

Ю.М. Марусяк, (ГУ МНС у Львівській області), В.М. Баланюк, канд. техн. наук,  
В.В. Кошеленко, канд. техн. наук (Львівський державний університет безпеки життєді-  
яльності)

## ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ГАЗІВ $\text{CO}_2$ , $\text{N}_2$ , В ЯКОСТІ НАПОВНЮВАЧІВ ВОГНЕГАСНИХ ПІН

В роботі здійснено огляд основних процесів які протікають в час утворення, існування та гасіння піною. Розглянуто фактори які впливають на процес стійкості піни. Визначено вплив різнотипних газових наповнювачів пінної дисперсної системи з погляду на зміну ефективності гасіння.

Вказано, що використання комплексу газових наповнювачів для піни є перспективним напрямком, який вивчений недостатньо добре. Оскільки суміші інертних газів володіють високою вогнегасною ефективністю то поєднання домінуючих факторів впливу в одній вогнегасній системі дало б відповідне підвищення вогнегасної ефективності піни. Таким чином необхідно сконцентрувати увагу на вивченні способів застосування газів флегматизаторів в структурі піни.

*Ключові слова:* вогнегасна піна, вуглекислий газ, азот, інертні гази, дисперсна система, флегматизатор.

**Постановка проблеми.** Для об'ємного пожежогасіння широко використовуються вогнегасні піни. При гасінні піною можуть виникати ситуації коли відбувається повторне займання, особливо біля джерел запалювання які розташовані в безпосередньому контакті з горючою речовиною оскільки кількості піни недостатньо для тривалого ізолювання поверхні горючої речовини від повітря. Крім цього сама піна містить в собі повітря яке в результаті її руйнування може вивільнюватись та підтримувати горіння парів горючої рідини або речовини які під час активного кипіння або термічного розкладу можуть прориватись крізь неї. Враховуючи ці дані моменти, для забезпечення ефективності, об'єм піноутворювача повинен бути більшим в 3 рази, а води в 5 разів [1]. Розрахунковий час пінного гасіння, згідно з інструкцією щодо гасіння пожеж легкозаймистих та горючих рідин [1], становить 50 хвилин для легкозаймистих речовин з температурою спалаху нижче  $28^\circ\text{C}$ , 30 хвилин для горючих рідин з температурою спалаху  $28^\circ\text{C}$  та для горючих рідин з температурою спалаху вище  $95^\circ\text{C}$  становить 25 хвилин. Приймаючи до уваги значення часу гасіння та запаси ресурсів можна говорити про надзвичайну ресурсомікність та високу вартість процесу гасіння горючих рідин. Крім цього у випадках невмілого застосування, піна подається з недостатньою інтенсивністю, короткочасно, неякісна, без забезпечення умов для її просування. В таких випадках невисока ефективність гасіння і без того зменшується і відповідно додатково збільшуються затрати. Пристрої для отримання піни є технологічно складними та дорогими, а сам процес отримання піни як підкреслено вище, вимагає витрат великої кількості ресурсів – піноутворювача, води, палива, роботи людей та автомобілів. Виходячи з цього, можна зробити висновок про надзвичайно високу актуальність проблеми ефективного та недорогого пінного гасіння горючих рідин та матеріалів.

**Виклад основного матеріалу.** Застосування поверхнево активних речовин (ПАР) інтенсифікували багато технологічних процесів в промисловості. Особливо це стосується ПАР, які дозволяють отримувати повітряно-механічну піну. Піни використовуються в будівельній справі для виготовлення пінобетону і утеплення бетону у зимовий період, а також для запобігання замерзання ґрунтів. В шахтах і кар'єрах, за допомогою пін зменшується утворення пилу, в хімічній і нафтохімічній промисловості попереджаються спалахи та вибухи при проведенні зварювальних, ремонтних та інших робіт. В хімічній промисловості для попередження вибухів в технологічних апаратах та резервуарах. Все більше застосовують піни у ливарній промисловості, в авіації (для покриття злітно-посадкових смуг аеродромів підчас аварійної посадки літаків) та інших областях народного господарства.

Особливе значення піни та поверхнево активні речовини мають у гасінні пожеж. Експериментально і теоретично доведено, що ПАР приблизно вдвічі підвищує вогнегасну ефективність води. Гасіння нафти, нафтопродуктів та інших горючих рідин без піни фактично не можливе. Припинення горіння відбувається через сумісний вплив таких факторів, як ізоляція поверхні горючої речовини піною, флегматизація інертними газами, та продуктами термічного розкладу піни, охолодження компонентами піни – водним розчином піноутворювача та частково інертним газом. При застосуванні вогнегасної піни яка наповнена повітрям та її руйнуванні в оточуюче середовище потрапляє певна кількість повітря, що може стати додатковим чинником який сприятиме горінню. Зберігання заряду розчину піноутворювача для отримання піни вимагає посудин які перебувають під тиском, а зберігання розчину є термінованим та потребує постійного поновлення.

Залежно від умов, що склались на пожежі, піни повинні мати певні властивості: необхідну кратність, стійкість, в'язкість і т.д. Ці якості багато в чому визначаються природою піноутворювача і структурою отриманої піни.

Таким чином, практика застосування пін ставить перед наукою і технікою ряд актуальних та цікавих завдань, таких як розробка пристроїв які б суміщали в собі переваги вогнегасних пін та флегматизаторів із заздалегідь заданими властивостями.

Специфічні вимоги, що висуваються до пін, не можуть бути задоволені без ретельного та глибокого вивчення процесів піноутворення, умов, у яких зароджуються та руйнуються як окремі бульбашки, так і піна в цілому.

Збільшення ефективності гасіння піною можливе через збільшення частки впливу інших факторів які є в основі гасіння, а особливо ефекту флегматизації та інгібування. Флегматизація є ефективним процесом перетворення горючої системи на негорючу. Неможливість виникнення горіння горючої системи пояснюється дією флегматизатора на фізичному рівні через поглинання енергії активних центрів полум'я та охолодження зони кругом полум'я та частково поверхні горючої речовини. Як відомо [2], охолодження зони кругом полум'я призводить до суттєвого зменшення швидкості горіння. В результаті якщо буде виконуватись умова коли кількість тепла яке відводиться в навколишнє середовище переважатиме кількість тепла яке утворюється в результаті реакції горіння відбудеться затухання. Флегматизуюча концентрація газів порівняно з іншими об'ємними вогнегасними речовинами є достатньо великою. Існує різниця між вогнегасною та флегматизаційною концентрацією. Так для вуглекислого газу вогнегасна концентрація рівна 25% - 30% флегматизаційна 40% - 50%, азоту вогнегасна – 40% - 45% флегматизаційна – 55% і вище. [3]. Вплив газів наповнювачів на вогнегасну ефективність пін є мало дослідженим і для вибору ефективного газового компонента наповнювача — CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, Ar, необхідно розглянути особливості впливу кожного з них на пінну дисперсну систему. Транспортування флегматизатора в зону горіння за допомогою піни є зручним, оскільки у випадку вивільнення флегматизатора з піни він буде діяти в найбільш потрібній ділянці. Для визначення ефективних шляхів удосконалення процесу гасіння пінами сумісно з флегматизаторами необхідно розглянути властивості пін. Для розгляду значення різних факторів у стійкості і житті плівок та пін необхідно спочатку зупинитися на деяких загальних питаннях процесів створення та руйнування піни, а також на питаннях будови, властивостей та стійкості індивідуальних плівок, що моделюють плівку піни. Піни являють собою грубодисперсні колоїдні системи, містять в якості дисперсної фази газову фазу і в якості дисперсного середовища рідку або затверділу фазу.

За структурою можна розрізнити піни емульсійного типу, в яких бульбашки зберігають кулеподібну форму і залишаються розділеними порівняно товстими прошарками рідини, і піни осередкового типу, в яких прошарки рідини між бульбашками робляться тоншими швидко і набирають вигляду поліедрів – осередків. Тип піни визначається швидкістю, з якою тоншають прошарки осередків рідини, їхньою стійкістю, а також концентрацією бульбашок.

Однією із головних, але ще не достатньо вивчених властивостей пін, над вивченням якого працюють багато дослідників, є їх стійкість у часі. В загальному, стійкість пін виражається часом їхнього існування, при чому характеристики стану піни та зміни його в часі застосовують різні величини: загальний об'єм піни чи висота шару піни; щільність піни, яка визначається числом плівок чи бульбашок в одиниці об'єму або середній радіус бульбашки; склад рідини в одиниці об'єму піни і зворотну їй величину – кратність, товщину плівок піни. Ці величини не є незалежними, хоча їх кількісний зв'язок не простий, як наслідок полідисперсності піни, та висоти її стовпа.

Наприклад, для теплоізоляції будь-якої поверхні, найбільш важливим може бути загальний об'єм піни, тобто збереження нанесеного шару піни, що є визначним для нетеплопровідного шару, ізолюваного від зовнішнього конвективного простору і тим самим зменшуючого тепловіддачу поверхні, що ізолюється. В цьому сенсі верхня межа шару піни деякою мірою еквівалентна полімерній плівці, яка розташована на рівні зовнішньої межі піни, та ускладнює конвективний обмін газу (повітря). Проте, зрозуміло, що в такому випадку має важливе значення щільність піни, що впливає на конвективне перенесення газу усередину шару піни. [4]

Оскільки піни являють собою сукупну множину бульбашок, якій властиві особливості саме такої системи, наприклад, ріст більших бульбашок, в'язкість піни залежить від швидкості розтягу плівок, поверхневого натягу рідини. На сьогодні крім робіт, що стосуються пін в цілому, найбільше число вельми важливих досліджень проведено стосовно досліджень властивостей ізолюваних плівок, бульбашок, поверхневих шарів у розчинах, та розчинів ПАР. Ці роботи привели до ряду цінних відомостей, до нових уявлень про механізми, які визначають стійкість плівок і пін та втрату ними рідини. На жаль, далеко не всі висновки сучасних робіт можуть бути застосовані для конкретної розробки ефективних пінних засобів пожежогасіння. Для поєднання ефектів ізолювання та флегматизації в піні необхідно розглянути і властивості флегматизаторів.

Припинення горіння шляхом введення в зону реакції негорючих речовин і попередження створення вибухонебезпечної концентрації компонентів можна віднести до методу розбавлення чи флегматизації.

З погляду застосування в пінах в якості наповнювачів, зараз застосовуються інертні компоненти – діоксид вуглецю, азот, аргон, а також продукти горіння та вихлопні гази [5].

Метод флегматизації широко використовується для припинення самозаймання в закритих технологічних апаратах – реакторах, скруберах, ректифікаційних колонах і т.д. Широко застосовується припинення горіння методом флегматизації в автоматичних системах пожежогасіння.

Якщо розглянути механізм припинення горіння інертними розчинниками в складі піни, то після вивільнення з структури піни потрапляючи в зону реакції горіння гази-розчинники знижують концентрацію молекул горючого і окисника в одиниці об'єму суміші  $\varphi_f$  і  $\varphi_{ок}$  відповідно до зменшення кількості молекул. Зниження концентрації компонентів приводить до зниження швидкості реакції окислення в зоні реакції горіння – полум'я: Визначити швидкість реакції горіння ми можемо виходячи з рівняння Арреніуса. [6]

$$\omega_{XP} = A_0 \varphi_f^n \cdot \varphi_{ок}^m \cdot \exp\left(-\frac{E_{акт}}{RT_{sp}}\right)$$

де  $A_0$  – передекспоненціальний множник;

$\varphi_f; \varphi_{ок}$  – концентрація горючого і окисника;

$E_{акт}$  – енергія активації реакції;

$T$  – температура;

$R$  – універсальна газова стала.

Таким чином, підвищуючи чи знижуючи концентрацію одного із реагуючих компонентів – горючого або окисника через вплив піни на поверхню горючої речовини, можна знизити швидкість реакції до рівня, коли виникнення горіння чи його розповсюдження стає недоступ-

ним. Зниження адіабатної температури горіння органічних з'єднань до 1300 К (реальна температура горіння 1400-1700 °С) [7], та зниження концентрації горючого в газоповітряній суміші призводить до припинення горіння. Ця суміш не самозаймається навіть від потужного джерела запалювання. Крім цього додатковим чинником сповільнення реакції буде виділення інертних газів в середовище над поверхнею піни, що призведе до підвищення енергії активації та відповідно збільшення енергозатрат на ініціювання реакції горіння. Зниження швидкості хімічної реакції приводить, в свою чергу, до зниження швидкості тепловиділення і температури.

$$Q_{ТВ} = Q'_H \cdot V_{Г.С.} \cdot \omega_{ХР}$$

де  $Q'_H$  – низька теплота згорання, кДж/кг;  
 $V_{Г.С.}$  – об'єм горючої системи, м<sup>3</sup>.

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.

Залежність температури горіння від концентрації реагуючих речовин може бути визначена з рівняння теплового балансу: [8]

$$T = T_0 + \frac{\eta Q_H}{\sum_{i=1}^n V_{ПГ_i} C_{P_{ПГ_i}} + V_{Ф} C_{P_{Ф}}}$$

де  $T_0$  – початкова температура;  
 $Q_H$  – теплота хімічної реакції;  
 $\eta$  – коефіцієнт недопалу;  
 $C_{P_i}$  – теплоємність 1-го продукту згорання;  
 $V_{ПГ_i}$  – об'єм в молях 1-го продукту згорання;  
 $C_{P_{Ф}}$  – теплосміність компонента;  
 $V_{Ф}$  – об'єм в молях не вступаючих в реакцію компонентів.

З рівняння випливає, що бідні або багаті суміші відрізнятимуться від стехіометричного складу тим, що буде більший об'єм не прореагувавшего надлишкового компонента реакції, і відповідно нижча температура горіння. На практиці це має широке застосування для зниження пожежонебезпечних речовин. Таким чином, вводячи інертні гази, в склад піни можна горючі суміші переводити в негорючий стан і паралельно ізолювати та охолоджувати поверхню горючої речовини. При введенні в газоповітряну суміш інертних газів (флегматизаторів) – диоксиду вуглецю, азоту, парів води, гелію, аргону і таке інше, область спалахування звужується – нижня границя зростає, а верхня знижується, як зображено на рис. 1. Крім цього при подачі піни з флегматизатором поверхня зазнає охолодження та ізолювання від зони горіння. При кількості флегматизатора, що відповідає мінімальній флегматизувальній концентрації, верхня і нижня межа звужуються, створюючи точку флегматизації, що показано на рис 1.

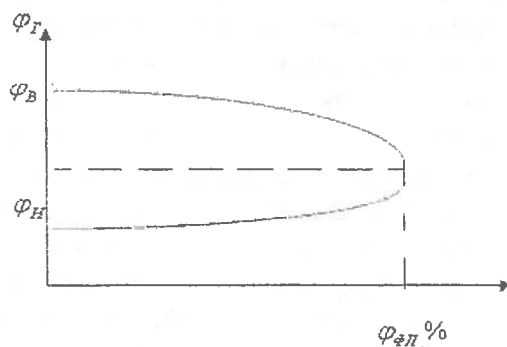


Рис.1. Утворення флегматизувальної точки

Оскільки підвищення концентрації інертного газу рівносильне зниженню концентрації кисню в горючій суміші, а дифузійне горіння більшості горючих речовин зупиняється при концентрації кисню в суміші меншій 14-16% то якщо в піні буде міститися достатня кількість флегматизатора, відповідно вогнегасний ефект газів-розчинників можна звести до механічного застосування закону Арреніуса. З цього отримуємо, що вогнегасна концентрація не буде залежати від властивостей інертних газів, однак з практики відомо, ефективність застосування азоту нижча, ніж у аргону, а у аргону нижча, ніж у диоксиду вуглецю. Таким чином найбільш ефективним флегматизатором буде газ з великою молекулярною масою. Крім розглянутого механізму припинення горіння, нейтральні гази чинять іншу вогнегасну дію. Попадаючи в зону горіння, нейтральні гази нагріваються, забираючи на себе частину виділеної в результаті горіння енергії. Кількість енергії, витраченої на нагрівання нейтральних газів, можна визначити як:

$$Q_{н.ф.} = V_{фi} \cdot \rho_{ф} \cdot C_{рф} (t_{Гор} - t_0)$$

$$Q_{н.р.} = m_{ф} \cdot C_{рф} (t_{Гор} - t_0)$$

де:  $\rho_{ф}$  – фактична густина газу, кг/м<sup>3</sup>;

$C_{рф}$  – фактична теплоємність газу, кДж/кг К;

$t_0$ ;  $t_{Гор}$  – початкова і кінцева температура газу, К;  $V_{Гор}$  – об'єм газу, м<sup>3</sup>.

Звідси можна зробити висновок, що чим вища молекулярна маса а відповідно теплоємність газу, тим вища вогнегасна здатність флегматизатора. Крім відбору тепла за рахунок теплоємності газу температура може змінюватися за завдяки різкому збільшенню коефіцієнта теплопровідності.

Підвищення коефіцієнта теплопровідності призводить до підвищення швидкості тепловідводу з зони реакції горіння. З цієї причини подеколи після введення флегматизатора підвищення теплопровідності горючої суміші, вогнегасний ефект настільки знижується, що це призводить до прискорення прогрівання нової суміші і її спалахування, за умови що концентрація флегматизатора не є достатньою в цій ділянці.

Кількість тепла відведеного в охолоджену зону, може бути визначена з рівняння Фур'є як:

$$q_{ТО} = -\lambda_1 \frac{dt}{dx}$$

Таким чином застосування флегматизаторів та їх сумішей як наповнювачів в вогнегасних пінах є перспективним напрямом який потребує подальших досліджень. Найбільш ефективними газами-флегматизаторами для використання в пінних дисперсних системах можна визнати вуглекислий газ, азот та їх суміші. Причому швидкість розтікання буде більшою в піні яка наповнена СО<sub>2</sub> так як молекулярна вага вуглекислого газу в 2 рази є більша ніж у N<sub>2</sub>. Застосування пін з газами – флегматизаторами дозволить використовувати всі переваги методу ізоляції та флегматизації та використовувати такі піни для гасіння з більшою ефективністю висококиплячих горючих рідин а також об'ємів з складною конфігурацією де горіння можливе не тільки в горизонтальній площині а й у вертикальній. Таким чином необхідно визначити оптимальне співвідношення між вогнегасною ефективністю засобу масою газу та кратністю піни.

Поєднання процесів гасіння горіння вогнегасними пінами та газами флегматизаторами є ефективним методом попередження та припинення процесів горіння. Поєднання переваг кожного з них в одному засобі є актуальною науково-практичною задачею яка потребує подальших досліджень. Використання в вогнегасних пінах флегматизатора дозволяє використовувати її на відкритих просторах з максимальних ефектом від флегматизування в потрібному місці – над поверхнею горючої речовини – в зоні горіння. Таким чином можна ще раз підкреслити актуальність дослідження піни як засобу доставки флегматизатора до місця горіння – гасіння. Таким чином вплив газового компонента на властивості та вогнегасну ефективність піни є складним явищем, яке потребує подальшого дослідження.

### Список літератури:

1. НПБ 05.035 – 2004. Інструкція щодо гасіння пожеж в резервуарах із нафтою і нафтопродуктами.
2. Розловский А.Н. Основы техники взрывобезопасности при работе с горючими газами и парами. – М.: Химия, 1980. – 375 с.
3. Монахов В.Т. Методы исследования пожарной опасности веществ. – М.: Химия, 1979. – 424 с.
4. Шароварников А.Ф. Противопожарные пены. Состав, свойства, применение. М. Знак, 2000 – 464 с.
5. Ковалишин В.В., Васильева О.Э., Козьяр Н.М. Пінне гасіння. – Львів, СПОЛОМ. – 2007. 168 с.
6. Баратов А.Н., Иванов Е.Н. Пожаротушение на предприятиях химической и нефтеперерабатывающей промышленности. – М.: Химия, 1979. – 366 с.
7. Абдурагимов И.М., Говоров В.Ю., Макаров В.Е. Физико-химические основы развития и тушения пожаров. – М.: ВПТШ МВД СССР, 1980. -- 255 с.
8. Хитрин А.Н. Физика горения и взрыва. – М.: Изд-во Московского Университета, Москва, 1957. – 442 с.

*Ю.М. Марусяк, (ГУ МЧС в Львовській області), В.М. Баланюк, канд. техн. наук, В.В. Кошеленко, канд. техн. наук (Львовский государственнй университет безопасности жизнедеятельности)*

### ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГАЗОВ CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, В КАЧЕСТВЕ НАПОЛНИТЕЛЕЙ ОГNETУШАЩИХ ПЕН

В работе осуществлен обзор основных процессов, которые протекают во время образования, существования и гашения пеной. Рассмотрены факторы, которые влияют на процесс стойкости пены. Определенно влияние разнотипных газовых наполнителей пенной дисперсной системы с точки зрения изменения эффективности гашения и стойкости пены. Указано, что использование комплекса газовых наполнителей для пены является перспективным направлением, которое изучено недостаточно хорошо.

Поскольку смеси инертных газов владеют высокой огнетушительной эффективностью то сочетание доминирующих факторов влияния в одной огнетушительной системе дало бы соответствующее повышение огнетушительной эффективности пены. Таким образом необходимо сконцентрировать внимание на изучении способов применения газов флегматизаторив в структуре пены.

**Ключевые слова:** огнетушащая пена, инертные газы, дисперсная система, флегматизатор

*Yu.M. Marusyak, The Main Department of MES in Lviv region, V.M. Balanyuk, Candidate of Sciences (Engineering), V.V. Koshelenko, Candidate of Sciences (Engineering) (Lviv State University of Vital Activity Safety)*

### PROSPECTS OF CO<sub>2</sub> AND N<sub>2</sub> USE AS THE EXTINGUISHING FOAMS FILLER

The article deals with the review of the main processes carried out during the creation, existing and extinguishing by foam. The factors influenced on the process of foam resistance are considered. The influence of different-type gas-filler of disperse system on the change of efficiency of extinguishing and resistance of foam is determined. The usage of gas fillers for foam is perspective but is studied not closely.

The compounds of inert gases have high fire-extinguishing efficiency, in this case the combination of dominant factors of influence in one fire-extinguishing system will give appropriate increment in fire-extinguishing activity of foam. It is important to concentrate on the studying of the ways of the retarders' usage in foam structure.

**Key words:** fire-extinguishing foam, inert gases, disperse system, retarder