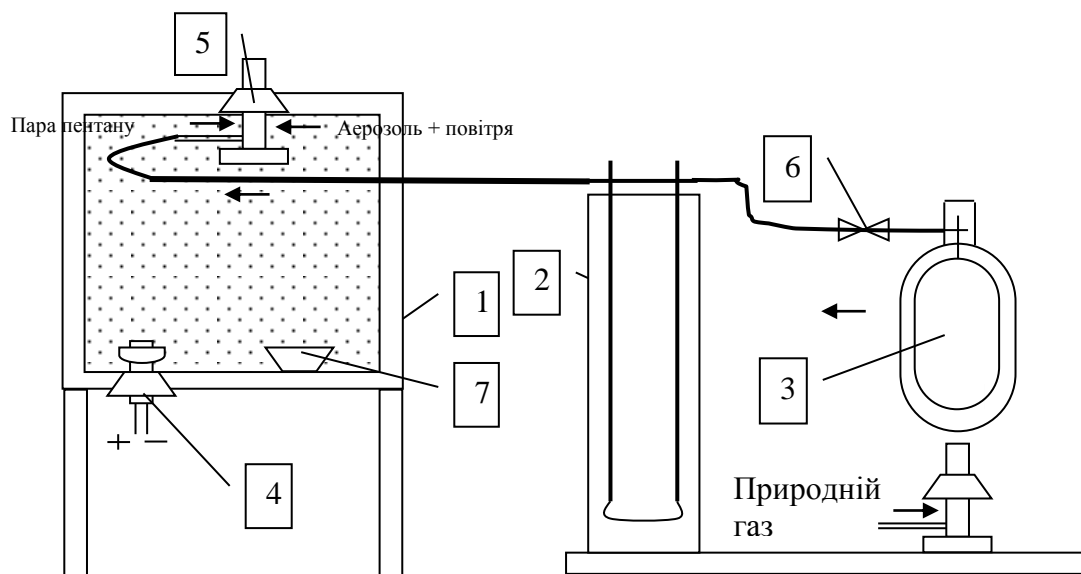


Рисунок 1 – Експериментальна установка для визначення ефективності флегматизувального впливу аерозолю на горючу пароповітряну суміш, де:

1. Камера.
2. Витратомір.
3. Випарник гептану.
4. Запалювач аерозольутворювальної сполуки.
5. Пальник.
6. Вентиль.
7. Вентилятор

В якості аерозольутворювальної сполуки використовувався аерозольутворювальний склад на основі нітрату і перхлорату калію та органічного горючого. Результати проведеного експерименту наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Флегматизувальні властивості аерозолі при НКМРП та ВКМРП

№ з/п	Концентрація аерозолі в камері, г	Концентрація аерозолі, г/м <sup>3</sup>	КМПП %	Час гасіння, с	Результат	Примітка
1	2	3	4	5	7	8
1.1	0,12	10	1,07	-	-	Горіння стійке
			6,7	-	-	
2.1	0,14	12	1,07	-	-	Горіння стійке.
			6,7	-	-	
3.1	0,18	15	1,07	-	-	Горіння стійке. Невелика пульсація.
			6,7	-	-	
4.1	0,19	17	1,07	-	-	Горіння стійке. Невелика пульсація.
			6,7	-	-	
5.1	0,23	20	1,07	21	+	Горіння стійке. Невелика пульсація. Відрив полум'я.
			6,7	18	+	
6.1	0,27	23	1,07	18	+	Горіння нестійке. Пульсація полум'я.
			6,7	16	+	
7.1	0,29	25	1,07	15	+	Горіння нестійке. Пульсація полум'я.
			6,7	12	+	
8.1	0,32	27	1,07	14	+	Горіння нестійке. Пульсація полум'я.
			6,7	10	+	
9.1	0,35	30	1,07	10	+	Горіння нестійке. Пульсація полум'я.
			6,7	8	+	
10.1	0,37	32	1,07	7	+	Горіння нестійке. Пульсація полум'я, його незначний відрив.
			6,7	5	+	
11.1	0,41	35	1,07	4	+	Горіння нестійке. Пульсація полум'я, його відрив.
			6,7	2	МВК	
12.1	0,43	37	1,07	1	МВК	Горіння нестійке. Пульсація полум'я, його відрив.
			6,7	-	-	
13.1	0,45	39	1,07	4	+	Горіння нестійке. Пульсація полум'я, його відрив.
			6,7	2	МВК	
14.1	0,47	41	1,07	1	МВК	Горіння нестійке. Пульсація полум'я, його відрив.

Результати експерименту показали, що флегматизувальна концентрація при подачі аерозолі в пальник є достатньо високою як при нижній, так і при верхній концентраційних межах поширення полум'я. Викликане це декількома факторами: аерозоль не контактує з поверхнею полум'я і в процесі руху в потоці пари з окисником він зазнає попереднього нагріву, що негативно впливає на флегматизувальну ефективність [7]. Таким чином, з загальної суми факторів впливу вилучається один важливий фактор - зовнішній контакт

аерозолі з полум'ям, що веде до додаткового охолодження та флегматизувальну дію на зону кільцевого запалювання та газового простору навколо полум'я.

Флегматизувальна дія аерозолі є схожою на флегматизувальну дію порошків. При подачі порошків в полум'я помітну роль будуть відігравати дисперсність порошку та його компонентний склад.

Вогнегасний аерозоль складається з різного типу газів та солей, а саме вуглекислого газу, водяної пари, азоту. Дисперсні солі, які входять до складу аерозолі –  $K_2CO_3$ ,  $KCl$ ,  $KOH \cdot H_2O$ , володіють різною вогнегасною та флегматизувальною концентрацією. Вогнегасна концентрація порошку на основі карбонатів та бікарбонатів лежить в межах 50-100 г/м<sup>3</sup>, причому частинки вищеназваних солей при нагріванні можуть забезпечувати додатковий вихід  $CO_2$  та  $H_2O$ , які флегматизують зону горіння. Беручи до уваги те, що аерозоль містить додатково адсорбовані гази, в районі полум'я буде виділятися деяка кількість газів, яка буде сприяти посиленню конвективних потоків. В роботі автора [8] вказується, що невеликим потоком газу (повітря), направленою вздовж зовнішньої поверхні пальника (рис. 2,а), можна досить легко відділити полум'я від пальника, підняти його вгору, або зовсім здути, не змінюючи при цьому помітно швидкість витоку в основній частині струменя, і навпаки, якщо значно збільшити швидкість середньої частини струменя. Отже, спираючись на вище сказане, можна зробити висновок, що якщо порушити стабільність кільцевого джерела запалювання, то полум'я також буде зменшувати дифузію горючого газу в повітря. Знову ж таки автор [8] вказує, що на периферії пальника існує область відносно невеликих швидкостей поширення полум'я. В цій області газ, який проникає з основного струменя, утворює кільце запалювання. Власне тому найбільш стійким є дифузійне полум'я, коли горіння відбувається завдяки навколишньому повітрю, а в зону горіння подається лише газ. Отже, при подачі аерозолі безпосередньо в потік газу з повітрям, він не буде флегматизувально впливати на кільцеву зону запалювання, піднімаючи її над гирлом пальника за рахунок зменшення швидкості горіння газопароповітряної суміші в ній.

В експерименті визначалась вогнегасна концентрація при нижній та верхній КМПП при ежектуванні аерозолі в полум'я разом з повітрям (рис 2, б).

При нижній КМПП час гасіння і в потоці, і в реальних умовах був більший за час гасіння при ВКМПП. Це добре видно з результатів експерименту, дані якого наведено в таблиці 1. З наведених даних видно, що мінімальна флегматизувальна концентрація при нижній концентраційній межі становить 37 г/м<sup>3</sup>, а при верхній концентраційній межі - 35 г/м<sup>3</sup>. Лише при ВКМПП час гасіння в потоці поступово зменшується, що підтверджує думку авторів [12] про більш ефективну дію інгібітору в «багатих» сумішах».

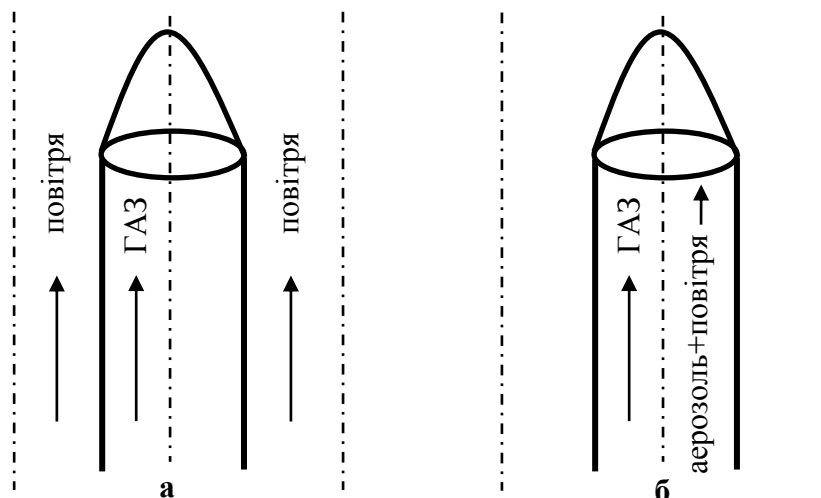


Рисунок 2 – Схема подачі в пальник суміші, де:

а – склад суміші повітря+газ;

б – склад суміші аерозоль+повітря

При збільшенні концентрації аерозолі до межі  $35 \text{ г/м}^3$  для ВКМПП та  $37 \text{ г/м}^3$  для НКМПП, за умови подачі в потік газоповітряної суміші (рис. 2, б), гасіння не досягалось і горіння продовжувалось необмежено довгий час. При такому способі подачі аерозолі спостерігались пульсації та певна нестабільність полум'я. При подальшому збільшенні концентрації аерозолі явища нестабільності полум'я проявлялись більш виразно. Збільшення нестабільності полум'я свідчить про зменшення швидкості поширення полум'я по газоповітряній суміші внаслідок інгібувальної та вогнеперешкоджаючої дії аерозолі. Це співпадає з результатами роботи авторів [9], які отримали значне зниження швидкості поширення полум'я в експерименті з виявлення впливу інертного пилу на нормальну швидкість поширення полум'я в горючих газових сумішах. Порівняно з поведінкою полум'я при гасінні аерозолем в реальних умовах, необхідно відмітити той факт, що міра нестабільності полум'я при дії такої ж концентрації аерозолі була більшою, і при подальшому збільшенні концентрації приводила до його відриву і гасіння, що збігається з висновками авторів [10], які теж спостерігали зниження швидкості поширення полум'я при добавлянні аерозолі в газоповітряну суміш.

**Висновки.** Експериментальне визначення ефективності показало, що аерозоль, який складається з дисперсних солей калію, володіє значною флегматизувальною ефективністю, але поряд з тим час існування самої аерозольної системи буде обмежений.

**Перспективи подальших досліджень.**

Шлях до подальшого підвищення флегматизувальної концентрації аерозолі полягає у збільшенні концентрації інертних газів ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2$ , водяна пара  $\text{H}_2\text{O}$ ) в аерозольній системі. Це призведе до збільшення ролі газів флегматизаторів в аерозольній суміші за рахунок зменшення концентрації кисню та утворення в більшій мірі гідратованих форм солей калію.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ:

1. Кашолкин Б. И., Мешалкин Е. А. Тушение пожаров в электроустановках. – М.: Энергоатомиздат, 1985. С. 17
2. Корольченко А. Я., Корольченко Д. А., Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения. Справочник: в 2-х ч. – М.: Асс. «Пожнаука», 2004. – Ч. I. С. 133
3. Баратов А.Н. Физические и химические аспекты пожаротушения экономически эффективными системами основанными на сжигании пропеллантов. Пожаровзрывоопасность 6'2001, С. 26-32.
4. Баратов А.Н., Мышак Ю.А., Радченко С.А. Исследование огнетушащей способности аерозольных составов. – Материалы 11 Всесоюзной конференции. ВНИИПО 1991, С.56-57.
5. Баланюк В.М., Грималюк Б.Т. Дослідження впливу інертних розріджувачів на ефективність вогнегасних аерозолів // Пожежна безпека. – 2005. – №5. – С. 113–116.
6. Баратов А.Н., Иванов Е.Н., Корольченко А.Я. Пожарная безопасность. Взрывобезопасность. Справочн. изд. – М.: Химия, 1987. – 269 с.
7. 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 С. 87-91
8. Хитрин А.Н. Физика горения и взрыва. – М.: Изд-во Московского Университета, Москва, 1957. – 442 с.
9. Шорин С.Н., Балин В.А. Влияние инертной пыли на нормальную скорость распространения пламени в горючих газовых смесях // Вопросы теории горения. Труды общероссийского семинара по теории горения: Сб. науч. тр. – М.: Наука, 1970. – С. 93–100.
10. Балин В.А., Шорин С.Н., Ермолаев О.М. Исследование нормальной скорости распространения пламени в запыленных газовых потоках // Теплоэнергетика. – М., 1969. – №4 – С. 75–77.