

УДК 614.84

*А.А. Лісняк, к-т техн. наук, заступник начальника кафедри НУЦЗУ,
І.Г. Дерев'янка, ст. викладач НУЦЗУ*

ГАСІННЯ ГОРЮЧИХ РІДИН МЕТОДОМ ОХОЛОДЖЕННЯ

(представлено д-ром техн. наук Басмановим О.Є.)

Надано теоретичне обґрунтування використання вогнегасних речовин з домінантною охолоджувальною дією для гасіння горючих рідин у резервуарах, технологічних апаратах та приміщеннях промислових підприємств.

Ключові слова: обґрунтування, гасіння рідин, охолодження зони горіння.

Постановка проблеми. Проблеми розвитку економіки більшості держав у сучасний період в значній мірі обумовлюються обмеженням енергоресурсів та сировинних запасів для потреб хімічної промисловості. Нафта та нафтопродукти є тією складовою, що одночасно є основою для синтезу визначної частки речовин які використовуються у промисловості та сільському господарстві та забезпечують роботу усього суспільства як джерело енергії. Пожежі, що виникають на підприємствах по зберіганню та переробці нафти та нафтопродуктів, у виробничих приміщеннях де використовуються горючі рідини, на транспорті супроводжуються швидким поширенням, високою температурою та щільним тепловим опромінюванням та задимленням. Вибухи пароповітряної суміші призводить до часткового або повного руйнування резервуарів, технологічного обладнання та конструкцій [10]. Збитки від пожеж складаються зі збитків від знищення та пошкодження технологічного обладнання надлишковим тиском при вибуху, втрати механічних властивостей під дією високої температури в зоні горіння, або перегріву від теплового випромінювання полум'я. Значною складовою заданих збитків залишаються втрати на вогнегасні речовини що використовуються та витрати на відновлення функціонування об'єкту після пожежі [1].

Основною вогнегасною речовиною при гасінні пожеж на подібних об'єктах залишається повітряно-механічна піна середньої та низької кратності [2, 3, 4]. Аналіз результатів гасіння пожеж показує відносно високу ефективність використання повітряно-механічної піни, але відсутність в Україні налагодженої технології виробництва піноутворювача для потреб пожежегасіння привело до значного зростання ціни на піноутворювач та високої собівартості використання повітряно-механічної піни як вогнегасної речовини. Процес проведення пінної атаки потребує ретельної підготовки сил та засобів [2], що призводить до затягування подачі вогнегасної речовини в осере-

док пожежі і, тим самим, до збільшення збитків від неї.

Основна частина піноутворювачів, що знаходяться на озброєнні відносяться до поверхнево-активних речовин з тривалим терміном розкладання у природних умовах, тому їх використання додатково збільшує екологічні наслідки від пожежогасіння на даних об'єктах.

В таких умовах гостро стає питання про необхідність активного застосування води та діоксиду вуглецю у якості вогнегасних речовин для гасіння пожеж класу „В”.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. В роботах [6, 7], приводяться данні досліджень механізму припинення горіння вогнегасними речовинами охолоджувальної дії, а також розглядаються методи підвищення коефіцієнту її використання. Приведені данні та розрахунки стосуються визначення механізму гасіння пожеж нафти та нафтопродуктів.

В роботах [8, 9] поставлені питання щодо наукового обґрунтування мінімально потрібної інтенсивності подавання вогнегасних засобів, а саме дрібно розпиленої води з імпульсних переносних установок, для гасіння пожеж матеріалів що містять целюлозу.

Також питання попередження та ліквідації надзвичайних ситуацій в резервуарних парках з нафтопродуктами розглядалися в роботі [10], але використання водяних струменів води передбачалось лише для охолодження стінок резервуару що горить, та сусідніх резервуарів, а не для гасіння горючих рідин.

Постановка задачі та її розв'язання. Таким чином постає задача пошуку альтернативної вогнегасної речовини для гасіння горючих рідин, а саме використання вогнегасних речовин охолоджувальної дії, таких як тонкорозпилена вода або діоксид вуглецю. Розв'язання цієї задачі дозволить вирішити питання часу введення вогнегасної речовини в осередок пожежі, зменшення матеріальних збитків та негативних екологічних наслідків від вогнегасних речовин. Прилади формування та подачі розпиленних струменів води розглядалися в роботах [11, 12], а що стосується механізму припинення горіння, то виходячи з [5] умовою що необхідна та достатня для припинення горіння парів що утворюються з вільної поверхні горючих рідин (ЛЗР, ГР), шляхом охолодження її поверхні є:

$$t_{нов.д} \leq t_{сп(з.т.)}, \quad (1)$$

де $t_{пов.д}$ – допустима температура нагріву поверхні рідини, $^{\circ}\text{C}$;
 $t_{сп(з.т.)}$ – температура спалаху рідини у закритому тиглі, $^{\circ}\text{C}$.

У свою чергу ця умова виконується при наступних умовах:

$$\Delta Q_{нов(ЛЗР,ГР)}^{відв} \geq \int_{\tau} q_{пр}(\tau_z) d\tau + Q_{ЛЗР,ГР}^{ак}, \quad (2)$$

де $\Delta Q_{нов(ЛЗР,ГР)}^{сиде}$ – кількість тепла, що потрібно відвести від поверхні нагрітого шару рідини, $\text{кДж}\cdot\text{м}^{-2}$; $q_{np}(\tau_2)$ - інтенсивність промінистого опромінювання поверхні рідини від факелу полум'я, $\text{кДж}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{с}^{-1}$; τ_2 - час гасіння, с; $Q_{ЛЗР,ГР}^{ак}$ - кількість тепла, що акумульовано у шарі рідини прогрітим вище допустимої температури нагріву рідини, $\text{кДж}\cdot\text{м}^{-2}$.

Якщо припустити, що весь промінистий потік, що надійшов від факелу до поверхні рідини, витрачається на нагрів від початкової температури t_0 до температури кипіння $t_{кип}$ та на її випаровування, рівняння (2) записується у вигляді:

$$\Delta Q_{нов(ЛЗР,ГР)}^{сиде} \geq v_m \bar{c}(t_{кип} - t_0)\tau_2 + v_m \Delta H_{ЛЗР,ГР}\tau_2 + Q_{ЛЗР,ГР}^{ак}, \quad (3)$$

або

$$\Delta Q_{нов(ЛЗР,ГР)}^{сиде} \geq v_m \tau_2 [\bar{c}(t_{кип} - t_0) + \Delta H_{ЛЗР,ГР}] + Q_{ЛЗР,ГР}^{ак}, \quad (4)$$

де v_m – масова швидкість вигорання рідини, $\text{кг}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{с}^{-1}$; \bar{c} - середня теплоємність рідини що горить у діапазоні температур від $t_{кип} - t_0$, $\text{кДж}\cdot\text{кг}^{-1}\cdot\text{К}^{-1}$; $\Delta H_{ЛЗР,ГР}$ - питома теплота випаровування рідини, $\text{кДж}\cdot\text{кг}^{-1}$; $Q_{ЛЗР,ГР}^{ак}$ - кількість тепла, що акумульовано у шарі рідини прогрітим вище допустимої температури нагріву рідини, $\text{кДж}\cdot\text{м}^{-2}$.

Кількість тепла, що акумульовано у шарі рідини можна визначити за формулою:

$$Q_{ЛЗР,ГР}^{ак} = S_2 \delta_{нов} \bar{\rho} \bar{c} (t_{кип} - t_{сн}) k_t, \quad (5)$$

де S_2 – площа гасіння (розрахункова площа впливу вогнегасних засобів охолоджувальної дії), м^2 ; $\bar{\rho}$ - середня щільність рідини у діапазоні температур від $(t_{кип} - t_{сн})$, $\text{кДж}\cdot\text{м}^{-3}$; $\delta_{нов}$ - середня товщина прогрітої шари рідини, м, приймається $\delta_{нов} = 0,025$ м; k_t - коефіцієнт поля температур у прогрітої шари рідини, приймається $k_t = 0,5$.

При гасінні мазуту с температурою спалаху $t_{сп} = 85^\circ\text{C}$ та температурою кипіння, яка відповідає температурі прогрітого поверхневого шару $t_{кип} = 230-300^\circ\text{C}$ кількість тепла, що необхідно відвести складає $\Delta Q_{нов(ГР)}^{сиде} = 5046,9 \text{ кДж}\cdot\text{м}^2$.

Для охолодження нагрітого шару рідини можуть бути використані будь які вогнегасні засоби охолоджувальної дії, наприклад дрібно розпилена вода, або діоксид вуглецю у твердому стані.

Кількість тепла, що може бути відведено з зони горіння за рахунок процесів нагріву рідкої фази, випаровування або сублімації та наступного нагріву пари вогнегасної речовини визначається з рівняння:

$$Q_{зас}^{B.P.} = \bar{c}_{p(m)}(t_{кип(субл)} - t_0) + \Delta H_{вип(субл)} + \bar{c}_{n(z)}(t_{пол} - t_{кип(субл)}), \quad (6)$$

де $\bar{c}_{p(m)}$ - середня теплоємність вогнегасної речовини у зрідженому або твердому стані, $\text{кДж}\cdot\text{кг}^{-1}\cdot\text{К}^{-1}$; $t_{\text{кип(субл)}}$ - температура фазового переходу (кипіння сублімації), $^{\circ}\text{C}$; $\Delta H_{\text{вин(субл)}}$ - теплота фазового переходу (кипіння сублімації), $\text{кДж}\cdot\text{кг}^{-1}$; $\bar{c}_{n(z)}$ - середня теплоємність вогнегасної речовини у газоподібному стані у діапазоні температур від $(t_{\text{пол}} - t_{\text{кип(субл)}})$, $\text{кДж}\cdot\text{кг}^{-1}\cdot\text{К}^{-1}$; $t_{\text{пол}}$ - температура полум'я, $^{\circ}\text{C}$.

При умові повного прогріву вогнегасних речовин у зоні горіння до температури кипіння, їх повного випаровування (сублімації) та наступного нагріву до температури горіння може бути відведено во-

дою $Q_{\text{гас}}^{\text{H}_2\text{O}} = 4400 \text{ кДж}\cdot\text{кг}^{-1}$, а діоксидом вуглецю $Q_{\text{гас}}^{\text{CO}_2} = 1485 \text{ кДж}\cdot\text{кг}^{-1}$.

Теоретично потрібну витрату вогнегасних речовин для припинення горіння можна визначити по формулі:

$$G_{\text{гас.т}}^{\text{B.P.}} = \frac{\tau Q_{\text{нов(ЛЗР,ГР)}}^{\text{відв}}}{Q_{\text{гас}}^{\text{B.P.}}} \quad (7)$$

Для гасіння дрібно розпиленою водою це значення складає $G_{\text{гас.т}}^{\text{H}_2\text{O}} = 1,147 \text{ кг}\cdot\text{м}^{-2}$, а для діоксиду вуглецю $G_{\text{гас.т}}^{\text{CO}_2} = 3,398 \text{ кг}\cdot\text{м}^{-2}$.

При подаванні води або діоксиду вуглецю на гасіння діє, як правило, не один механізм гасіння, а декілька одночасно. У даному випадку водяна пара та діоксиду вуглецю в газоподібному стані здійснюють розбавлення горючої пари що утворюється на стадії підготовчих процесів горіння.

Розрахунковий час подавання вогнегасних засобів охолоджувальної дії згідно з [4] складає до 1 хв. для розпиленої води та 2-3 хв. для діоксиду вуглецю відповідно. При цьому розрахункова інтенсивність складає $I_{\text{гас.т}}^{\text{H}_2\text{O}} = 0,019 \text{ кг}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{с}^{-1}$ та $I_{\text{гас.т}}^{\text{CO}_2} = 0,028 \text{ кг}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{с}^{-1}$. Реально нормативна інтенсивність приблизно в десять разів вище за розрахункову. Нормативна інтенсивність гасіння нафти та нафтопродуктів в резервуарах [3] складає $I_{\text{гас.н}}^{\text{H}_2\text{O}} = 0,24 \text{ кг}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{с}^{-1}$, а діоксиду вуглецю [6] відповідно $I_{\text{гас.н}}^{\text{CO}_2} = 0,17 \text{ кг}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{с}^{-1}$.

Нормативна витрата вогнегасних речовин для припинення горіння з урахуванням коефіцієнту запасу та нормативного часу гасіння визначить по формулі:

$$\tau_{\text{гас.н}}^{\text{B.P.}} = I_{\text{гас.н}}^{\text{B.P.}} \cdot k_3 \cdot \tau_{\text{гас.н}} \cdot 60, \quad (8)$$

де k_3 - нормативний коефіцієнт запасу при гасінні пожеж ГР; $\tau_{\text{гас.н}}$ - нормативний час подавання вогнегасної речовини при пожеж ГР, хв.

Тоді нормативна витрата для гасіння дрібно розпиленою водою стане $G_{гас.н}^{H_2O} = 0,24 \cdot 3 \cdot 1 \cdot 60 = 43,2 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-2}$, а для діоксиду вуглецю $G_{гас.н}^{CO_2} = 0,17 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 60 = 61,2 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-2}$.

Витрата піноутворювача при гасінні мазуту з урахуванням його концентрації у розчині стане

$$G_{гас.н}^{ПУ} = I_{гас.н}^{р-ч.} \cdot k_3 \cdot \tau_{гас.н} \cdot 60 \cdot C^{ПУ}, \quad (9)$$

де $C^{ПУ}$ – концентрація піноутворювача у розчині, дорівнюється 6%, або 0,06.

Нормативна витрата піноутворювача для гасіння мазуту повітряно механічною піною середньої кратності стане:

$$G_{гас.н}^{ПУ} = 0,05 \cdot 3 \cdot 25 \cdot 60 = 225 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-2}.$$

Формалізований коефіцієнт якості гасіння мазуту дрібно розпиленою водою та діоксидом вуглецю у порівнянні з повітряно механічною піною середньої кратності стане:

$$K_{я.г.}^{H_2O} = \frac{G_{гас.н}^{ПУ}}{G_{гас.н}^{H_2O}} = \frac{225}{43,2} = 5,2 \text{ та } K_{я.г.}^{CO_2} = \frac{G_{гас.н}^{ПУ}}{G_{гас.н}^{CO_2}} = \frac{225}{61,2} = 3,7.$$

Таким чином отримані данні показують на те, що при гасінні ЛЗР та ГР витрата діоксиду вуглецю у твердому стані у 3,7 рази, а дрібно розпиленої води у 5,2 рази відповідно менш ніж витрата піноутворювача.

Висновки. Отримані залежності дозволяють казати про перспективність використання розглянутих вогнегасних засобів для гасіння пожеж ЛЗР та ГР у резервуарах та необхідність розробки сучасних технічних засобів їх подавання, вивчення прийомів та способів організації оперативних дій по гасінню пожеж з використанням дрібно розпиленої води та діоксиду вуглецю у твердому стані.

ЛІТЕРАТУРА

1. Исаева Л.К. Экология пожаров, техногенных и природных катастроф: Учеб. пособие – М.: Академия ГПС МВД России, 2000.- 301с., с 199 – 206.

2. Тимчасовий статут дій у надзвичайних ситуаціях. Частина II (Гасіння пожеж. Органи управління, пожежно-рятувальні підрозділи Оперативно-рятувальної служби цивільного захисту). Додаток до наказу МНС від 07.02.2008 № 96.

3. НАПБ 05.035- 2004 – Інструкція щодо гасіння пожеж у резервуарах із нафтою та нафтопродуктами.

4. Иванниов В.П., Ключ П.П. Справочник руководителя тушения пожара.- М.: Стройиздат, 1987.-228 с.

5. ГОСТ 12.1.044-89 ССБТ Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения. М., ГК СССР по управлению качеством продукции и стандартам, 1990.- 143 с.

6. Абдурагимов И.М. Технический отчет та теме Пути повышения эффективности и качества тушения ординарных пожаров». М., ВИПТШ МВД СССР, 1980.

7. Жидкостные средства пожаротушения. Обзор зарубежных изобретений /Пивоваров Л.З.; Всесоюзный научно-исследовательский институт противопожарной обороны МВД СССР. – Балашиха-6, 1970. – 65 с.

8. Є. А. Лінчевський, В.В. Сировий Розробка тактичного забезпечення до імпульсних вогнегасників // Пожежна безпека. Науковий збірник. Ч.3. – Черкаси: ЧПБ. – 1999. С. 21-23.

9. Абдурагимов И.М., Рынков К.М. О путях дальнейшего повышения эффективности тушения пожаров. София, «Огнеборец», 1976, №5.

10. Абрамов Ю.А., Басманов А.Е. Предупреждение и ликвидация чрезвычайных ситуаций в резервуарных парках с нефтепродуктами. – Харьков: Изд-во АГЗУ, 2006. – 251 с.

11. Еременко С.А., Ольшанський В.П., Халипа В.М., Дубовик О.А. Розрахунок пожежних гідравлічних струменів. – Київ. 2005 р.

12. Шаповалова Е.А. Разработка схем пожарных стволов, оптимальных по критерию дальности подачи огнетушащего вещества : Дис... канд. техн. наук: 21.06.02 / Харьковский ин-т пожарной безопасности. — Х., 2000. — 182 л. — Бібліогр.: л. 157-168.

13. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения: Довідн. вид.: в 2-х томах; кн. 2/А.Н. Баратов та ін. –М.: Хімія, 1990. – 384с.

puszu.edu.ua

Лисняк А.А., Деревянко И.Г.

Тушение горючих жидкостей методом охлаждения

Приведено теоретическое обоснование использования огнетушащих веществ с доминирующим охлаждающим действием для тушения горючих жидкостей в резервуарах, технологических аппаратах и помещениях промышленных предприятий.

Ключевые слова: обоснование, тушения жидкостей, охлаждение зоны горения.

Lisniak A.A., Derevyanko I.G.

Suppression of combustible liquids by a cooling method

The theoretical ground of extinguish substances with a dominant cool action is given. These substances is used for extinguishing of combustible liquids in reservoirs, technological vehicles and industrial buildings.

Keywords: substantiation, suppressions of liquids, cooling of a zone of burning.