

В. М. Баланюк, Н. М. Козяр, А. В. Кравченко
Львівський державний університет безпеки життєдіяльності

ПЕРСПЕКТИВИ АЕРОЗОЛЬНОГО ПІДШАРОВОГО ГАСІННЯ СПИРТІВ

У статті розглянуто проблеми гасіння спиртів та описано чинники які визначають вогнегасну ефективність аерозольного підшарового гасіння спиртів.

На сьогодні спиртоховища недостатньо захищені про що свідчать пожежі, які на них виникають. Актуальність роботи підкреслюється тим, що пожежі на об'єктах зберігання і переробки спиртів та їх сумішей характеризуються високою швидкістю поширення полум'я до 10 м/с, та досягненням високих значень температур всередині об'єму на перших хвилинах, можливістю вибухів, як газопароповітряних сумішей так і посудин під тиском, які зазнають теплового впливу. В статті теоретично описано процес гасіння та показано, що таке гасіння має бути ефективним завдяки синергізму поміж чинниками впливу. В роботі представлено аналіз та теоретичні узагальнення процесу гасіння спиртів та спиртовмісних рідин. Вказано недоліки гасіння спиртів та спиртовмісних рідин пінними засобами. Розглянуто процес гасіння інертним газом та запропоновано спосіб підшарового гасіння спиртів вогнегасним аерозолем. Встановлено що підшарове гасіння аерозолем відбувається в 3 етапи На першому етапі — при виході аерозолу, буде відбуватись перемішування рідини, зменшення температури поверхні палаючої рідини та вирівнювання температури по висоті стовпа рідини. На другому етапі — після виходу аерозолу з шару рідини та потрапляння його на поверхню, відбувається зменшення концентрацій компонентів горючої суміші, екранування променевого випромінювання з зони горіння та обмеження його впливу на поверхню палаючої рідини та борти резервуара. На третьому етапі – при потраплянні аерозолу в зону горіння, реалізуються такі вогнегасні чинники інгібування, флегматизування, охолодження та, частково, зміна фізичних параметрів – збільшення тиску та об'єму. Поєднання зазначених чинників одночасно забезпечує значне зменшення часу гасіння спирту порівняно з класичними способами гасіння.

Результатом аналізу процесу гасіння спирту та спиртовмісних сумішей різними вогнегасними засобами було теоретично обґрунтовано та експериментально підтверджено високу ефективність підшарового гасіння газоаерозольними сумішами спиртів та їх сумішей. Перевагами такого способу гасіння є низька вартість системи пожежогасіння, значний період експлуатації, висока вогнегасна ефективність та простота обслуговування та використання.

Ключові слова: пожежна безпека, вогнегасний аерозоль, пожежогасіння, ударна хвиля, етиловий спирт, етапол.

Вступ. Відомо, що особливо пожежно небезпечними є спиртоховища та технологічні процеси в яких обертаються спирти та їхні суміші. Це пояснюється властивостями цих речовин, зокрема низькою температурою кипіння, що призводить до швидкого випаровування, та низькою температурою спалаху. На сьогодні найбільш перспективним шляхом запобігання пожежам і вибухам на таких об'єктах залишається використання пінної середньої кратності та плівкоутворювачів.

Постановка проблеми. Пожежі на об'єктах зберігання та переробки спиртів та їх сумішей трапляються досить часто [1], характеризуються високою швидкістю поширення полум'я – до 10 м/с, та досягненням високих значень температур всередині об'єму на перших хвилинах, можливістю вибухів, як газопароповітряних сумішей, так і ємностей під тиском які зазнають теплового

впливу. Такі пожежі, як правило, починаються з вибуху, або вибух стається в процесі пожежі [1].

Виходячи із значень вогнегасних та флегматизувальних концентрацій вогнегасних газів, подача необхідної кількості газу в захищений об'єм є подеколи проблемною, оскільки кількість посудин, яка необхідна для цього є в деяких випадках значною, що потребує окремих приміщень та значної довжини трубопроводної арматури.

На об'єктах з перебуванням людей необхідно враховувати граничні концентрації вогнегасного газу, які можуть призвести до ускладнення дихання. Подальше зниження концентрації призведе до втрати свідомості та можливої смерті. Газова суміш набуває вогнегасних властивостей при вмісті у ній вуглекислого газу 25-30 %, а флегматизувальних - 35%-45%, що значно вище за гра-

нично допустимі значення. Для азоту ці концентрації є ще більшими та відповідають концентраціям близько 40% для вогнегасної та близько 50%-55% флегматизувальної концентрацій.

Таким чином вказані значення концентрацій є досить високими для гасіння і флегматизування і потребують значного заповнення по об'єму. При цьому гасіння та флегматизація забезпечується лише завдяки тепловідведенню газами.

Об'ємне гасіння є одним з найбільш ефективних способів протипожежного захисту, оскільки пристрої з можливістю швидкого гасіння об'єму інертним газом дають згоду запобігти вибухам в апаратах і приміщеннях при створенні вибухонебезпечних концентрацій речовин.

Припинення горіння шляхом введення в зону реакції негорючих газів і запобігання створенню вибухонебезпечної концентрації компонентів можна віднести до методу розбавлення чи флегматизації.

Зменшити індивідуально вогнегасні концентрації газів або аерозолі неможливо, але до зменшення індивідуальних вогнегасних та флегматизувальних концентрацій призведе використання бінарних газоаерозольних сумішей в яких в якості вогнегасних компонентів використовується одночасно вогнегасний аерозоль та вогнегасний газ – CO₂ або N₂. Вогнегасна концентрація при цьому компонентів бінарної суміші становить відповідно CO₂ – 4%, аерозолі – 15 г/м³, та для N₂ – 4%, аерозолі – 18 г/м³. Флегматизувальна концентрація при цьому становить CO₂ – 10,5 % аерозолі – 20 г/м³, N₂ – 15%, А – 20 г/м³.

Для визначення факторів, які призведуть до підвищення ефективності гасіння таких рідин, необхідно розглянути механізм припинення горіння об'ємними засобами.

Потрапляючи в зону реакції горіння газів-розчинники CO₂, N₂ та аерозоль знижують концентрацію молекул горючого та окисника φ_g і φ_o в одиниці об'єму суміші, що призводить до зменшення кількості їх молекул в об'ємі. Аерозоль додатково буде інгібувати горючу систему, що призведе до підвищення температури самоспалахування. Таким чином, зниження концентрації компонентів горючої суміші призводить до зменшення швидкості реакції окислення та підвищення енергії активації в зоні реакції горіння, що витікає з рівняння Арреніуса [2]

$$\omega_{XP} = \varphi_{г}^n \cdot \varphi_{ок}^m \cdot \exp\left(-\frac{E_{акт}}{RT_{сп}}\right) \quad (1)$$

де: $\varphi_{ок}$; $\varphi_{г}$ - концентрація горючого і окисника;
E_{акт} – енергія активації реакції;
T – температура, К;
R – універсальна газова стала.

Таким чином, знижуючи концентрацію реагуючих компонентів – горючого та окисника, можна зменшити швидкість реакції до рівня, коли виникнення горіння чи його розповсюдження стає неможливим.

Зниження швидкості хімічної реакції, в свою чергу, призведе до зменшення інтенсивності тепловиділення і температури горіння (2).

$$Q_{ТВ} = Q'_н \cdot V_{Г.С.} \cdot \omega_{XP} \quad (2)$$

де: Q_н – нижня теплота згорання, кДж/кг;
V_{Г.С.} – об'єм горючої системи, м³.
 ω_{XP} – швидкість хімічної реакції.

Поступове зменшення тепловиділення горючої системи призводить до появи моменту, коли створюється, як мінімум, дві точки теплового балансу системи, та зниження температури в зоні реакції горіння до температури затухання. При цьому залежність температури горіння від концентрації реагуючих речовин може бути визначена з рівняння теплового балансу:

$$T = T_0 + \frac{\eta Q_n}{\sum_{i=1}^n V_{np} C_{pIII} + V_{\phi} C_{p\phi}} \quad (3)$$

де: T₀ – початкова температура;
Q_н – нижня теплота хімічної реакції;
 η - коефіцієнт недопалу;
C_{pI} - теплоємність і-го продукту згорання;
V_ф – об'єм в молях і-го продукту згорання;
C_{pIII} – теплоємність продуктів згорання;
V_Ф – об'єм в молях (не вступаючих в реакцію) ... компонента.

Таким чином, з рівняння теплового балансу випливає, що чим більше суміш відрізняється від стехіометричного складу, і більший об'єм непрореагувавшего надлишкового компонента реакції, тим відповідно нижча температура горіння T_г та вища енергія активації E_a.

На практиці ця залежність має широке застосування для зниження пожежовибухонебезпечності речовин та матеріалів. При введенні в газопароповітряну суміш інертних газів (флегматизаторів) – вуглекислого газу, азоту, пари води, гелію, аргону або їх сумішей, область поширення полум'я звужується – нижня границя зростає, а верхня знижується чим і досягається флегматизація.

Підвищення концентрації інертного газу рівносильне зниженню концентрації кисню в горючій суміші, а дифузійне горіння більшості горючих речовин зупиняється при концентрації кисню в суміші меншій за 14-16%, але якщо вогнегасний ефект газів-розчинників звести до механічного застосування закону Арреніуса, то отримаємо, що

вогнегасна концентрація не залежить від властивостей інертних газів, однак з практики відомо, що ефективність застосування азоту нижча, ніж у діоксиду вуглецю чи водяної пари. Для подачі інертного газу в захищений об'єм існують різні способи подачі, а також методики розрахунку вогнегасної концентрації газів-розчинників.

При проектуванні установок пожежогасіння і безпосередньо при гасінні методом флегматизації, газоаерозольні засоби гасіння можуть подаватися в зону реакції горіння різними способами. Залежно від поставлених цілей можна виділити три способи подачі вогнегасних засобів в зону парів та газів безпосередньо в об'єм:

- в зону парів та газів – застосовується для запобігання вибуху і припинення горіння в закритих технологічних апаратах і закритих приміщеннях;

- в об'єм, де відбувається горіння, – застосовується для гасіння речовин і матеріалів, що горять в відкритому об'ємі, таких як рідини, газовий і нафтовий налив;

- в горючу рідину – для зниження інтенсивності горіння і зниження температури його горіння при підготовці гасіння іншим методом, чи для запобігання спалахуванню речовин.

Також підвищення вогнегасної ефективності газових засобів гасіння можна досягнути комбінованим застосуванням вогнегасного аерозолю та вогнегасного газу або в результаті застосування комбіновано газоаерозольної системи та третього фактора – ударних хвиль, що описано в роботі [4]. Застосування ударних хвиль забезпечує найсильніший вогнегасний ефект, але їх застосування може призвести до непередбачуваних наслідків руйнування трубопроводів або посудин із спиртом, внаслідок чого пожежа може підсилитись або трапитись вибух.

Мета та задачі дослідження. Метою роботи є встановлення ступеня ефективності впливу чинників при газоаерозольному підшаровому гасінні спиртів.

Для досягнення мети потрібно вирішити такі задачі:

- визначити чинники, що впливають на ефективність аерозольного підшарового гасіння спиртів;

- встановити дії вогнегасних чинників на різних етапах виходу газоаерозольної суміші з шару рідини.

Результати дослідження. Відомо [5], що гасіння та флегматизування спиртовоповітряних сумішей найбільш ефективно при підшаровій подачі газоаерозолю. При цьому процес гасіння можна поділити на три етапи (рис.1)

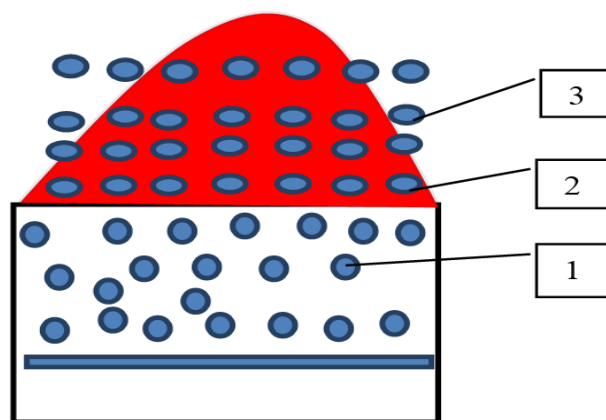


Рисунок 1 – Етапи підшарового аерозольного гасіння:
1. проходження газоаерозоллю через шар горючої рідини;
2. вихід аерозоллю на поверхню горючої рідини;
3. проходження аерозоллю через зону горіння.

При проходженні аерозоллю через шар рідини на ефективність гасіння впливають густина, температура, тиск рідини, інтенсивність подачі газоаерозоллю.

При виході на поверхню – вирішальними чинниками будуть зменшення швидкості випаровування, поглинання теплового випромінювання твердими частинками аерозоллю.

Зрозуміло, що вогнегасний аерозоль буде проходити через шар рідини з різною швидкістю, при цьому на швидкість виходу буде впливати густина рідини її температура, та товщина шару горючої рідини. На першому етапі — при виході аерозоллю, буде відбуватись перемішування рідини, зменшення температури поверхні горючої рідини та вирівнювання температури по висоті стовпа рідини. Зменшення температури поверхні горючої рідини призводить відповідно до зменшення інтенсивності горіння та зменшення розмірів полум'я (рис. 1).

На другому етапі — після виходу аерозоллю з шару рідини на поверхню її відбувається зменшення концентрацій компонентів горючої суміші, екранування променевого випромінювання з зони горіння та обмеження його впливу на поверхню горючої рідини та борта резервуара.

На третьому етапі — при потраплянні аерозоллю в зону горіння, відбувається реалізація таких вогнегасних чинників — інгібування, флегматизування, охолодження та частково зміна фізичних параметрів – збільшення тиску та об'єму. Найсуттєвіший з них – інгібування ультрадисперсними частинками аерозоллю – KOH , K_2CO_3 , KHCO_3 та інші. Загалом вогнегасну інтенсивність подавання вогнегасного аерозоллю можна визначити експериментально, виходячи з маси заряду та часу його горіння – подавання. Відомо [6] що вогнегасна концентрація аерозоллю для вуглеводневих палив

зростає із збільшенням довжини вуглецевого скелета молекули горючого. Отже можна зробити висновок, що вогнегасна концентрація аерозолу для етанолу буде меншою, ніж при гасінні бензиново-дизельної суміші. Автором роботи [7] було визначено, що вогнегасна інтенсивність подавання аерозолу при гасінні стандартного вогнища 21В на відкритому просторі становила 8 г/с.

Крім зазначених, одним з вагомих чинників впливу є перемішування шарів рідини при виході аерозолу на поверхню. Це призводить до зменшення температури на поверхні палаючої рідини і зменшення інтенсивності випаровування та горіння, а відповідно і випромінювання. Щодо температури більш глибоких шарів рідини, то вона буде в міру виходу аерозолу вирівнюватись. Це призведе до зменшення температури поверхнього шару горячої рідини, зниження інтенсивності випаровування та зменшення розмірів полум'я. Таким чином, при підшаровому аерозольному гасінні будуть одночасно реалізовуватись зазначені чинники [8], сумарна дія яких призведе до швидкого та ефективного гасіння.

Висновок. В результаті аналізу процесу гасіння спирту та спиртовмісних сумішей різними вогнегасними засобами було теоретично обґрунтовано та експериментально підтверджено високу ефективність підшарового гасіння газоаерозольними сумішами спиртів та їх сумішей. Перевагами такого способу гасіння є значний період експлуатації, висока вогнегасна ефективність — від 8 г/м³, простота обслуговування та використання.

Список літератури

1. Баланюк В.М., Козяр Н.М., Копистинський Ю.О., Кравченко А.В., Проблеми гасіння спиртів та їх сумішей. *Fire Safety*, №33, 2018. С. 5-9. DOI: 10.32447/20786662.33.2018.01.
2. Андросов А.С., Теория горения и взрыва : учебное пособие для курсантов, студентов и слушателей образовательных учреждений МЧС России / А. С. Андросов, И. Р. Бегишев, Е. П. Салеев. М. 2007.С 237.
3. Тарахно О.В., Жернокльов К.В., Трегубов Д.Г. Теорія розвитку та припинення горіння. Методичні вказівки до вивчення курсу, контрольні завдання для курсантів, слухачів денної та заочної форм навчання. Харків: Університет цивільного захисту України, 2011. 207 с.
4. Balanyuk V.M., Extinguishment of n-heptane diffusion flames with the shock wave, *ВіТР* Vol. 42, Issue 2, 2016, P. 103-111.
5. Спосіб підшарового гасіння спиртів вогнегасним аерозолем. В. М. Баланюк, Н. М. Козяр, А. В. Кравченко. *Восточно-европейский журнал передовых технологий*. №1(54)2019. С 11-15. Doi: 10.15587/2313-8416.2019.156097
6. James W. Fleming, Mark D. Reed,' Eric J.P. Zegers, Bradley A. Williams, Ronald S. Sheinson. Extinction studies of propane/air counterflow diffusion flames: the effectiveness of aerosols : Halon Options Technical Working Conference (Albuquerque, NM, 12–14 May 1998). Albuquerque, NM, 1998. С.403-414
7. V.M. Balanyuk. Opredelenie effektivnosti tusheniya ognetushaschimi aerezolyami goryuchih zhidkostey na otkryitom prostranstve. *Vostochno-Evropeyskiy zhurnal peredovyih tehnologiy* 5/10, S. 4-11. 2015.
8. Агафонов В.В., Жевлаков А.Ф., Копилов Н.П., Николаев В.М. Перспективы застосування установок аерозольного пожежогасіння. *Науково-технічне забезпечення протипожежних і аварійно-рятувальних робіт: матеріали XII Всеросійської науково-практичної конференції (м.Москва, 1993 р.)*. Москва, 1993. С. 161-162.

References

1. Balanyuk V.M., Kozyar N.M., Kopistinskiy Yu.O., Kravchenko A.V., Problemi gasInnya spirtIv ta Yih sumIshey. *Fire Safety*, #33, 2018. S. 5-9. DOI: 10.32447/20786662.33.2018.01.
2. A.S. Androsov., Teoriya goreninya i vzryiva : uchebnoe posobie dlya kursantov, studentov i slushateley obrazovatelnyih uchrezhdeniy MChS Rossii / A. S. Androsov, I. R. Begishev, E. P. Saleev ; - М. 2007.S – 237.
3. Tarahno O.V., Zhernoklov K.V., Tregubov D.G. Teoriya rozvitku ta pripinennya gorInnya. MetodichnI vkaZIvki do vivchennya kursu, kontrolnI zavdannya dlya kursantIv, sluhachIv dennoYi ta zaochnoYi form navchannya – HarkIv: UnIversitet tsivIl'nogo zahistu UkraYini, 2011 – 207 s.
4. Balanyuk V.M., Extinguishment of n-heptane diffusion flames with the shock wave, *ВіТР* Vol. 42, Issue 2, 2016, pp. 103-111.
5. SposIb pIdsharovogo gasInnya spirtIv vognegasnim aerezolem. V. M. Balanyuk, N. M. Kozyar, A. V. Kravchenko. *Vostochno-evropeyskiy zhurnal peredovyih tehnologiy*. #1(54)2019. S 11-15. Doi: 10.15587/2313-8416.2019.156097
6. James W. Fleming, Mark D. Reed,' Eric J.P. Zegers, Bradley A. Williams, Ronald S. Sheinson. Extinction studies of propane/air counterflow diffusion flames: the effectiveness of aerosols : Halon Options Technical Working Conference (Albuquerque, NM, 12–14 May 1998). Albuquerque, NM, 1998. С.403-414
7. V.M. Balanyuk. Opredelenie effektivnosti tusheniya ognetushaschimi aerezolyami goryuchih zhidkostey na otkryitom prostranstve. *Vostochno-Evropeyskiy zhurnal peredovyih tehnologiy* 5/10, S. 4-11. 2015.

8. Agafonov V.V., Zhevlakov A.F., Kopilov N.P., Nikolaev V.M. Perspektivi zastosovannya ustanovok aerolnogo pozhezhogastnyya. Naukovo-tehnichne zabezpechennya

protipozhezhnih I avariyno-ryatuvalni robIt: materialy XII Vserosiyskoyi naukovo-praktichnoyi konferentsiyi (m.Moskva, 1993 r.). Moskva, 1993. S. 161-162.

V.M. Balanyuk, N.M. Kozyar, A.V. Kravchenko

PROSPECTS AEROSOL SUBLAYER QUENCHING OF ALCOHOLS

The study addresses the problems of gas alcohols and describes the factors that make the fire extinguishing efficiency of aerosol refractory gas alcohol.

To date, alcohol storage facilities are not sufficiently protected, as evidenced by the fires that occur on them. The actuality of the work is emphasized by the fact that the fires at the objects for the storage and processing of alcohols and their mixtures are characterized by a high velocity of flame propagation up to 10 m / s, and the achievement of high values of temperatures inside the volume in the first minutes, the possibility of explosions of both gas and air mixtures and pressure vessels subjected to heat. The article theoretically describes the quenching process and shows that such quenching must be effective at the expense of synergies between the factors of influence. The paper presents the analysis and theoretical generalizations of the process of extinguishing alcohols and alcohol-containing liquids. The disadvantages of quenching alcohols and alcohol-containing liquids by foam agents are indicated. The process of quenching by inert gas is considered and the method of sublayer quenching of alcohols by extinguishing aerosol is proposed. It is established that sublayer quenching by aerosol occurs in 3 stages. At the first stage - at the exit of the aerosol there will be mixing of the liquid, reducing the surface temperature of the combustible liquid and equalizing the temperature on its height the column of the liquid. At the second stage - after the aerosol exits the fluid layer and enters the surface, the concentrations of the components of the combustion mixture are reduced, the radiation shielded from the combustion zone and its influence on the surface of the combustible liquid and the sides of the tank are reduced. At the third stage, when the aerosol enters the combustion zone, the following extinguishing factors are realized: inhibition, phlegmatization, cooling, and partially change of physical parameters, such as increase in pressure and volume. The combination of these factors at the same time provides a significant reduction in the time of quenching of alcohol compared to conventional methods of quenching.

By the result of the analysis of the process of extinguishing alcohol and alcohol-containing mixtures by different extinguishing agents it has been theoretically substantiated and experimentally confirmed the high efficiency of sublayer quenching by gas-aerosol mixtures of alcohols and their mixtures. The advantages of this type of extinguishing are the low cost of the fire extinguishing system, the considerable period of operation, the high extinguishing efficiency and ease of maintenance and use.

Keywords: fire danger, fire extinguishing aerosol, fire extinguishing, shock wave, ethyl alcohol, ethanol.