

Технічні науки

УДК 614.84

Баланюк Володимир Мірчович

доктор технічних наук, доцент,

начальник кафедри екологічної безпеки

Львівський державний університет безпеки життєдіяльності

Баланюк Владимир Мирчович

доктор технических наук, доцент,

начальник кафедры экологической безопасности

Львовский государственный университет безопасности жизнедеятельности

Balanyuk Volodymyr

Doctor of Technical Sciences, Associate Professor,

Head of the Department of Environmental Safety

Lviv State University of Life Safety

Кравченко Антон Вікторович

провідний інспектор

Головне управління Державної служби надзвичайних ситуацій

у Львівській області

Кравченко Антон Викторович

ведущий инспектор

Главное управление Государственной службы чрезвычайных ситуаций

во Львовской области

Kravchenko Anton

Chief Inspector

Main Department of the State Emergency Service in Lviv Region

Козяр Назарій Михайлович

кандидат технічних наук, заступник начальника

Головне управління Державної служби надзвичайних ситуацій м. Києва

Козяр Назарий Михайлович

кандидат технических наук, заместитель начальника

Главное управление Государственной службы чрезвычайных ситуаций г. Киева

Kozyar Nazariy

Candidate of Technical Sciences, Deputy Head

Main Directorate of the State Emergency Service of Kyiv

Гарасим'юк Олександр Іванович

кандидат технічних наук,

начальник відділу управління запобігання пожеж

Головне управління Державної служби надзвичайних ситуацій м. Києва

Гарасимьюк Александр Иванович

кандидат технических наук,

начальник отдела предотвращения пожаров

Главное управление Государственной службы чрезвычайных ситуаций г. Киева

Garasimyuk Oleksandr

Candidate of Technical Sciences, Head of the Fire Prevention

State Emergency Service

Копистинський Юрій Олегович

кандидат технічних наук,

начальник відділу аспірантури та докторантури

Львівський державний університет безпеки життєдіяльності

Копистинский Юрий Олегович

кандидат технических наук,

начальник отдела аспирантуры и докторантуры

Львовский государственный университет безопасности жизнедеятельности

Kopystynsky Yuriy

Candidate of Technical Sciences,

Head of the Department of Postgraduate and Doctoral Studies

Lviv State University of Life Safety

**СИНЕРГИЗМ ЧИННИКІВ ПРИ ПІДШАРОВОМУ АЕРОЗОЛЬНОМУ
ГАСІННІ СПИРТІВ У РЕЗЕРВУАРАХ
СИНЕРГИЗМ ФАКТОРОВ ПРИ ПОДСЛОЙНОМ АЭРОЗОЛЬНОМ
ТУШЕНИИ СПИРТОВ В РЕЗЕРВУАРАХ
SYNERGISM OF FACTORS IN SUBLAYER AEROSOL
EXTINGUISHING OF ALCOHOLS IN TANKS**

***Анотація.** У статті теоретично обґрунтовано синергізм чинників при підшаровій подачі вогнегасного аерозолу для гасіння спиртів та описано їх взаємозв'язок, який сумарно визначає кінцеву вогнегасну ефективність аерозольного підшарового гасіння спиртів у резервуарах.*

***Ключові слова:** пожежна небезпека, вогнегасний аерозоль, пожежогасіння, етиловий спирт, етанол, підшарове гасіння.*

***Аннотация.** В статье теоретически обоснован синергизм факторов при подслойной подаче огнетушащего аэрозоля для тушения спиртов и описана их взаимосвязь, которая суммарно определяет конечную огнетушащую эффективность аерозольного подслойного тушения спиртов в резервуарах.*

***Ключевые слова:** пожарная опасность, огнетушащий аэрозоль, пожаротушения, этиловый спирт, этанол, подслойное тушение.*

***Summary.** The article theoretically substantiates the synergy of factors in the sublayer supply of fire-extinguishing aerosol for extinguishing alcohols and describes their relationship, which summarizes the final fire-extinguishing efficiency of aerosol sublayer extinguishing of alcohols in tanks.*

***Key words:** fire danger, fire extinguishing aerosol, fire extinguishing, ethyl alcohol, ethanol, sublayer extinguishing.*

Вступ. Спирти, зважаючи на їх температуру кипіння яка забезпечує швидке випаровування та низьку температуру спалаху, характеризуються

високою пожежною небезпекою. Відомо, [1] що на даний час найбільш поширеним способом запобігання пожежам і вибухам спиртів та їх пароповітряних сумішей залишається використання пінних засобів гасіння.

Постановка проблеми. Оскільки аерозоль є засобом об'ємного гасіння то його застосування для підшарової подачі потребує обґрунтованого підходу. Відомо, [2] що пожежі на об'єктах з виробництва, переробки та зберігання спирту, як правило, починаються з вибуху спиртоповітряної суміші. При вибусі, швидкість поширення полум'я становить до 10 м/с, з досягненням значних температур (до 1000 °С). При цьому, в результаті виникнення пожежі може відбутись вибух - як наслідок теплового впливу на сусідні резервуари, так і в результаті утворення та займання горючих спиртоповітряних сумішей. Зважаючи на вказані характеристики, гасіння таких пожеж є проблемним, оскільки для підготовки ефективного гасіння необхідно сконцентрувати значні сили та засоби, що потребує достатньо багато часу, за який пожежа може значно ускладнитись.

Вогнегасний аерозоль об'єднує в собі переваги порошкових, газових та в деякій мірі охолоджувальних засобів гасіння та, відповідно, чинить подібно до газів і порошоків об'ємну вогнегасну дію та забезпечує тривалий час збереження вогнегасної концентрації - до 30 хвилин. Також враховуючи вищезазначене потрібно зазначити, що аерозоль одночасно є інгібітором, флегматизатором та охолоджувачем через його склад – дрібнодисперсні солі калію, воду в вигляді аерозолу та гази які утворюються в процесі горіння АУС, в основному CO₂, N₂ та інші. Поєднання їх в одній системі призведе до підсилення вогнегасного ефекту внаслідок синергізму, що показано в роботі [3].

Підшарова подача вогнегасного аерозолу передбачає його подачу з нижнього або середнього рівня на поверхню палаючої рідини. При цьому реалізуються наступні чинники вогнегасного впливу. На виході з сопел відбувається розширення аерозолу та його часткове охолодження при

контакті з холодними масами горючої рідини. Далі при піднятті вогнегасного аерозолу відбуватиметься захоплення ним холодної рідини та її підйом на поверхню горіння. Це спричинить охолодження верхнього нагрітого шару рідини та зменшення інтенсивності випаровування рідини і, відповідно, зменшення швидкості горіння інтенсивності теплового випромінювання та розмірів полум'я. Після виходу аерозолу на поверхню відбувається, охолодження та розбавлення ним зони парів та газів у дифузійному полум'ї. Це призведе до звуження області займання та збільшення енергії активації реакції горіння. Подальше проникнення вогнегасного аерозолу в зону горіння забезпечує інгібування реакції горіння та її охолодження в результаті інгібування, розбавленням газами флегматизаторами – CO_2 , N_2 , H_2O . Подальше надходження вогнегасного аерозолу з відповідною інтенсивністю в зону горіння забезпечить подальше зменшення інтенсивності горіння за рахунок вищезазначених факторів, які призведуть при необхідній інтенсивності подачі аерозолу до затухання дифузійного полум'я.

Отже, враховуючи вищезазначене, необхідно сказати, що вогнегасний ефект від підшарової подачі аерозолу носитиме складний характер і на різних етапах виходу аерозолу з шару горючої речовини будуть працювати різні взаємопов'язані чинники впливу. Їх можна розділити на фізичні та хімічні, а також ті, які працюють синергічно разом з іншими та підсилюють дію один одного. Для більш повного розуміння необхідно зобразити взаємозв'язок на блок-схемі (рис.1.)

Для визначення дії чинників, які призведуть до підвищення ефективності аерозольного гасіння таких рідин, необхідно розглянути як кожен з них впливає на ефективність підшарового гасіння.

При згорянні АУС всередині генератора вогнегасного аерозолу утворюється тиск залежно від пропускної здатності випускного трубопроводу або сопла. Значення тиску, який утворюється всередині, становить близько 60 атмосфер або і більше. Це дозволяє протиснути стовп

рідини висотою 6 метрів і вище та забезпечити вихід аерозолю на поверхню. Загалом аерозоль, будучи продуктом горіння, поширюється так само як і дим і в процесі перебування в повітрі може коагулювати та осідати [4]. Після виходу аерозолю в товщу рідини на його бульбашки буде діяти тиск який визначатиме розміри бульбашок.



Рис. 1. Взаємозв'язок чинників при підшаровому гасінні спирту

При барботуванні газу через шар рідини, бульбашки будуть підніматись зі швидкістю, близькою до швидкості вільного спливання [5]. Причому розмір бульбашок залежатиме від діаметру отвору барботера та поверхневого натягу рідини. Розмір бульбашок можна оцінити по формулі [6].

$$d = (6d_0\delta/\Delta qg)^{1/3} [6].$$

d_0 – діаметр отв. Барботеру, δ – поверхневий натяг,
 Δq – різниця щільності газу та середовища.

Оскільки аерозоль – газодисперсна суміш, то дану формулу можна використати для розрахунку розміру бульбашок аерозолі.

Від розміру бульбашок аерозолі залежатиме швидкість їх охолодження, інтенсивність та швидкість перемішування рідини, а відповідно їй рівномірний розподіл тепла від поверхнево нагрітого шару рівномірно вниз резервуару. Швидкість виходу бульбашок газу залежить від їх діаметру і конфігурації і якщо швидкість витікання аерозолі буде великою, то над поверхнею випускного сопла будуть утворюватись струмені, які далі руйнуються та перетворюються в потік бульбашок різної дисперсності. Бульбашки в процесі руху рухаються різними траєкторіями, стикаються, руйнуються, дробляться і розподіляються у вигляді конуса від місця витоку [6]. При виході бульбашок на поверхню на ній утворюється так званий барботажний шар, в якому накопичується піна з максимальною кількістю бульбашок, що забезпечує ефективне надходження аерозолі в зону горіння та її гасіння. Рідина між бульбашками при цьому активно перемішується зі швидкістю в декілька разів вищою за швидкість підйому бульбашок. Загалом явища, які відбуваються при барботуванні аерозолі сприяють підвищенню вогнегасної ефективності через охолодження верхнього шару, що приводить до зменшення інтенсивності випаровування і, відповідно, розмірів полум'я.

В процесі руху бульбашок аерозоль охолоджується, після чого бульбашка лопається і аерозоль потрапляє в зону горіння. Аерозоль в зоні горіння зменшує концентрації горючого та окисника, що забезпечує флегматизування горючої системи. Крім цього в зону горіння додатково потрапляє пара спирту, яка утворюється з його дрібних крапель при руйнуванні бульбашок аерозолі, що призведе до звуження області займання та підвищення енергії активації, що в свою чергу зменшить швидкість реакції. При виході аерозолі на поверхню, перемішується та охолоджується рідина, зменшується інтенсивність випаровування та екранується поверхня рідини від зони горіння, після чого аерозоль

потрапляючи в зону горіння, чинить флегматизуючу інгібіуючу та охолоджуючу дію на зону горіння та зону парів та газів (таб.1).

Проникнення аерозолу в зону горіння забезпечує також екранування поверхні рідини від променевого потоку з зони горіння. Теплове випромінювання з зони горіння забезпечує додатковий розклад частинок аерозолу і виділення в зоні горіння газів CO_2 , N_2 та H_2O та утворення твердих конгломератів, що призводить до додаткового зменшення швидкості реакції. (таб.1).

Таким чином поєднання та сумарна дія всіх запланованих чинників підвищує кінцеву ефективність підшарового способу горіння, що полягає у зниженні інтенсивності горіння і питомої вогнегасної концентрації, що підтверджується в роботі [7].

Загалом можна стверджувати, що кількість АУС яка необхідна для підшарового гасіння, буде меншою ніж для об'ємного гасіння внаслідок сумарної дії вищевказаних факторів, і призводять до значного підвищення вогнегасної ефективності аерозолу.

Таблиця 1

Чинники, що впливають на вогнегасну ефективність аерозолу на різних стадіях його виходу з шару спирту

В шарі рідини	На поверхні в зоні нагрівання	В зоні горіння
Охолодження верхнього шару рідини за рахунок перемішування. Охолодження аерозолу в бульбашках.	Створення флегматизуючого середовища на поверхні рідини.	Інгібіювання полум'я аерозолем
		Охолодження зони газу аерозольною сумішшю.
	Захоплення аерозолу висхідними потоками газів та потрапляння їх в зону горіння.	Екранування зони горіння від поверхні палаючої рідини.
		Збільшення об'єму зони горіння за рахунок аерозолу, що розширюється під дією тепла.
		Розбавлення зони горіння вогнегасним аерозолем, його газовими компонентами та продуктами термічного розкладу аерозолу - CO_2 , N_2 та H_2O (пара)

Таким чином, аерозольне підшарове гасіння є ефективне, швидке та «чисте» пожежогасіння. Переваги вогнегасного аерозолі полягають у тривалому експлуатаційному періоді (до 10 років), невеликих розмірах систем пожежогасіння на його основі та їх вартості.

Висновок. У роботі теоретично обґрунтовано синергізм чинників при підшаровій подачі вогнегасного аерозолі для гасіння спиртів та описано їх взаємозв'язок, який сумарно визначає кінцеву вогнегасну ефективність аерозольного підшарового гасіння спиртів у резервуарах.

Встановлено, що на різних етапах виходу аерозоль забезпечує охолодження самого спирту, зменшення інтенсивності випаровування спирту, інгібування, флегматизування та охолодження зони горіння, що забезпечує високу ефективність та швидкість ліквідації горіння спирту.

Література

1. Подслоное пожаротушение в резервуарах с нефтью и нефтепродуктами. URL: <http://neftebaza.kz/podsloynoe-pozharotushenie>
2. Balanyuk, V., Kozyar, N., & Kravchenko, A. Перспективи аерозольного підшарового гасіння спиртів // Пожежна безпека. 2019. 35. 5-9. <https://doi.org/https://doi.org/10.32447/20786662.35.2019.01>
3. Баланюк В. М. Определение эффективности тушения огнетушащими аэрозолями горючих жидкостей на открытом пространстве // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2015. Т. 5, № 10 (77). С. 4–11. doi: <http://doi.org/10.15587/1729-4061.2015.51399>
4. 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. С. 216.
5. Гороновский С.А., Мала гірнича енциклопедія : у 3 т. / за ред. В. С. Білецького. Д. : Східний видавничий дім. 2004-2013.
6. Уоллис Г., Одномерные двухфазные течения, пер. с англ., М., 1972; Кутателадзе С. С., Стырикович М. А., Гидродинамика газожидкостных

систем, 2 изд., М., 1976; Ра мм В. А., Абсорбция газов, 2 изд.. М., 1976. В. В. Дильман.

7. Balanyuk V. M. Specific Nature of Phlegmatizing Air-Heptan Mixture using aerosol and Nitrogen Binary Mixture // *ВіТР*. 2016. Vol. 44, Issue 4. PP. 139–149.