

УДК 614.844 +621.227

О. М. Семко¹
М. В. Безкровна¹
С. А. Виноградов²
Н. І. Ягудіна¹

ПРО НОВИЙ МЕТОД ГАСІННЯ ГАЗОВИХ ФАКЕЛІВ

¹Донецький національний університет

²Національний університет цивільного захисту України, Харків

Проведено експериментальні дослідження гасіння газового факела за допомогою імпульсних струменів рідини високої швидкості, які генеруються пороховим імпульсним водометом. Швидкість імпульсного струменя залежно від енергії заряду в експериментах становила 300—600 м/с. За допомогою лазерного безконтактного вимірника швидкості визначалася швидкість голови струменя безпосередньо перед факелом, проводилося фотографування струменя. Показано, що навколо імпульсного струменя рідини високої швидкості в повітрі утвориться високошвидкісна хмара бризок, що має великий поперечний переріз. Саме ця сукупність дрібних крапель дозволяє ефективно збити полум'я газового факела з відстаней 5...20 м від установки.

Ключові слова: гасіння газового факела, імпульсний струмінь рідини високої швидкості, імпульсний водомет, вимірювання швидкості струменя

Вступ

Гасіння пожеж нафтогазових фонтанів є складною надзвичайною ситуацією техногенного характеру, ліквідація якої пов'язана зі значними фінансовими витратами, залученням великої кількості пожежної техніки та особового складу. Відкриті газові фонтани за потужністю підрозділяються на [1]:

- невеликі з дебітом менш 0,5 млн. м³/добу газу та менш 100 т нафти;
- середні з дебітом (0,5÷1,0) млн. м³/добу газу та (100÷300) т нафти;
- потужні з дебітом (1,0÷10,0) млн. м³/добу газу та (300÷1000) т нафти;
- великої потужності з дебітом більше 10 млн. м³/добу газу та більше 1000 т нафти.

Практика показує, що частота аварій і пожеж на нафтогазових свердловинах становить у середньому 0,12 випадків на 100 свердловин [2]. Для гасіння пожеж нафтогазових фонтанів розроблено не менше десяти різних методів, зокрема і запропонований у цій статті.

Основний текст

1. Сучасні способи гасіння газових фонтанів.

Велика кількість сучасних способів гасіння зумовлена, з одного боку, винятковою складністю технічної проблеми, багатофакторністю і розмаїтістю конкретних ситуацій на таких пожежах, а з іншого боку — обмеженою ефективністю кожного із цих способів [3]. У роботі [4] наведено основні методи гасіння пожеж газових факелів залежно від їхнього типу:

- накачування води у свердловину або закриття засувки превентора та противикидного устаткування;
- використання струменів автомобілів газоводяного гасіння;
- імпульсна подача порошку спеціальними установками;
- застосування водяних струменів з лафетних стволів;
- детонація заряду вибухівки;
- віхоропорошковий спосіб;
- вогнегасний порошок із залученням пожежних автомобілів;
- комбінований спосіб.

В Україні та у країнах СНД для гасіння пожеж відкритих фонтанів найчастіше застосовуються лафетні стволи (гідромонітори), автомобілі газоводяного гасіння АГВГ-100 і АГВГ-150, пневматичні порошкові полум'яподавлювачі ППП-200 [3].

Лафетні стволи застосовуються для гасіння газових, газоконденсатних і нафтових фонтанів невеликої потужності, оскільки мають встановлюватися на відстані близько 15 м, що в умовах сильного теплового випромінювання палаючого фонтану з великим дебітом неприпустимо [5]. Для гасіння потужніших фонтанів (середньої потужності), коли використовується значна кількість лафетних стволів, подачу водяних струменів здійснюють у два яруси. Струмені води, що подаються з лафетних стволів, скеровуються на гирло свердловини до основи потоку фонтану. Після цього водяні струмені синхронно піднімають угору вздовж стовпу полум'я до повного його відриву від свердловини.

Автомобілі газоводяного гасіння АГВГ-100 і АГВГ-150 застосовуються для гасіння пожеж усіх видів фонтанів, але найчастіше для гасіння потужних фонтанів [3]. Газоводяні струмені, створювані цими установками, — це інертна суміш відпрацьованих газів турбореактивного двигуна й розпиленої води, концентрація кисню в якій не більше 14 %. У залежності від відстані до сопла вміст кисню збільшується і на робочій відстані 12—15 м становить 17—18 %. Експериментально встановлено, що газоводяний струмінь має високий охолоджувальний ефект, наприклад: подача 60 л/с води (АГВГ-100) протягом 5 хв. знижує температуру фонтанних арматур з 950...100—150 °С. Ефективність гасіння залежить від частки води в струмені та має оптимальне значення при подачі 55—60 л/с.

Пневматичні порошкові полум'яподавлювачі ППП-200 застосовуються для гасіння пожеж фонтанів великої потужності [3]. Гасіння пожежі відбувається завдяки впливу на палаючий факел розпиленого порошку, викид якого зумовлений енергією стисненого повітря. У зоні горіння фонтану протягом короткого часу (1—2 с) за допомогою імпульсного заряду створюється вогнегасна концентрація порошку шляхом спрямованого залпового викиду.

Подібний принцип реалізується і в установках на базі танкових шасі Т-62: Імпульс-1, Імпульс-2, Імпульс-3, а також Імпульс-Шторм. Машини мають 50 стволів (Імпульс-1 — 40 стволів), до кожного з них заряджається по 30 кг порошку. Установка Імпульс-Шторм здатна подати до вогнища пожежі за 4 секунди 1,5 тонни вогнегасного порошку. Основною відмінністю цієї установки є потужний удар на осередок пожежі вогнегасними ефектами, що досягаються використанням спеціальних порошкових сумішей.

У світовій практиці найбільшого поширення отримали методи ліквідації відкритих нафтових і газових фонтанів з попереднім гасінням полум'я й подальшою ліквідацією фонтануючої свердловини як об'єкта видобутку [2, 6].

Варто зазначити, що у всіх перерахованих способів є спільний недолік — невелика дальність подачі вогнегасної речовини, що неприпустимо в умовах високого теплового випромінювання газового факелу. Таким чином, для гасіння пожеж газових фонтанів найперспективнішою є розробка пристроїв, здатних забезпечувати подачу вогнегасних сумішей з відстаней, безпечних для особового складу за умов теплового випромінювання.

2. Перспективні напрямки розробки пристроїв для гасіння газових фонтанів

За всіх часів найдоступнішим і простим засобом для ліквідації пожеж була вода. Вона широко використовується для гасіння будь-яких видів пожеж, окрім їх окремих видів (гасіння пожеж лужних металів, електроустаткування під напругою тощо). Вочевидь, що й для гасіння газових фонтанів вода займає провідне місце серед інших засобів гасіння, що зумовлено її доступністю, дешевизною, простотою доставки й експлуатації, а також високими вогнегасними якостями.

Найперспективнішим на сьогодні є застосування тонкорозпиленої води для гасіння пожеж [7]. Основними механізмами гасіння тонкорозпиленою водою є охолодження палаючого матеріалу та утворення хмари пари, що локалізує осередок горіння.

Для успішної ліквідації горіння необхідно, щоб розмір крапель був мінімальний, і при цьому вони могли подолати конвективні теплові потоки й радіаційно-кондуктивний бар'єр, який генерується полум'ям. Дрібний розмір крапель необхідний для підвищення швидкості випарування води, в результаті якого відбувається інтенсивне охолодження й утворення флегматизуючого середовища водяної пари, який забезпечує гасіння полум'я. Аналіз даних різних авторів показує, що оптимальний діаметр крапель для гасіння різних матеріалів становить $d_k \in (100 \div 150)$ мкм [8].

Для подолання водою відстані до палаючого факелу з безпечних дистанцій необхідно забезпечити високу швидкість рідини на виході з пристрою гасіння. Ця швидкість має покривати втрати при польоті струменя й забезпечувати необхідну швидкість безпосередньо перед факелом для подолання конвективних потоків, а також «відривного» впливу на факел. Суть «відривної» дії полягає в тому, що зі збільшенням швидкості потоку зрівноважене положення фронту полум'я зрушується вздовж потоку. Свіжа пароповітряна горюча суміш у залежності від віддалення зазнає все

сильнішого розбавлення за рахунок взаємної дифузії з потоком рідини, що зносить. Швидкість горіння такої суміші зменшується пропорційно ступеню її розведення та, за деякої критичної дкості потоку, що перевищує швидкість горіння, потік горючого на мить переривається, а полум'я відкидається нагору й відривається.

Швидкість відриву полум'я факелу можна оцінити використовуючи емпіричну формулу [9]

$$V_{\text{отр}} = 100\sqrt[3]{d}, \quad (1)$$

де d — початковий діаметр струменя фонтану в метрах.

Аналіз конкретних даних щодо зміни характеру полум'я зі збільшенням швидкості палаючого струменя показує, що зрив дифузійного полум'я відбувається в діапазоні швидкостей 80...100 м/с. Вочевидь, ці значення відривних швидкостей з відстаней безпечного віддалення (110—130 м) можуть бути забезпечені використанням високошвидкісних струменів рідини. Ці струмені генеруються пристроями, аналогом яких є імпульсний водомет (ІВ) [10].

3. Схеми проведення експерименту

Для обґрунтування можливості гасіння газових факелів імпульсними струменями рідини високої швидкості й визначення необхідних параметрів гасіння були проведені експериментальні дослідження. Основними цілями проведених експериментів є з'ясування принципової можливості гасіння пожеж газових фонтанів за допомогою імпульсного водомету, визначення швидкості руху поперечного потоку рідини, за якої відбувається гасіння факела, визначення зони прицілювання струменем, при влученні в яку відбувається гасіння факела.

Модель газового фонтану обчислювалася за коефіцієнтом аеродинамічної подібності, який характеризує процеси перемішування газу з навколишньою атмосферою, які залежать від напору й товщини газового струменя

$$K_{\text{ап}} = \frac{w_0^2}{2gd_0}, \quad (2)$$

де w_0 — швидкість витікання газу, м/с; g — прискорення вільного падіння, м/с²; d_0 — діаметр свердловини, м.

Моделювання газового факела проводилося для горіння фонтанів із дебітом $(1\div 3)\cdot 10^6$ м³/добу. Діаметри свердловини взято з розрахунку використання стандартного бурового устаткування — від 0,05 м до 0,25 м. За масштабом моделювання за лінійними розмірами М 1:10 для модельного факелу діаметри насадок перебувають у межах (0,005—0,025) м. Параметри модельних факелів для різних умов (дебіту й діаметру свердловини) подані в табл. 1.

В експериментах використовувалось модельне джерело пожежі газового фонтану, що відповідає усередненим параметрам.

Таблиця 1

Параметри модельного факелу для різних умов

Діаметр моделі, м	Значення швидкості (м/с) / Витрата (м ³ /с) витоку газу з модельного центру пожежі газового фонтану за дебітом газового фонтану (м ³ /с) і діаметром свердловини (м)														
	1 000 000					2 000 000					3 000 000				
	0,25	0,2	0,15	0,1	0,05	0,25	0,2	0,15	0,1	0,05	0,25	0,2	0,15	0,1	0,05
0,025	74,6	X	X	X	X	149,2	X	X	X	X	223,8	X	X	X	X
	0,037					0,073					0,11				
0,02	X	116,6	X	X	X	X	X	X	X	X	349,7	X	X	X	X
		0,037									0,073				
0,015	X	X	207,2	X	X	X	X	X	X	X	X	X	621,7	X	X
			0,037										0,073		
0,01	X	X	X	466,2	X	X	X	X	X	X	X	X	X	1399	X
				0,037										0,073	
0,005	X	X	X	X	1865	X	X	X	X	X	3730	X	X	X	5595
					0,037						0,073				0,11

Схема порохового ІВ, за допомогою якого проводилися експериментальні дослідження, показана на рис. 1 [9]. Ствол 4 порохового ІВ, що закінчується конічним соплом 6 з коліматором 7, заповнений водою 3. Пороховий заряд 2, відділений від водяного заряду 3 пижем 8. Для зміцнення найнапруженіша ділянка стволу укріплена бандажем 5, посадженим на ствол із заданим натягом. Пороховий заряд 2 у корпусі водомету зафіксований затвором 9, у середині якого перебуває запальник 1. У початковий момент спрацьовує запальник 1 і підпалює пороховий заряд 2. Порохові гази, що утворюються за час горіння пороху, починають виштовхувати водяний заряд 3 через конічне сопло 6 у вигляді імпульсного струменя рідини. Витікання струменя рідини починається з невеликою швидкістю, що швидко зростає в залежності від збільшення тиску порохових газів.

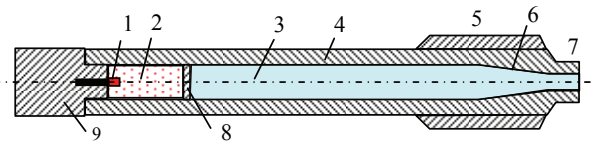


Рис. 1. Пороховий імпульсний водомет:

1 — запальник; 2 — камера згоряння; 3 — вода; 4 — ствол; 5 — бандаж; 6 — сопло; 7 — коліматор; 8 — пиж; 9 — затвор

Для побудови математичної моделі пострілу порохового ІВ мають місце такі допущення. Рідина вважається ідеальною й стисливою, в'язкістю, теплопровідністю та впливом пижа можна знехтувати. Профіль сопла передбачається плавним, і радіальні компоненти потоку не враховуються. За початок процесу прийнятий момент запалення пороху. Початок координат збігається з входом у сопло.

У прийнятій постановці квазіоднорічний потік ідеальної стисливої рідини у водометі описується системою рівнянь нестационарної газової динаміки

$$\begin{aligned} \frac{\partial \rho F}{\partial t} + \frac{\partial \rho v F}{\partial x} &= 0; \\ \frac{\partial \rho v F}{\partial t} + \frac{\partial (\rho v^2 + p) F}{\partial x} &= p \frac{dF}{dx}; \\ p &= B \left[(\rho / \rho_0)^n - 1 \right], \end{aligned} \quad (3)$$

де t — час; x — координата; v — швидкість; $F(x)$ — площа поперечного перерізу проточної частини — ствола й сопла; p і ρ — тиск і густина; $B = 304,5$ МПа; $n = 7,15$, $\rho_0 = 10^3$ кг/м³ — константи в рівнянні стану води у формі Тэта.

Початкові й граничні умови мають вигляд

$$\begin{aligned} v(0, x) = 0; \quad p(0, x) = 0; \quad \rho(0, x) = \rho_0; \quad -L \leq x \leq L_s; \\ p(t, L) = 0; \quad p(t, x_g) = p_g; \quad v(t, x_g) = v_g, \end{aligned} \quad (4)$$

де L і L_s — довжина ствола й сопла з коліматором; x_g — координата контактної поверхні; p_g і v_g — тиск і швидкість порохових газів на контактній поверхні.

Горіння пороху розраховується за методикою, викладеною у роботі [9], за припущень, стандартних для задач внутрішньої балістики в артилерії [11]. У квазістационарному наближенні рівняння горіння пороху початкові умови мають вигляд

$$\begin{aligned} \frac{dz}{dt} &= \frac{u_1 p_g}{h_1}; \quad Q_g = \frac{dm_g}{dt} = m_{p0} \sigma(z) \frac{dz}{dt}; \\ \frac{1}{k-1} \frac{d(p_g V_g)}{dt} + p_g F u_g &= q Q_g; \\ \frac{dV_g}{dt} &= Q_g (1/\rho_p - \alpha) + v_g F; \quad v_g = \frac{dx_g}{dt}, \\ m_b &= m_{b0}, \end{aligned} \quad (5)$$

де h_1 — половина товщини порохового зерна; z — товщина згорілого шару, віднесена до h_1 ; u_1 — постійна швидкості горіння; p_g — тиск порохових газів; Q_g — швидкість руху порохових

газів; $\sigma(z) = 3(1 - 2z + z^2)$ — відносна площа горіння порохового зерна сферичної форми; α — правка на власний об'єм молекул; m_g і m_{p0} — маса газу й початкова маса пороху; k — показник адіабати; q і ρ_p — питома теплота згоряння й густина пороху; V_g — об'єм порохових газів; V_{g0} , m_{g0} , p_{g0} — параметри газу після спрацьовування запальника.

Виконано чисельні розрахунки методами Годунова й Родіонова. Нижче наведено деякі результати розрахунків для порохового ІВ із параметрами: маса водяного заряду 450 м, діаметр сопла й струменя 15 мм.

На рис. 2 показано графіки залежності швидкості витікання струменя рідини від часу та тиску всередині ІВ від часу для порохового заряду масою 30 г (штатний режим роботи ІВ). Крива 1 — швидкість витікання, 2 — тиск порохових газів, 3 — тиск води в стволі ІВ.

Як видно, витікання струменя порохового ІВ починається з нульовою швидкістю. У залежності від згоряння пороху швидкість витікання швидко зростає й досягає максимального значення 685 м/с через 1,5 мс від початку пострілу. Порох згоряє пізніше, до моменту часу $t_g = 1,57$ мс (на графіку це відзначено пунктирною лінією). Швидкість витікання струменя до цього часу не сильно зменшується — до 647 м/с. Після згоряння пороху швидкість витікання повільно зменшується до 320 м/с. Витікання струменя закінчується в момент часу $t_{out} = 5,2$ мс викидом малої порції води пороховими газами більш високої швидкості.

Крива 2 тиску порохових газів у ІВ має типову форму, характерну для ствольних знарядь. Максимальний тиск порохових газів досягає 275 МПа в момент часу 0,95 мс. Після цього тиск порохових газів монотонно спадає до 40 МПа наприкінці пострілу. Тиск води в стволі ІВ (крива 3) не перевищує тиску порохових газів і носить пульсуючий характер, що відображує хвильові процеси всередині установки під час пострілу. Ці процеси пов'язані з хвилями стискання й розрідження, які відбиваються від межі порохових газів і зрізу сопла. Максимальна швидкість витікання струменя ІВ, розрахована за тиском рідини всередині установки на цей момент, становить 678 м/с, що відрізняється від точного розрахунку в нестационарній постановці для стисливої рідини всього на 1%. Наведені результати розрахунків показують, що параметри порохового ІВ із достатньою точністю можна розраховувати в простішій квазістационарній постановці без урахування стисливості рідини.

У табл. 2 наведено результати розрахунків максимальної швидкості витікання імпульсного струменя рідини порохового ІВ для різних значень заряду пороху.

Таблиця 2

Залежність параметрів ІВ від маси пороху

Маса пороху, г	30	20	10
Максимальна швидкість струменя, м/с	685	505	300
Максимальний тиск порохових газів, МПа	275	143	46,5

Як і слід було очікувати, зі зменшенням маси пороху (енергії пострілу) максимальна швидкість струменя й тиск усередині установки зменшувалися, до того ж тиск зменшувався набагато швидше, ніж швидкість. Наприклад, для порохового заряду 10 г (маса пороху у 3 рази менше штатної) максимальна швидкість витікання зменшилася в 2,3 рази, а тиск — в 6 разів. Співвідношення між швидкістю й тиском узгоджується з рівнянням Бернуллі для нестисливої рідини, відповідно до якого тиск пропорційний квадрату швидкості. Істотне зменшення максимального тиску всередині установки у разі незначного зменшення максимальної швидкості струменя рідини є позитивним чинником для міцнісних характеристик установки: чим менше тиск в установці, тим тонше може бути її корпус, менше маса та, як наслідок, більша мобільність.

Специфічний характер залежності швидкості витікання струменя ІВ від часу (її швидке зростання на початку витікання від нуля до максимуму, а надалі спад практично до нуля), розкриває закономі-

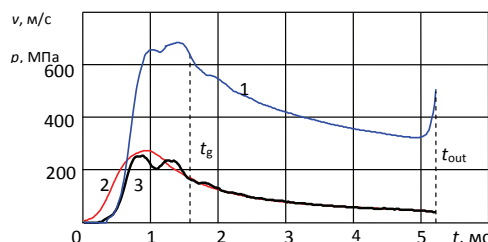


Рис. 2. Залежність швидкості витікання струменя та тиску всередині порохового ІВ від часу: 1 — швидкість витікання; 2 — тиск порохових газів; 3 — тиск води у стволі

рності поширення імпульсного струменя. На початку витікання швидші частки рідини, що випливають із сопла ІВ, пробиваються через повільніші, що витікли раніше. У результаті в струмені виникає радіальний потік, що приводить до збільшення поперечного перерізу струменя [14—16]. На початковій стадії витікання швидкість голови струменя зростає доти, доки високошвидкісні ділянки не досягнуть початку струменя. Надалі швидкість голови струменя зменшується через гальмування повітрям. Радіальний потік зумовлює потовщення струменя та утворення навколо нього ореола бризок, який рухається зі швидкістю, що мало відрізняється від швидкості ядра струменя.

4. Експерименти з гасіння модельного факела за допомогою ІВ

У першій частині експериментальних досліджень визначалася швидкість руху поперечного потоку краплинної рідини, за якої відбувається гасіння модельного осередку пожежі факела. Проведено серію пострілів з відстаней 5, 10, 12 і 15 м для порохових зарядів масою 5, 10 і 15 г. В експериментах вимірювалася швидкість голови імпульсного струменя рідини біля факела, проводилося фотографування та відеозйомка струменя на різних стадіях його поширення. Швидкість голови струменя вимірювалася за допомогою безконтактного лазерного вимірювача швидкості, що дозволяє реєструвати швидкість в інтервалі від 50 до 3000 м/с. Вимірювач швидкості знаходився безпосередньо навпроти устя факела на відстані 10 см від нього [17].

Результати експериментів подано в табл. 3.

Таблиця 3

Результати експериментальних досліджень

№	Маса пороху, г	Відстань від ІВ до факела, м	Швидкість біля факела, м/с	Результат гасіння факела: + — погашений — — не погашений
1	5	5	227	+
2		10	87	+
3		12	71	—
4		15	63	—
5	10	5	338	+
6		10	105	+
7		12	82	+
8		15	69	—
9	15	5	428	+
10		10	125	+
11		12	108	+
12		15	78	—

У такий спосіб встановлено, що швидкість руху поперечного потоку краплинної рідини, за якої відбувається гасіння модельного осередку пожежі газового фонтану, лежить у межах 80—90 м/с, що підтверджує теоретичні припущення.

За допомогою відеозйомки вивчався процес гасіння факела високошвидкісним струменем. На рис. 3 подана відеограма цього процесу.

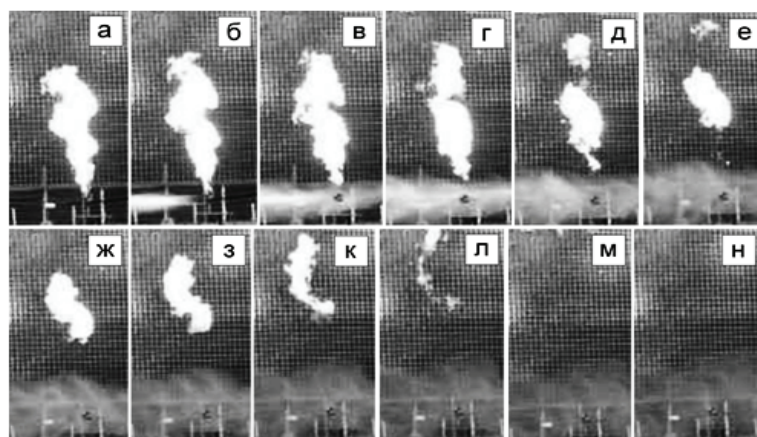


Рис. 3. Відеограма процесу гасіння газового факела імпульсним струменем рідини

Аналіз відеограми показав, що струмінь наближається до газового факела (б) і ізолює зону горіння від подачі свіжої газоповітряної суміші (в, г). Надалі (д, е) зона впливу струменя збільшується.

ся, між запальником і полум'ям утворюється розрив із суміші газу, повітря й крапель рідини. Концентрація газу в зоні розриву менше нижньої концентраційної межі поширення полум'я, що запобігає поновленню горіння. Можливість поновлення горіння також ускладнюється тим, що швидкість догорання паливного газу вище, ніж швидкість надходження нових продуктів горіння.

Проведені експерименти показали, що імпульсний струмінь рідини порохового ІВ може ліквідувати модельний осередок пожежі газового фонтану на відстані 10 м і більше. Подальші дослідження з гасіння газових факелів імпульсними струменями рідини високої швидкості мають бути спрямовані на оптимізацію параметрів порохового ІВ, вибір раціональної конструкції ІВ і дослідженню динаміки поширення імпульсного струменя рідини в повітрі.

Висновки

Проведено експериментальні дослідження гасіння модельного осередку пожежі газового фонтану за допомогою імпульсних струменів рідини високої швидкості, які генеруються пороховим імпульсним водометом. В експериментах за допомогою лазерного безконтактного вимірювача швидкості визначалася швидкість руху поперечного потоку краплинної рідини, за якої відбувається гасіння пожежі газового фонтана, а також визначалася зона прицілювання струменем ІВ, влучення до якої забезпечить гасіння полум'я. Максимальна розрахункова швидкість імпульсного струменя залежно від енергії заряду становила 300...600 м/с, що добре узгоджується з вимірюваними значеннями. Відстань до модельного факелу варіювалася (5...15 м) і можна запевнити, що успішне гасіння модельного факелу з відстані 12 метрів — це хороший результат.

Проведені експериментальні дослідження показали, що швидкість руху поперечного потоку краплинної рідини, за якої відбувається гасіння модельного осередку пожежі газового фонтана, лежить у межах 80...90 м/с.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Малеванский В. Д. Открытые газовые фонтаны и борьба с ними / В. Д. Малеванский. — М. : Гостоптехиздат, 1963. — 288 с.
2. Чабаев Л. У. Технологические и методологические основы предупреждения и ликвидации газовых фонтанов при эксплуатации и ремонте скважин : автореф. дис. на соискание ученой степени. д-ра техн. наук: спец. 05.26.03 «Пожарная и промышленная безопасность (нефтегазовый комплекс)» / Леча Усманович Чабаев. — Уфа, 2009. — 47 с.
3. Виноградов С. А. Анализ способов ликвидации пожаров нефтегазовых фонтанов / С. А. Виноградов, И. Н. Грицина // Матеріали XIII Всеукраїнської науково-практичної конференції рятувальників, 20—21 вересня 2011 р. — Київ, 2011. — С. 202—205.
4. Боевой устав противопожарной службы / утвержден приказом Председателя Комитета по государственному контролю и надзору в области чрезвычайных ситуаций Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Казахстан от 27.12.05 г. № 373.
5. Мамиконянц Г. М. Тушение пожаров мощных газовых и нефтяных фонтанов / Г. М. Мамиконянц — М. : Недра, 1971. — 95 с.
6. Holand P. Offshore Blowouts. Causes and control / P. Holand. — Gulf Publishing Company Houston, Texas, 1997. — 163 p.
7. Патент на корисну модель № 66434. Установка для гасіння пожеж / О. М. Ларін, О. М. Семко, І. М. Грицина, С. А. Виноградов. — МПК (2011.01). А62С 27/00. — № u 2011 03022 ; заявл. 15.03.2011 ; опубл. 10.01.2012, Бюл. № 1.
8. Абрамов Ю. А. Моделирование процессов в пожарных стволах / Ю. А. Абрамов, В. Е. Росоха, Е. А. Шаповалова. — Харьков : Фолио, 2001. — 195 с.
9. Михеев В. П. Газовое топливо и его сжигание / В. П. Михеев. — Л. : Недра, Ленингр. отд-ние, 1966. — 327 с.
10. Патент на корисну модель № 66434. МПК (2013.01). А62С 2/00. Спосіб гасіння газового факела / Семко О. М., Безкровна М. В., Український Ю. Д., Виноградов С. А., Гріцина І. Н. — № u2012 12587 ; заявл. 05.11.2012 ; опубл. 25.07.2013, Бюл. № 14.
11. Семко А. Н. Импульсные струи жидкости высокого давления / Александр Николаевич Семко. — Донецк : Вебер (Донецкое отделение), 2007. — 149 с.
12. Семко А. Н. Внутренняя баллистика порохового водомета и гидропушки / Александр Ниохлаевич Семко // Теорет. и прикл. механика. — 2002. — Вып. 35. — С. 181—185. — Харьков : Основа.
13. Решетняк В. В. Применение метода Родионова для расчета квазиодномерных движений идеальной сжимаемой жидкости / В. В. Решетняк, А. Н. Семко // Прикладная гидромеханика. — 2009. — Т. 9 (81), № 3. — С. 56—64.
14. Черменский Г. П. Избыточное давление в импульсной струе жидкости / Г. П. Черменский // ПМТФ, 1970. — № 1. — С. 174—176.
15. Dunne B. Velocity discontinuity instability of liquid jet / B. Dunne, B. Cassen // J. Applied Phys., Vpl. 27, No 6, June 1956. — P. 57—582.
16. Noumi M. Flow characteristics and impact phenomena of pulsed water jets / M. Noumi, K. Yamamoto // Proceedings of The Third Pacific Rim International Conference on Water Jet Technology, Tainan, Taiwan, Nov. 30. — Dec. 2, 1992. — P. 47—58.
17. Патент на корисну модель № 87030. Безконтактний лазерний пристрій вимірювання швидкості голови імпульсного струменя рідини / Макаров Д. Г., Джантиміров А. Г., Семко О. М., Український Ю. Д., Безкровна М. В. — № u 2013 044070 ; заявл. 08.04.2013, Бюл. № 2, 27.01.2014.

Рекомендована кафедрою теплоенергетики ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 26.09.2013

Семко Олександр Миколайович — д-р. техн. наук, професор, професор кафедри загальної фізики, e-mail: o.semko@donnu.edu.ua;

Безкровна Марина Вікторівна — канд. техн. наук, доцент, **Ягудіна Наталія Іскандерівна** — магістр.

Кафедра фізики нерівноважних процесів, метрології й екології.

Донецький національний університет, Донецьк;

Виноградов Станіслав Андрійович — канд. техн. наук, старший викладач кафедри пожежної й аварійно-рятувальної техніки.

Національний університет цивільного захисту України, Харків.

A. N. Semko¹
M. V. Bezкровna¹
S. A. Vynogradov²
N. I. Yagudina¹

ABOUT THE NEW METHOD OF GAS FLARE SUPPRESSION

¹Donetsk National University

²National University of Civil Defense of Ukraine, Kharkiv

The experimental researches of gas flame suppression by high speed pulse liquid jet which are generated powder pulse hydro cannon were held. The velocity of the pulse jet was depended on charge energy and it ranged from 300 to 600 m/s. The flow photographing was held, the head jet velocity right near the gas flame was measured by laser non-contact measuring instrument. It is shown, that the high-speed cloud of splashes with the big cross-section which effectively forces down a flame of the gas flame on distances 5—20 m from installation, is formed round the pulse liquid jet of high speed.

Key words: suppression of a gas torch, high speed pulse liquid jet, powder pulse hydro cannon, measurement of jet speed.

Semko Oleksandr M. — Dr. Sc. (Eng.), Professor of the Chair of Physics, e-mail: o.semko@donnu.edu.ua;

Bezкровna Maryna V. — Cand. Sc. (Eng.), Assistant Professor, **Yagudina Natalia I.** — Master.

Chair of Physics of Non-equilibrium processes, metrology and Ecology;

Vinogradov Stanislav A. — Cand. Sc. (Eng.), Senior Lecturer of the Chair of Fire and Emergency Technique.

А. Н. Семко¹
М. В. Бескровная¹
С. А. Виноградов²
Н. І. Ягудина¹

О НОВОМ МЕТОДЕ ТУШЕНИЯ ГАЗОВЫХ ФАКЕЛОВ

¹Донецкий национальный университет

²Национальный университет гражданской защиты Украины, Харьков

Проведены экспериментальные исследования тушения газового факела при помощи импульсных струй жидкости высокой скорости, которые генерируются пороховым импульсным водометом. Скорость импульсной струи в зависимости от энергии заряда в экспериментах достигала 300—600 м/с. При помощи лазерного бесконтактного измерителя скорости измерялась скорость головы струи непосредственно перед факелом, проводилось фотографирование струи. Показано, что вокруг импульсной струи жидкости высокой скорости в воздухе образуется высокоскоростное облако брызг большого поперечного сечения, которое эффективно сбивает пламя газового факела с расстояний 5...20 м от установки.

Ключевые слова: тушение газового факела, импульсная струя жидкости высокой скорости, импульсный водомет, измерение скорости струи.

Семко Александр Николаевич — д-р. техн. наук, профессор, профессор кафедры общей физики, e-mail: o.semko@donnu.edu.ua.

Бескровная Марина Викторовна — канд. техн. наук, доцент, **Ягудина Наталія Іскандерівна** — магістр.

Кафедра фізики неравновесных процессов, метрологии и экологии;

Виноградов Станіслав Андреевич — старший преподаватель кафедры пожарной и аварийно-спасательной техники.