

УДК 614.842.615

**ЩОДО ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПІНОУТВОРЮВАЧІВ У РАЗІ ГАСІННЯ МОТОРНОГО ПАЛЬНОГО З ПОЛЯРНИМИ ДОБАВКАМИ**

*В.О. Боровиков, канд.техн.наук, ст.наук.співр., О.М. Слуцька  
Український науково-дослідний інститут цивільного захисту, Україна*

**ІНФОРМАЦІЯ ПРО СТАТТЮ**

*Надійшла до редакції: 20.04.2017  
Пройшла рецензування: 15.05.2017*

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:**

добавка, пальне, піна,  
піноутворювач, пожежа,  
пожежогасіння, система, стандарт

**АНОТАЦІЯ**

Обґрунтовано необхідність і описано пропонувані підходи щодо визначення вогнегасної ефективності піни, генерованої з робочих розчинів піноутворювачів, у разі гасіння моторного пального з добавками полярних горючих рідин, що використовуються для підвищення його детонаційної стійкості.

Як відомо [1 – 3], одним з чинників руйнування піни під час гасіння горючих (легкозаймистих) рідин є так зване контактне втягування плівок в пальне. Інтенсивність перебігу цього процесу значною мірою залежить від фізичних властивостей горючої рідини, насамперед від її полярності. Полярними зазвичай називають горючі рідини, молекули яких мають значний (близько  $(3 \dots 10) \cdot 10^{-30}$  Кл·м) дипольний момент, тобто добуток часткового заряду атомів молекули на відстань між ними. Молекули таких рідин складаються з атомів, які суттєво відрізняються за величиною електронегативності, тобто відносної здатності набувати частковий від'ємний заряд за рахунок зміщення густини електронної хмари. До полярних горючих рідин належать спирти, альдегіди, кетони, карбонові кислоти, окремі галогеновані вуглеводні, меркаптани та інші органічні сполуки, а також розчинники для масляних фарб і деякі інші розчинники промислового і побутового призначення. Більшість нижчих представників різних класів органічних сполук, які являють собою горючі рідини, добре розчиняються у воді. На відміну від вищеназваних класів органічних сполук, насичені і ненасичені вуглеводні (пентан, гексан, гептан, циклогексан, бензол, толуол тощо), а також суміші, які складаються переважно з вуглеводнів (нафта, окремі види бензину, гас, дизельне пальне, бітуми і т. ін.) мають малий (зазвичай  $(0,0 \dots 0,2) \cdot 10^{-30}$  Кл·м) дипольний момент і практично не розчиняються у воді. Такі рідини називають неполярними.

Здатність полярних рідин інтенсивно руйнувати піну давно відома [1], у зв'язку з чим для їх гасіння зазвичай використовують так звані “спиртостійкі” (“полівалентні”) піноутворювачі [2, 3]. Для забезпечення

придатності для гасіння полярних горючих рідин у складі сучасних піноутворювачів, призначених спеціально для їх гасіння, як правило, використовують водорозчинні полімери класу тиксотропних полісахаридів. Під час контакту з полярною горючою рідиною піни, генерованої з їх робочих розчинів, відбувається її руйнування, що супроводжується коагуляцією водорозчинного полімеру, який забезпечує достатньо ефективне екранування нових порцій піни, що подається, від впливу полярної горючої рідини. Як наслідок, її руйнування уповільнюється, забезпечується поступове покриття піною все нових ділянок поверхні полярної горючої рідини і врешті решт настає її гасіння. Для забезпечення найвищої вогнегасної ефективності піни під час гасіння таких рідин створюють умови, за яких швидкість її стикання з палимим найнижча (подають піну “м’яким” способом). Подавання піни “м’яким” способом означає її нанесення не безпосередньо на поверхню палаючої рідини, а опосередковане подавання на неї шляхом спливання піни з поверхні екрана, стінки резервуара або іншої поверхні, куди піна подається зі ствола-генератора піни, пінокамери або іншого пристрою.

Як відомо, для підвищення детонаційної стійкості (октанового числа) моторного пального (бензину) можуть використовуватись різноманітні добавки, серед яких тетраетилсвинець, пентакарбоніл заліза, метил-трет-бутиловий ефір, окремі нижчі спирти та ін. Натомість використання тетраетилсвинцю у світі поступово обмежується, в більшості розвинених держав, у тому числі в Україні, виробництво пального, що містить його (етилованого бензину), припинено або ж обсяги виробництва зведено до мінімуму.

Використання з цією метою пентакарбонілу заліза також обмежено або припинено, зокрема, через можливість утворення на свічах двигунів внутрішнього згоряння струмопровідних доріжок, наявність яких може призвести до ускладнень під час роботи двигунів або їх пошкодження.

У той же час, використання метил-трет-бутилового ефіру, нижчих спиртів та інших полярних добавок для підвищення октанового числа пального стало повсюдним, залежно від способу одержання, марки, заводу-виробника бензин може містити до 10 % добавок полярних рідин і більше. Бензин, що містить полярні добавки-антидетонатори (так званий "газохол"), являє собою їх суміш з неполярними рідинами (переважно вуглеводнями), що містяться в нафті, з якої його виготовляють. Для стабілізації цієї системи, що являє собою емульсію, використовують емульгатори. Відомо [2, 3], що наявність полярних компонентів у бензині може вплинути на його здатність руйнувати піну, генеровану з робочих розчинів піноутворювачів для гасіння пожеж, а збільшення вмісту полярної речовини означатиме посилення руйнування піни.

Висока пожежна небезпечність усіх видів бензину, небезпека пожеж у резервуарах для його зберігання та високі збитки від них, а також ускладнення, з якими пов'язане гасіння пожеж у резервуарах для зберігання бензину як стаціонарними системами пожежогасіння, так і пересувною протипожежною технікою зумовлюють необхідність забезпечення належної ефективності боротьби з пожежами на таких об'єктах. Водночас, як відомо, успішність гасіння пожеж суттєво залежить від ефективності вогнегасних речовин, що застосовуються. Тому від вірного вибору піноутворювача і протипожежного обладнання, а також способу, інтенсивності і тривалості подавання піни під час гасіння бензину, що містить полярні добавки, залежить успішність його гасіння.

Метою цієї роботи було аналізування літературних даних і вимог нормативних документів щодо протипожежного захисту об'єктів зберігання неетилованого бензину стаціонарними системами пожежогасіння, а також обґрунтування загальних підходів до оцінювання можливості та визначення умов застосування в таких системах піноутворювачів, не призначених для гасіння полярних горючих рідин.

Дослідженням з оцінювання вогнегасної ефективності піни, генерованої з робочих розчинів піноутворювачів різної хімічної природи під час гасіння бензину, присвячено велику кількість робіт. Зокрема, у 80-х – 90-х роках минулого століття було проведено ряд натурних випробувань з його гасіння [4 – 8], які дали змогу оцінити відносну ефективність піноутворювачів різних видів під час гасіння вуглеводневого пального. Також проведено ряд експериментальних (наприклад, [9 – 11]) і теоретичних [2, 3] досліджень, під час яких вивчали вогнегасну ефективність піни під час гасіння моторного пального, що містить полярні добавки-антидетонатори. Водночас, систематизовані дані, які дали б змогу порівняти вогнегасну ефективність піни, генерованої з робочих розчинів піноутворювачів тієї чи іншої хімічної природи чи навіть однієї марки, під час гасіння етилованого і неетилованого бензину в літературі практично відсутні, зокрема, навіть роботи [2, 3, 11], автори яких провели великий обсяг робіт щодо систематизації наявної в літературних джерелах інформації, містять лише окремі дані щодо піноутворювачів, які здебільшого вже знято з виробництва і не дають змоги прогнозувати особливості процесів взаємодії повітряно-механічної піни, генерованої з робочих розчинів піноутворювачів інших марок, з полум'ям під час гасіння неетилованого бензину.

Вимоги нормативних документів, які регламентують порядок застосування систем пінного пожежогасіння для захисту об'єктів зберігання моторного пального з добавками полярних горючих рідин останнім часом суттєво змінилися. Так, наприклад, видання стандарту щодо стаціонарних систем пінного пожежогасіння NFPA 11 [12], датоване 1994 роком, містить вимоги щодо підвищення нормативної інтенсивності подавання робочих розчинів піноутворювачів під час гасіння так званого газохолу (бензину, що містить більше ніж 10 % добавок полярних горючих рідин) на 25 %, у той час як ряд більш пізніх видань цього ж стандарту (у тому числі 2016 року) регламентують застосування з цією метою "спиртостійких" піноутворювачів. Ймовірною причиною такої зміни вимог є прагнення гарантувати можливість гасіння неетилованого бензину будь-якого складу за нормованих параметрів подавання піни, водночас, техніко-економічне обґрунтування доцільності застосування в подібних випадках піноутворювачів, призначених для гасіння

полярних горючих рідин, предметом стандарту не є. Аналогічно, п. 5.2.1 ДСТУ Б EN 13565-2:2013 [13] передбачає використання “спиртостійких” піноутворювачів, які відповідають вимогам ДСТУ EN 1568-4:2014 [14], у випадках, коли вміст кисневмісних добавок в моторному пальному перевищує 10 % (об). Натомість цей самий пункт допускає використання піноутворювачів інших типів, якщо випробуваннями, проведеними незалежною стороною, встановлено їх придатність до використання з цією метою. Водночас, жодних вимог чи настанов стосовно порядку проведення таких випробувань стандарт не містить, що наразі не дає змоги чітко регламентувати порядок визначення придатності та умов застосування піноутворювачів, що не відповідають вимогам стандарту [14], для гасіння неетилового бензину та інших подібних рідин.

Відомо [2, 3, 12 – 15], що використання “спиртостійких” піноутворювачів у більшості випадків пов’язане з певними труднощами. Зокрема, більшість з них через наявність водорозчинних полімерів є високов’язкими рідинами, для приготування робочих розчинів яких може знадобитися спеціальне обладнання (пінозмішувачі відповідних конструкцій, насоси з додатним зміщенням тощо). Певні труднощі можуть виникати також через наявність грудок, що зазвичай залишаються у водному розчині через неповноту змішування піноутворювача з водою. Так, наприклад, відповідно до п. 8.2.1 ДСТУ EN 13565-1:2015 [15], пінні зрошувачі потрібно оснащувати фільтрами, якщо через наявні в їх складі канали не проходить сферичне тіло діаметром 6,0 мм. Вартість таких піноутворювачів через більшу складність рецептури і технології виробництва за інших однакових умов також суттєво вища за вартість піноутворювачів, що не містять полімерних добавок. У той же час, зберігати робочі розчини піноутворювачів, придатних для гасіння полярних горючих рідин, у більшості випадків не допускається через висолювання водорозчинного полімеру. Відповідно, трубопроводи системи пожежогасіння мають являти собою сухотруби, що в багатьох випадках небажано.

Отже, забезпечення умов ефективного використання піноутворювачів, що не містять добавок водорозчинних полімерів, для гасіння моторного пального, що містить понад 10 % (об) кисневмісних добавок-антидетонаторів, дасть змогу як знизити матеріальні витрати, так і усунути технічні труднощі, пов’язані з

використанням високов’язких піноутворювачів, особливо під час гасіння пожеж пересувною протипожежною технікою. Актуальність цього питання, як вже відзначалося, зумовлено зростаючими обсягами виробництва і споживання так званого сумішевого пального, зокрема, бензину, що містить велику кількість кисневмісних добавок, у тому числі “біостанолу” (зневодненого етилового спирту, неочищеного від решти технологічних домішок).

Зважаючи на необхідність проектування стаціонарних систем пожежогасіння згідно з чинними нормами, піноутворювач може вважатися придатним для гасіння моторного пального, що містить більше ніж 10 % (об) полярних добавок, а також інших горючих рідин, що являють собою суміші полярних і неполярних компонентів, у разі виконання однієї або обох таких умов:

- вогнегасна ефективність (а також ізолювальна здатність у разі, якщо її нормовано) піни, генерованої з робочого розчину, відповідає тим самим класам, яким вона має відповідати у разі використання пального, передбаченого відповідною стандартизованою методикою випробувань;

- розрахункове значення нормативної інтенсивності подавання робочого розчину піноутворювача під час гасіння такої горючої рідини, визначене за результатами експериментального оцінювання критичної інтенсивності його подавання, не перевищує номінального значення, передбаченого ДСТУ Б EN 13565-2 [13] або ВБН В.2.2-58.1 [16] залежно від типу піноутворювача.

Те саме стосується застосування піноутворювачів для гасіння таких горючих рідин пересувною протипожежною технікою.

Проведення досліджень з визначення можливості та умов застосування піноутворювачів, що не містять добавок водорозчинних полімерів, для гасіння автомобільного бензину конкретного компонентного складу можна проводити, користуючись методиками оцінювання вогнегасної ефективності та ізолювальної здатності піни, які передбачено чинними стандартами, а також стендовими методиками оцінювання цих показників, розробленими лабораторіями, які валідовано в установленому порядку. Принципові підходи, а також запропоновані методики відповідних випробувань описано, зокрема, в роботах [17, 18], а відповідні стендові методики [19, 20]

реалізовано в Українському науково-дослідному інституті цивільного захисту.

Водночас, під час раніше проведених дослідів було виявлено, що на початкових стадіях подавання піни, генерованої з робочих розчинів піноутворювачів, призначених для гасіння неполярних горючих рідин, на поверхню палаючого бензину, що містить більше ніж 10 % кисневмісних добавок, може відбуватися її інтенсивне руйнування, але через певний час воно уповільнюється і характер взаємодії піни з паливом візуально не відрізняється від випадків гасіння неполярних горючих рідин. Ймовірними причинами такого уповільнення можуть бути розведення водою емульгованих полярних добавок, руйнування емульсії в процесі горіння внаслідок нагрівання пального, зменшення вмісту полярних компонентів в процесі вигорання або два або три з цих явищ одночасно.

Враховуючи на викладене, з метою визначення придатності певного піноутворювача, призначеного для гасіння неполярних горючих рідин, для гасіння бензину з конкретною полярною добавкою-антидетонатором або комбінацією таких добавок необхідно проводити такі дослідження:

– з визначення залежності тривалості гасіння, критичної інтенсивності подавання робочого розчину піноутворювача і (за необхідності) проміжку часу до повторного займання від компонентного складу бензину, зокрема, від хімічної природи і вмісту полярних добавок-антидетонаторів;

– з оцінювання показників вогнегасної ефективності та ізолювальної здатності піни від тривалості вільного горіння багатоконпонентної рідини;

– з виявлення кореляції між показниками вогнегасної ефективності та ізолювальної здатності піни, генерованої з робочого розчину піноутворювача, і товщиною шару рідини та тривалістю її вільного горіння;

– з оцінювання впливу способу нанесення піни на поверхню палаючої рідини (подавання

“жорстким” або “м’яким” способом) на показники її вогнегасної ефективності та ізолювальної здатності.

Беручи до уваги той факт, що компонентний склад (у тому числі природа і вміст полярних добавок-антидетонаторів) бензину різних виробників може суттєво відрізнятися, цілком очевидно, що оцінювати вогнегасну ефективність піни, генерованої з робочого розчину того чи іншого піноутворювача, потрібно окремо в кожному конкретному випадку. Все це повною мірою стосується також досліджень з виявлення впливу показників якості води, що використовується для приготування водних розчинів піноутворювачів, на вогнегасну ефективність піни, генерованої з них, оскільки за наявності домішок, які негативно впливають на неї (зокрема, мінеральних солей, залишків нафтопродуктів, що можуть міститися в оборотній воді нафтопереробного підприємства), можливе додаткове зниження вогнегасної ефективності піни під час гасіння нестилизованого бензину [1 – 3, 13, 16, 21 – 23].

Зважаючи на високі вартість і трудомісткість таких досліджень, їх планується проводити на засадах договорів з заінтересованими сторонами з подальшою систематизацією результатів і за можливості формування відповідної бази даних. Проводити їх передбачається за вищезгаданими стендовими методиками [19, 20] і, за необхідності, за методиками, регламентованими стандартами [24, 25]. Результати цих досліджень передбачено використати під час внесення змін і доповнень до чинних будівельних норм на склади нафти і нафтопродуктів [16], Інструкції щодо гасіння пожеж у резервуарах із нафтою та нафтопродуктами (НАПБ 05.035-2004) [22], а також Інструкції про порядок застосування і випробування піноутворювачів для пожежогасіння [23].

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Казаков М.В. Применение поверхностно-активных веществ для тушения пожаров – М.: Стройиздат, 1977. – 81 с.
2. Шароварников А.Ф. Противопожарные пены. Состав, свойства, применение. М.: Знак, 2000. – 486 с.
3. Тушение пожаров нефти и нефтепродуктов / Шароварников А.Ф., Молчанов В.П., Воевода С.С., Шароварников С.А. – М., Издательский дом “Калан”, 2002. – 448 с.
4. РЖ Пожарная охрана, 1988, 9А235. Опыты по тушению бензинов пеной. Gasoline fires and Foams / Briggs A.A., Webb J.S. // Fire Technol., 1988, т. 24, №1. – С. 48-58.
5. РЖ Пожарная охрана, 1980, 12А178. Тушение этилированного бензина. Extinguishing gasohol fires / Dimaio Louis R. // Fire J., 1980, т. 74, №2. – С. 60-63.
6. РЖ Пожарная охрана, 1981, 2А84. Сравнительные испытания на пожарах жидких топлив. Comparative tests on liquid fuel fires // Fire Int., 1980, т. 6, №68. – С. 65-79.

7. РЖ Пожарная охрана, 1981, 8А89. Испытания огнетушащей эффективности пены. Trials of foam on petrol pool fires / Wells Alan // Fire Prot., 1981, т. 44, №524. – С. 17.
8. РЖ Пожарная охрана, 1981, 9А80. Результаты испытаний по использованию пен для тушения пожаров разлитого бензина. Interesting results from trials of foam on petrol pool fires / Wells Alan // Fire Eng. J., 1981, т. 41, №121. – С. 40.
9. РЖ Пожарная охрана, 1982, 8А71. Метод тушения горящего газохолола. FRS investigates methods of dealing with gasohol fires / Briggs Tony // Fire, 1982, т. 74, №923. – С. 679-681.
10. РЖ Пожарная охрана, 1986, 12А351. Тушение спиртобензиновых смесей пеной. Evaluating the use of firefighting foams / Noll Greg // Fire Eng., 1989, т. 139, №2. – С. 44, 46, 47, 49.
11. Корольченко А.Я., Шароварников С.А. Тушение смесевых топлив фторсодержащими пенообразователями // Транспорт и хранение нефтепродуктов. М.: ЦНИИТЭНефтехим, 1996, Вып. 8-9. – С. 14-17.
12. NFPA 11 Standard for low-, medium- and high-expansion foam.
13. ДСТУ Б EN 13565-2:2013 Стационарні системи пожежогасіння. Системи пінного пожежогасіння. Частина 2. Проектування, монтування та технічне обслуговування (EN 13565-2:2009, IDT) [Текст]. – впр. 2013.06.21. – Київ: Мінрегіон України, 2014. – 96 с.
14. ДСТУ EN 1568-4:2014 Вогнегасні речовини. Піноутворювачі. Частина 4. Вимоги до піноутворювачів, призначених для гасіння водорозчинних горючих рідин піною низької кратності, що подається на поверхню (EN 1568-4:2008, EN 1568-4:2008/AC:2010, IDT) [Текст]. – впр. 2014.12.30. – Київ: ДП “УкрНДНЦ”, 2014. – 47 с.
15. ДСТУ EN 13565-1:2015 Стационарні системи пожежогасіння. Системи пінного пожежогасіння. Частина 1. Вимоги до компонентів та методи їх випробування (EN 13565-1:2003+A1:2007, IDT) [Текст]. – впр. 2015.06.22. – Київ: ДП “УкрНДНЦ”, 2014. – 27 с.
16. ВБН В.2.2-58.1-94 Проектування складів нафти і нафтопродуктів з тиском насичених парів не вище 93,3 кПа [Текст]. – впр. 1994.04.01. – Київ: Держкомнафтогаз, 1994. – 151 с.
17. Боровиков В.О., Антонов А.В., Слущка О.М. Методологія оцінювання вогнегасної ефективності піни низької кратності під час гасіння горючих рідин. [Текст] – Науковий вісник УкрНДПБ: Науковий журнал. К., УкрНДПБ МНС України, 2008, №1 (17). – С. 146-154.
18. Боровиков В.О., Козяр Н.М., Слущка О.М. Обґрунтування придатності методики визначення критичної інтенсивності подавання робочих розчинів піноутворювачів загального призначення під час гасіння неполярних горючих рідин для оцінювання якості вогнегасних речовин. [Текст]. – Науковий вісник УкрНДПБ: Науковий журнал. К., УкрНДПБ МНС України, 2008, №1 (19). – С. 179-182.
19. Методика № 64 визначення тривалості гасіння і критичної інтенсивності подавання робочих розчинів піноутворювачів спеціального призначення у разі гасіння горючих рідин піною низької кратності.
20. Методика № 2000/2-ПУ-10 визначення тривалості гасіння і критичної інтенсивності подавання робочого розчину піноутворювача для піни середньої кратності при гасінні горючих рідин.
21. Боровиков В.О. Одержання та застосування екологічно безпечних піноутворювачів для гасіння пожеж. Дис. ... канд. техн. наук. К., УкрНДПБ МНС України, 2002. – 237 с.
22. Інструкція щодо гасіння пожеж у резервуарах із нафтою та нафтопродуктами. [Текст]. – впр. 2004.02.16, наказ МНС України №35.
23. Інструкція про порядок застосування і випробування піноутворювачів для пожежогасіння. [Текст]. – впр. 2008.11.24, наказ МНС України №851.
24. ДСТУ EN 1568-1:2014 Вогнегасні речовини. Піноутворювачі. Частина 1. Вимоги до піноутворювачів, призначених для гасіння водонерозчинних горючих рідин піною середньої кратності, що подається на поверхню (EN 1568-1:2008, EN 1568-1:2008/AC:2010, IDT) [Текст]. – впр. 2014.12.30. – Київ: ДП “УкрНДНЦ”, 2014. – 36 с.
25. ДСТУ EN 1568-3:2014 Вогнегасні речовини. Піноутворювачі. Частина 3. Вимоги до піноутворювачів, призначених для гасіння водонерозчинних горючих рідин піною низької кратності, що подається на поверхню (EN 1568-3:2008, EN 1568-3:2008/AC:2010, IDT) [Текст]. – впр. 2014.12.30. – Київ: ДП “УкрНДНЦ”, 2014. – 48 с.

## **REGARDING DETERMINATION OF FOAM AGENT EFFICIENCY IN CASE OF EXTINCTION OF MOTOR FUEL WITH POLAR ADDITIVES**

*V. Borovykov, Candidate of Technical Sciences, Senior Research Fellow, O. Slutska  
The Ukrainian Civil Protection Research Institute, Ukraine*

---

### **KEYWORDS**

additive, fuel, foam, foam concentrate, fire, fire-fighting, system, standard

### **ANNOTATION**

It is grounded the necessity and described the proposed approaches for the determination of the fire extinguishing efficiency of foam, that is generated from working foam agents, under extinguishing of motor fuels with additives of polar combustible liquids used for the improvement of its detonation resistance.

## **ПРО ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЕНООБРАЗОВАТЕЛЕЙ ПРИ ТУШЕНИИ МОТОРНОГО ТОПЛИВА С ПОЛЯРНЫМИ ДОБАВКАМИ**

*В.А.Боровиков, канд. техн. наук, ст. науч. сотр. О.М.Слуцкая  
Украинский научно-исследовательский институт гражданской защиты, Украина*

---

### **КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА**

добавка, топливо, пена, пенообразователь, пожар, пожаротушение, система, стандарт

### **АННОТАЦИЯ**

Обоснована необходимость и описано предлагаемые подходы к определению огнетушащей эффективности пены, генерированной из рабочих растворов пенообразователей, при тушении моторного топлива с добавками полярных горючих жидкостей, используемых для повышения его детонационной стойкости.

Обґрунтовано необхідність і описано пропонувані підходи щодо визначення вогнегасної ефективності піни, генерованої з робочих розчинів піноутворювачів, у разі гасіння моторного пального з добавками полярних горючих рідин, що використовуються для підвищення його детонаційної стійкості.