

УДК 614.84

*Ю. М. Сенчихін, к.т.н., професор, професор каф., НУЦЗУ,
В. В. Сировий, к.т.н., доцент, доцент каф., НУЦЗУ,
В. Г. Аветисян, к.т.н., доцент, доцент каф., НУЦЗУ,
К. М. Остапов, к.т.н., ст. викладач, НУЦЗУ*

**УДОСКОНАЛЕНА МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ
СИЛ І ЗАСОБІВ ДЛЯ ГАСІННЯ ПОЖЕЖ
НА ВІДКРИТИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ УСТАНОВКАХ**

(представлено д.т.н. Кіреєвим О. О.)

Розроблено та представлено удосконалену, зручну у використанні, методику розрахунку сил і засобів для гасіння пожеж на відкритих технологічних установках. Запропоновано використання даної методики у довіднику керівника гасіння пожежі.

Ключові слова: струминне витікання, гасіння, сили і засоби, факельне горіння, нормативні показники, охолодження, технологічне обладнання.

Постановка проблеми. Технологічні процеси майже в усіх нафтопереробних і нафтохімічних та багатьох хімічних виробництвах протікають при високих температурах рідин та газів і під високим, а часто і надвисоким тиском (до 245 МПа). До технологічних апаратів нафтопереробних та нафтохімічних установок відносяться трубчасті печі, насоси і компресори, технологічні колони (ректифікаційні, відпарювальні, адсорбційні та десорбційні, стабілізаційні і т.д.) і реактори, різноманітні проміжні апарати та ємкості (теплообмінники, кип'ятильники, конденсатори-холодильники, сепаратори, збірники-відстійники тощо) [1]. За характером горіння пожежі на відкритих технологічних установках (ВТУ) можна поділити на такі види: факельне горіння рідин і газів, що витікають під тиском у вигляді струменів (струминне витікання); горіння розливів рідини; пожежі, що поєднують факельне горіння та горіння розлитого нафтопродукту; пожежі, що супроводжуються вибухами парогазоповітряних сумішей [1].

В таких умовах, на керівника гасіння пожежі (КГП) покладається значна роль у визначенні потрібної кількості сил і засобів (СіЗ) для здійснення оперативної роботи в умовах, що визначає обстановка. При цьому, однією із проблем є те, що існуючі методики розрахунку СіЗ не відповідають сучасним вимогам, які визначають діяльність КГП при пожежах на відкритих технологічних установках.

Аналіз останніх досягнень та публікацій. У [2–5] порядок визначення нормативних показників, а в цілому сил і засобів ґрунтується на особистому досвіді КГП та об'явленням номеру виклику, за яким прибуває визначена кількість відділень на основних пожежно-рятувальних автомобілях (ПРА) та спеціальних підрозділів без врахування умов та обстановки на пожежі.

Представлений у [6–8] порядок визначення СіЗ для гасіння пожеж на відкритих технологічних установках базується на підставі норм виконання оперативних дій за умов на пожежі, достатньо розкриває порядок їх обґрунтування, але в цілому не дає можливість, як завчасно так і оперативно, в умовах здійснення оперативних дій розрахувати потрібну кількість СіЗ для виконання оперативних дій під час гасіння пожеж в умовах і обстановці, що характеризують особливості розвитку пожеж на відкритих технологічних установках. До того ж, методики мають протиріччя, що призводить до визначення необґрунтованих показників.

Постановка завдання та його вирішення. На підставі технічного завдання на НДР (державний реєстраційний № 0114U002477) «Провести дослідження та розробити довідник керівника гасіння пожежі» одним з очікуваних результатів є методика розрахунку сил і засобів для гасіння пожеж на відкритих технологічних установках».

Мета дослідження – дати можливість КГП обґрунтовано та оперативно визначити потрібну кількість СіЗ пожежно-рятувальних підрозділів для прогнозування та здійснення оперативних дій на різноманітних етапах гасіння пожеж на відкритих технологічних установках.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступну задачу:

Розробити методику розрахунок СіЗ, що враховує особливості гасіння пожеж на відкритих технологічних установках, а саме: врахування нормативних показників кількості СіЗ, необхідних для виконання окремих етапів гасіння факельного горіння рідин і газів, розливів рідини (охолодження, захист, пінна атака), а також видів робіт, які потребують визначення допустимого часу роботи особового складу у небезпечній зоні та кількості змін особового складу, цільової та спеціальної пожежно-рятувальної техніки, спеціальних ВГР потрібних для ліквідації пожежі.

Враховуючи досвід гасіння пожеж на різноманітних об'єктах, умов і обстановки на пожежах, експериментальних та теоретичних досліджень [8, 9], тактико-технічних характеристик пожежно-рятувальної техніки та обладнання пропонується удосконалена аналітична методика розрахунку СіЗ.

Однією з умов здійснення розрахунку СіЗ, є вибір вихідних даних для розрахунку, який включає: встановлення розрахункового параметру гасіння пожежі залежно від умов та обстановки; вибір ВГР, способів і засобів подавання ВГР та показників їх роботи [10].

Вихідними даними розрахунку СіЗ для гасіння пожежі на відкритих технологічних установках будуть наступні:

1. Захист технологічного обладнання та особового складу від теплового впливу здійснюється з моменту прибуття перших підрозділів до повного охолодження обладнання після гасіння пожежі. Охолодженню пересувними засобами підлягає технологічне обладнання, яке не захищене стаціонарними установками зрошування, а також ділянки, які піддаються впливу струминного факела полум'я.

2. Для захисту від теплового впливу використовують компактні та розпилені струмені води, водяні завіси та покриття поверхонь обладнання повітряно-механічною піною низької кратності.

3. Для гасіння пожеж технологічного обладнання застосовуються: вода у вигляді компактних і розпилених струменів; повітряно-механічна піна (ПМП) низької та середньої кратності; газководяні струмені; вогнегасні порошки.

Розрахунок СіЗ для гасіння пожеж відкритих технологічних установок будуть наступні: пропонується здійснювати за методикою, у ході якої визначають наступні показники у відповідній послідовності:

1. Витрата води і піни на тепловий захист обладнання складається з витрати води на зрошування струминного факела полум'я, витрати води і робочого розчину піноутворювача на охолодження технологічного обладнання та витрати води на створення водяних завіс. Витрата води на тепловий захист обладнання визначається як:

$$Q_{\text{потр}}^{\text{зах.в}} = G_{\text{г}} I_{\text{зрош}}^{\text{ф}} + S_{\text{зах}}^{\text{в}} I_{\text{зах}}^{\text{в}} + N_{\text{розп}}^{\text{в.з.}} Q_{\text{розп}} \quad (1)$$

де $Q_{\text{потр}}^{\text{зах.в}}$ – потрібна витрата води на тепловий захист обладнання, л/с; $G_{\text{г}}$ – витрата горючої рідини і газу в струминному факелі полум'я, кг/с; $I_{\text{зрош}}^{\text{ф}}$ – потрібна інтенсивність подавання води на зрошування струминного факела полум'я, л/кг; $S_{\text{зах}}^{\text{в}}$ – площа ділянки, що захищається (охолодження водою), м²; $I_{\text{зах}}^{\text{в}}$ – інтенсивність подавання води на охолодження кожного апарата, л/(м²·с); $N_{\text{розп}}^{\text{в.з.}}$ – кількість розпилювачів (турбінних – НРТ, щілинних – РВ) для створення водяної завіси, шт, визначається за формулою (3); $Q_{\text{розп}}$ – витрата води від одного розпилювача, л/с.

2. У разі використання піни низької кратності на тепловий захист обладнання витрата робочого розчину піноутворювача визначається як:

$$Q_{\text{потр}}^{\text{зах.п}} = S_{\text{зах}}^{\text{п}} I_{\text{зах}}^{\text{пу}} \quad (2)$$

де $Q_{\text{потр}}^{\text{зах.п}}$ – потрібна витрата розчину піноутворювача на тепловий захист обладнання, л/с; $S_{\text{зах}}^{\text{п}}$ – площа захисної ділянки (охолодження піною), м²; $I_{\text{зах}}^{\text{пу}}$ – інтенсивність подавання розчину піноутворювача на охолодження кожного апарата, л/(м²·с).

3. Кількість розпилювачів для створення водяної завіси визначають за формулами:

$$N_{\text{расп}}^{\text{в.з.}} = \frac{L_{\text{зах}}}{a}; \quad N_{\text{расп}}^{\text{в.з.}} = \frac{S_{\text{зах}}}{S_{\text{в.з.}}^{\text{розп}}}; \quad N_{\text{расп}}^{\text{в.з.}} = \frac{Q_{\text{охол}}}{Q_{\text{розп}}} \quad (3)$$

де $L_{\text{зах}}$ – довжина ділянки, що захищається, м; a – ширина завіси, яку забезпечує один розпилювач, м; $S_{\text{зах}}$ – площа ділянки, що захищається, м^2 ; $S_{\text{в.з.}}^{\text{розп}}$ – площа водяної завіси, яку створює один розпилювач; $Q_{\text{в}}^{\text{охол}}$ – потрібна витрата води на охолодження технологічного обладнання (сума витрат для кожного апарата), л/с; $Q_{\text{розп}}$ – витрата води від одного розпилювача, л/с.

4. Витрата води на гасіння пожежі відкритих технологічних установок складається з витрати води на гасіння струминного факела полум'я компактними струменями води та газоводяними струменями АГВГ:

$$Q_{\text{води}}^{\text{гас}} = G_{\text{г}} I_{\text{гас}}^{\phi} + N_{\text{АГВГ}} Q_{\text{АГВГ}}^{\text{в}}, \quad (4)$$

де $Q_{\text{води}}^{\text{гас}}$ – потрібна витрата води на гасіння пожежі, л/с; $G_{\text{г}}$ – витрата нафтопродукту в струминному факелі полум'я, кг/с; $I_{\text{гас}}^{\phi}$ – інтенсивність подавання води на гасіння струминного факела, л/кг; $N_{\text{АГВГ}}$ – кількість автомобілів газоводяного гасіння цього типу, од; $Q_{\text{АГВГ}}^{\text{в}}$ – витрата води, що подається для роботи автомобіля АГВГ (для АГВГ–100 приймається 60 л/с, для АГВГ–150 приймається 90 л/с).

5. Витрата розчину піноутворювача на гасіння пожежі:

$$Q_{\text{пу}}^{\text{гас}} = S_{\text{гас}} I_{\text{с}}^{\text{табл}}, \quad (5)$$

де $Q_{\text{пу}}^{\text{гас}}$ – потрібна витрата розчину піноутворювача для гасіння розлитого нафтопродукту, л/с; $S_{\text{гас}}$ – розрахункова площа гасіння, м^2 ; $I_{\text{с}}^{\text{табл}}$ – інтенсивність подавання робочого розчину піноутворювача для гасіння розлитого нафтопродукту, л/($\text{м}^2 \cdot \text{с}$).

6. Розрахункову площу гасіння розлитого нафтопродукту у разі аварійного витікання з апарата можна орієнтовно визначити виходячи з матеріального балансу нафтопродукту, що витікає та згоряє:

$$S_{\text{гас}} = \frac{G_{\text{г}} \rho_{\text{г}} \tau_{\text{виг}}}{(h_{\text{шар}} - u_{\text{виг}} \tau_{\text{виг}})}, \quad (6)$$

де $S_{\text{гас}}$ – площа гасіння, м^2 ; $G_{\text{г}}$ – витрата нафтопродукту з аварійних апаратів, кг/хв; $\rho_{\text{г}}$ – щільність нафтопродукту, що витікає, $\text{кг}/\text{м}^3$ (визначається за табл. 5.13); $\tau_{\text{виг}}$ – час витікання нафтопродукту з пошкоджених апаратів, хв; $u_{\text{виг}}$ – лінійна швидкість вигорання нафтопродукту, м/хв.; $\tau_{\text{виг}}$ – час горіння нафтопродукту до введення засобів гасіння (тобто час вільного розвитку $\tau_{\text{виг}} = \tau_{\text{віль}}$), хв; $h_{\text{шар}}$ – товщина шару розлитого нафтопродукту, м (у разі розливу в піддон та

обвалування $h_{\text{шар}} = H_{\text{обв}} - 0,2$ м, де $H_{\text{обв}}$ – висота обвалування у метрах, у разі вільного розливу $h_{\text{шар}} = 0,05$ м).

7. Потрібний запас піноутворювача на весь час гасіння пожежі визначають з урахуванням об'єму піноутворювача, що використовується безпосередньо для гасіння, та об'єму піноутворювача, що використовується для захисту технологічного обладнання від теплового впливу:

$$V_{\text{ПУ}} = (N_{\text{пр}}^{\text{гас}} Q_{\text{пр}}^{\text{розч}} 60\tau_{\text{гас}} + N_{\text{пр}}^{\text{зах}} Q_{\text{пр}}^{\text{розч}} 60\tau_{\text{зах}}) K_3^{\text{пу}}, \quad (7)$$

де $V_{\text{ПУ}}$ – потрібний запас піноутворювача, л; $N_{\text{пр}}^{\text{гас}}, N_{\text{пр}}^{\text{зах}}$ – кількість стволів-генераторів піни для гасіння нафти та нафтопродукту і захисту обладнання, шт.; $Q_{\text{пр}}^{\text{розч}}$ – витрата піноутворювача, забезпечувана одним стволом-генератором піни, л/с; $\tau_{\text{гас}}$ – розрахунковий час подавання піни на гасіння, хв; $\tau_{\text{зах}}$ – розрахунковий час захисту обладнання від теплового впливу пожежі, хв, приймається залежно від конкретної обстановки пожежі; $K_3^{\text{пу}}$ – коефіцієнт запасу піноутворювача ($K_3^{\text{пу}} = 3$).

8. Кількість автомобілів порошкового та газоводяного гасіння для гасіння струминного факела нафтопродукту визначається залежно від витрати нафтопродукту в струминному факелі полум'я та граничної витрати нафтопродукту, за якої можливе гасіння одним автомобілем:

$$N_{\text{ПА}}^{\text{гас.Ф}} = \frac{G_{\text{г}}}{G_{\text{гр}}^{\text{гас}}}, \quad (8)$$

де $G_{\text{г}}$ – витрата нафтопродукту в струминному факелі полум'я, кг/с; $G_{\text{гр}}^{\text{гас}}$ – гранична витрата нафтопродукту, за якої можливе гасіння одним автомобілем АП ($Q_{\text{АП}}$) або АГВГ ($Q_{\text{АГВГ}}$), кг/с.

9. Кількість автомобілів порошкового гасіння для гасіння розлитого нафтопродукту:

$$N_{\text{АП}} = \frac{S_{\text{гас}}}{S_{\text{гас}}^{\text{АП}}}, \quad (9)$$

де $S_{\text{гас}}$ – розрахункова площа гасіння, м²; $S_{\text{гас}}^{\text{АП}}$ – гранична площа розливу нафтопродукту, який гаситься одним автомобілем АП, м².

10. Потрібна кількість основних, спеціальних пожежно-рятувальних автомобілів та допоміжних автомобілів приймається з урахуванням резерву, який дорівнює в літній час 30 % і в зимовий час 50 % від загального розрахункового:

$$N_{\text{ПА}}^{\text{потр}} = N_{\text{ПА}}^{\text{заг}} K_{\text{рез}}, \quad (10)$$

де $N_{ПА}^{заг}$ – загальна кількість пожежно-рятувальних автомобілів, яку визначено розрахунком, од; $K_{рез}$ – коефіцієнт резерву, приймається влітку – 1,3, взимку – 1,5.

Кількість спеціальної та допоміжної техніки (рукавних автомобілів, автомобілів зв'язку та освітлення, автопідйомників, автодрабин тощо) встановлюється виходячи з конкретної обстановки на пожежі, наявності висотних технологічних апаратів, віддаленості джерел водопостачання та інших умов.

У ході здійснення розрахунку, поетапно викреслюється можлива обстановка пожежі та розташування СіЗ згідно розрахунку, що проводиться.

Висновок. В цілому розрахунок СіЗ для гасіння пожеж на відкритих технологічних установках відповідає загальній методиці [2-7], особливість розрахунку полягає у визначенні нормативних показників кількості СіЗ, необхідних для виконання окремих етапів гасіння факельного горіння рідин і газів, розливів рідини (охолодження, захист, пінна атака), а також видів робіт, які потребують визначення допустимого часу роботи особового складу у небезпечній зоні та кількості змін особового складу, цільової та спеціальної пожежно-рятувальної техніки, спеціальних ВГР потрібних для ліквідації пожежі.

Ці показники дають можливість КГП обґрунтовано та оперативно визначити потрібну кількість СіЗ пожежно-рятувальних підрозділів для прогнозування та здійснення оперативних дій на різноманітних етапах.

ЛІТЕРАТУРА

1. Norman J. Fire Officers Handbook of Tactics/South Sheridan Road Tulsa. Oklahoma, 2012. P. 311.
2. Мировая пожарная статистика. Отчет № 29 // Международная Ассоциация Пожарно-спасательных служб. Центр пожарной статистики. 2019. URL : www.ctif.org
3. Сировой В. В., Сенчихін Ю. М., Лісняк А. А., Дерев'янюк І. Г. Основи тактики гасіння пожеж. Харків, 2015. С. 216. URL: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/377>
4. Ключ П. П., Палюх В. Г., Пустовой А. С., Сенчихін Ю. М., Сировий В.В. Пожежна тактика. Харків, 1998. С. 592. URL: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/1192>
5. Иванников В. П., Ключ П. П. Справочник руководителя тушения пожара. Москва, 1987. С. 287.
6. Сировий В. В., Сенчихін Ю. М., Ушаков Л. В., Бабенко О. В. Аналітичні розрахунки для обґрунтування оперативних дій пожежно-рятувальних підрозділів. Харків, 2010. С. 262. URL: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/4008>
7. Tan Wu, Xinli Weia, Xiaolei Gaob, Jiangtao Hana, Weijian Huang Study on the risk analysis and system safety integrity of enclosed ground flare

// Thermal Science and Engineering Progress. Volume 10, May 2019, Pages 208-216. doi: 10.1016/j.tsep.2019.01.002

8. Wendong Kang, Long Yan, Faxing Ding, Xing Guo, Zhisheng Xu Experimental study on fire-extinguishing efficiency of protein foam in diesel pool fire // Case Studies in Thermal Engineering. Volume 16, December 2019, Pages 158-164. doi:10.1016/j.csite.2019.100557

9. Пожежна безпека як складова техногенної безпеки резервуарних парків складів нафти та нафтопродуктів / М.А. Касьянов та ін. Луганськ, 2006. 144 с.

10. Сенчихін Ю. М., Сировой В. В., Росоха С. В. Обґрунтування вибору вихідних даних розрахунку сил та засобів для гасіння пожеж // Проблемы пожарной безопасности. 2014. № 36. С. 224-230. URL : <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/880>

Отримано редколегією 10.01.2020

Ю. Н. Сенчихин, В. В. Сировой, В. Г. Аветисян, К. М. Остапов

Усовершенствованная методика расчета сил и средств для тушения пожаров на открытых технологических установках

Разработано и представлено усовершенствованную, удобную в использовании, методику расчета сил и средств для тушения пожаров на открытых технологических установках. Предложено использование данной методики в справочнике руководителя тушения пожара.

Ключевые слова: струйное истечение, тушения, силы и средства, факельное горение, нормативные показатели, охлаждения, технологическое оборудование.

Yu. Senchikhin, V. Sirovoy, V. Avetisyan, K. Ostapov

Advanced method of calculation of forces and means for extinguishing fires at open technological installations

An advanced, easy-to-use, technique for calculating forces and means for extinguishing fires at open process installations has been developed and presented. It is suggested to use this methodology in the fire extinguisher manager's directory.

Keywords: jet expiration, extinguishing, forces and means, torch burning, regulatory indicators, refrigeration, process equipment.