

ДЕРЖАВНА ІНСПЕКЦІЯ ТЕХНОГЕННОЇ БЕЗПЕКИ УКРАЇНИ

УКРАЇНСЬКИЙ НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ ІНСТИТУТ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ



ВИНОГРАДОВ СТАНІСЛАВ АНДРІЙОВИЧ

УДК 614.84

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ГАСІННЯ ГАЗОВИХ ФОНТАНІВ

Спеціальність 21.06.02 – пожежна безпека

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Київ – 2012

Дисертацією є рукопис

Роботу виконано в Національному університеті цивільного захисту України (м. Харків)

Науковий керівник: кандидат технічних наук, доцент **Грицина Ігор Миколайович**, Національний університет цивільного захисту України, заступник начальника кафедри пожежної тактики та аварійно-рятувальних робіт

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор **Костенко Віктор Климентійович**, Донецький національний технічний університет, декан факультету екології і хімічних технологій, завідувач кафедри природоохоронної діяльності

кандидат технічних наук, старший науковий співробітник **Дунюшкін Володимир Олександрович**, Український науково-дослідний інститут цивільного захисту, старший науковий співробітник відділу техногенної та пожежної безпеки об'єктів

Захист відбудеться “16” листопада 2012 р. о 10⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 26.720.01 в Українському науково-дослідному інституті цивільного захисту за адресою: 01011, м. Київ, вул. Рибальська, 18.

З дисертацією можна ознайомитись в бібліотеці Українського науково-дослідного інституту цивільного захисту за адресою: 01011, м. Київ, вул. Рибальська, 18.

Автореферат розісланий “15” листопада 2012 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради
к.т.н., с.н.с.

А.В. Антонов

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Боротьба з пожежами на газових родовищах вимагає залучення значної кількості матеріально-технічних ресурсів і може тривати місяцями. При цьому найчастіше мають місце втрати не тільки спеціальної техніки, а й травмування і загибель людей. Значної шкоди завдається навколишньому середовищу в зоні пожежі та прилеглих районах.

У світовій практиці для гасіння пожеж в процесі ліквідації відкритих фонтанів найчастіше застосовуються лафетні стволи, автомобілі газоводяного гасіння АГВТ-100 і АГВТ-150, пневматичні порошкові полум'яподавлювачі ППП-200 та їх аналоги.

Значний обсяг теоретичних та експериментальних досліджень, пов'язаних з розробками способів та засобів гасіння газових фонтанів було проведено такими вченими, як Daneberger E.P., Holand P., Hughes V.M.P., Абдурагімов І.М., Ігревський В.І., Калінін А.Г., Куцин П.В., Мамікоянц Г.М., Плугін А.І., Римчук Д.В., Чабаєв Л.У. та іншими.

Незважаючи на наявну теоретичну базу і досягнуті практичні результати, питання підвищення ефективності газових фонтанів залишається актуальним.

Аналіз особливостей пожеж газових фонтанів свідчить, що полум'я газового фонтану найчастіше характеризується наявністю зони запалюючого кільця факелу горіння, відірваного від фонтанної арматури, в якій горіння є нестійким. Порушення рівноваги в цій зоні може привести до припинення горіння. Одже, одним із шляхів підвищення ефективності гасіння газових фонтанів є подавання в зону запалюючого кільця газового фонтану вогнегасних речовин, зокрема високошвидкісного струменя водної вогнегасної речовини (ВВР).

Розкриття особливостей формування високошвидкісного струменя водної вогнегасної речовини водною системою пожежогасіння імпульсної дії та впливу чинників на процеси припинення горіння газових фонтанів таким струменем є актуальною науково-технічною задачею, розв'язання якої сприятиме підвищенню ефективності гасіння.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційні дослідження проводилися в рамках виконання Програми забезпечення пожежної безпеки на період до 2010 року (постанова Кабінету Міністрів України від 01.07.2002 року № 870), а також Концепції Державної цільової програми забезпечення пожежної безпеки на 2011-2015 роки (Розпорядження Кабінету Міністрів України від 29.12.2010 р № 2348-р), в рамках науково-дослідних робіт "Розробка математичного апарату та програмного забезпечення для розрахунку параметрів імпульсних пристроїв подачі вогнегасних речовин" (№ держреєстрації 0110U003267) та "Особливості взаємодії імпульсного струменя надвисокої швидкості з перешкодою" (№ держреєстрації 0110U003474), в яких здобувач був виконавцем.

Ідея роботи полягає у підвищенні ефективності гасіння газових фонтанів шляхом подавання до зони запалюючого кільця полум'я високошвидкісного струменя водної вогнегасної речовини з визначеними параметрами.

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є розкриття особливостей формування високошвидкісного струменя водної вогнегасної речовини системою пожежогасіння імпульсної дії та впливу чинників на процеси припинення горіння під час гасіння газових фонтанів таким струменем.

Відповідно до сформульованої мети в дисертації поставлені до вирішення такі задачі:

- провести аналіз сучасних технічних засобів та технологій гасіння газових фонтанів та визначити шляхи підвищення їх ефективності;

- розробити принципову схему водної системи пожежогасіння імпульсної дії для гасіння газових фонтанів (ВСПД) для підвищення ефективності припинення горіння газових фонтанів високошвидкісним струменем водної вогнегасної речовини та математичні моделі, що описують її роботу;

- провести моделювання роботи водної системи пожежогасіння імпульсної дії для гасіння газових фонтанів, визначити вплив її геометричних параметрів та початкових характеристик заряду на швидкість витікання струменя водної вогнегасної речовини;

- розробити експериментальний зразок водної системи пожежогасіння імпульсної дії для гасіння газових фонтанів та методику проведення експериментальних досліджень;

- провести експериментальні дослідження впливу параметрів водної системи пожежогасіння імпульсної дії на процеси формування високошвидкісного струменя водної вогнегасної речовини та процесів припинення горіння під час гасіння газових фонтанів;

- розробити пропозиції щодо створення та застосування водної системи пожежогасіння імпульсної дії для гасіння газових фонтанів.

Об'єктом дослідження були процеси формування високошвидкісного струменя водної вогнегасної речовини системою пожежогасіння імпульсної дії, а також процеси припинення горіння газового факелу таким струменем.

Предмет дослідження - вплив чинників на процеси формування високошвидкісного струменя водної вогнегасної речовини системою пожежогасіння імпульсної дії та процеси припинення горіння газового факелу таким струменем.

Методи дослідження. У роботі використано комплексний метод досліджень, який включав аналіз і узагальнення науково-технічних досягнень з питань розроблення і застосування способів і технологій гасіння пожеж газових фонтанів. Розв'язання поставлених у дисертації задач здійснювали із застосуванням математичного моделювання процесів, що відбуваються під час роботи водної системи пожежогасіння імпульсної дії з дотриманням основних законів гідродинаміки. При проведенні експериментальних досліджень з визначення зміни швидкості струменя водної вогнегасної речовини використовувалися методи факторного планування експерименту, застосовувалося метрологічно атестовані засоби вимірювання. Дослідження процесів припинення горіння та визначення умов ефективного застосування водної системи пожежогасіння імпульсної дії здійснювали з використанням макетних вогнищ пожежі класу С. Дослідження особливостей формування високошвидкісного струменя водної вогнегасної

речовини здійснювали з використанням високошвидкісної відеозйомки. Результати теоретичних і експериментальних досліджень оброблялися з використанням статистичних методів і доказів адекватності розроблених математичних моделей на основі прикладних програм «STATISTICA V6» та «MAPLE V10» із залученням комп'ютерної техніки.

Наукова новизна дослідження полягає в розкритті особливостей формування високошвидкісного струменя водної вогнегасної речовини системою пожежогасіння імпульсної дії та впливі чинників на процеси припинення горіння під час гасіння газових фонтанів таким струменем, як наукового підґрунтя підвищення ефективності гасіння газових фонтанів. При цьому:

- вперше встановлено залежність швидкості струменя водної вогнегасної речовини від маси порохового заряду, радіусу сопла, довжини та радіусу ствола водної системи пожежогасіння імпульсної дії, яка описується запропонованою формулою;

- вперше встановлено залежність зміни положення межі розділу «порохові гази – водна вогнегасна речовина» в часі, за якою необхідно проводити оптимізацію водної системи пожежогасіння імпульсної дії, яка описується рівнянням

$$x_g(t) = L_0 \left\{ 1 - \frac{T_0 - t}{T_0 - \tau} \left[1 + \frac{n-1}{2} \left(\frac{u_s}{a_0} \right)^2 \right]^{\frac{n}{n-1}} \right\}, \text{ де } L_0 = V_{w0}/F_c, \quad V_w - \text{об'єм ВВР в}$$

системі пожежогасіння імпульсної дії в початковий момент часу; F_c - площа поперечного перерізу ствола; $T_0 = \frac{m_{w0}}{F_s u_s \rho_0}$; m_w - маса ВВР в системі пожежогасіння

імпульсної дії в початковий момент часу; F_s - площа поперечного перерізу сопла; u_s - швидкість струменя ВВР; n, ρ_0 - константи рівняння стану; $\tau \approx L_s/a_0$ - час початку виходу струменя; L_s - довжина сопла; a_0 - швидкість звуку в ВВР;

- набуло подальшого розвитку уявлення про механізм припинення горіння газових фонтанів з наявністю факелу горіння, відірваного від фонтанної арматури, у разі подавання в зону запалюючого кільця високошвидкісного струменя водної вогнегасної речовини з визначеними параметрами, який полягає в одночасному прояві охолоджуючого фактору та механічного зриву полум'я енергією такого струменя.

Практичне значення отриманих результатів. Отримані результати використовуються при створенні сучасної пожежно-рятувальної техніки імпульсної дії на основі подавання високошвидкісних струменів водної вогнегасної речовини на ТОВ «ПОЖСПЕЦМАШ» (м. Прилуки). Розроблені пропозиції щодо створення та застосування водної системи пожежогасіння імпульсної дії для гасіння газових фонтанів впроваджені в діяльність воєнізованої аварійно-рятувальної (газорятувальної) служби «ЛКВО» нафтогазової промисловості. Результати роботи використані в діяльності науково-виробничого підприємства «САКО» при розробці новітніх зразків імпульсної техніки для подавання струменів рідини високої швидкості.

Математичні моделі для визначення параметрів роботи водних систем пожежогасіння імпульсної дії для гасіння газових фонтанів, а також порядок їх створення використовується в навчальному процесі НУЦЗ України при викладанні дисципліни «Основи проектування та конструювання пожежно-технічних і спеціальних засобів» та «Інженерна та аварійно-рятувальна техніка».

Особистий внесок здобувача полягає в самостійному аналізі літературних джерел щодо технічних засобів та технологій гасіння газових фонтанів, формулюванні ідеї, мети, завдань, а також основних напрямків дисертаційних досліджень.

Апробація роботи. Результати дисертаційної роботи оприлюднені, висвітлені та обговорені на:

- науково-технічних семінарах НУЦЗУ (м. Харків, 2008-2011);
- спільних засіданнях кафедри інженерної та аварійно-рятувальної техніки Національного університету цивільного захисту України та кафедри пожежної техніки Академії пожежної безпеки ім. Героїв Чорнобиля (2010-2011);
- науково-технічній конференції «Об'єднання теорії та практики - залог підвищення боєздатності оперативно-рятувальних підрозділів» (м. Харків, 2008);
- Міжнародній науково-практичній конференції "Актуальные проблемы естественных наук в обеспечении гражданской защиты" (м. Черкаси, 2009);
- науково-технічній конференції «Об'єднання теорії та практики - залог підвищення боєздатності оперативно-рятувальних підрозділів» (м. Харків, 2010);
- XXII Міжнародній науково-практичній конференції з пожежної безпеки «Актуальные проблемы пожарной безопасности» (м. Москва, Російська Федерація, 2010);
- Міжнародній науково - практичній конференції «Теорія та практика ліквідації НС» (м. Черкаси, 2011);
- IX міжнародній науковій конференції «Импульсные процессы в механике сплошных сред» (м. Миколаїв, 2011);
- II міжнародній науковій конференції «Техногенна безпека: теорія, практика, інновації» (м. Львів, 2011);
- X Міжнародній науково-практичній конференції «Пожежна безпека» (м. Харків, 2011);
- XIII Всеукраїнській науково-практичній конференції рятувальників (м. Київ, 2011);
- II Всероссийской научно-практической конференции с международным участием (м. Воронеж, Російська Федерація, 2011);
- XXIV международной научно-практической конференции по проблемам пожарной безопасности, посвященной 75-летию создания института (м. Москва, Російська федерація, 2012).

Публікації. За результатами дисертаційних досліджень опубліковано 18 наукових праць, з яких 7 статей у виданнях, включених до переліку фахових, 11 тез доповідей на конференціях, отримано один патент України на корисну модель.

Структура та обсяг роботи. Дисертація складається зі вступу, 5 розділів, висновків, переліку використаних літературних джерел і додатків. Повний обсяг

дисертації становить 169 сторінок машинописного тексту і включає: основну частину об'ємом 141 сторінка, у тому числі: 65 ілюстрацій, 7 таблиць та список використаних джерел з 115 найменувань, а також 9 додатків на 28 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ ДИСЕРТАЦІЇ

У першому розділі наведено результати аналізу особливостей горіння газових фонтанів та статистику пожеж на газових родовищах України. Розглянуто сучасні технічні засоби та технології гасіння газових фонтанів, їх переваги та недоліки. Визначено шляхи підвищення ефективності гасіння газових фонтанів.

Результати аналізу сучасних технічних засобів та технологій гасіння газових фонтанів свідчать, що в світовій практиці при гасінні пожеж в процесі ліквідації відкритих фонтанів найчастіше застосовуються лафетні стволи, автомобілі газоводяного гасіння АГВТ-100 і АГВТ-150, пневматичні порошкові полум'яподавлювачі ППП-200 та їх аналоги.

Значний обсяг теоретичних та експериментальних досліджень, пов'язаних з розробками способів та засобів гасіння газових фонтанів було проведено такими вченими, як Daneberger E.P., Holand P., Hughes V.M.P., Абдурагімов І.М., Ігревський В.І., Калінін А.Г., Куцин П.В., Маміконянц Г.М., Плугін А.І., Римчук Д.В., Чабаєв Л.У. та іншими.

Незважаючи на наявну теоретичну базу і досягнуті практичні результати, питання підвищення ефективності газових фонтанів залишається актуальним.

У результаті аналізу виявлено, що полум'я газового фонтану найчастіше характеризується факелом горіння, відірваним від фонтанної арматури з наявністю зони запалюючого кільця, в якій горіння є нестійким і найбільш чутливим до впливу вогнегасних речовин. Висунуто ідею, що підвищити ефективність гасіння газових фонтанів можна шляхом подавання до зони запалюючого кільця полум'я газового фонтану високошвидкісного струменя водної вогнегасної речовини з визначеними параметрами.

Сформульовано мету і задачі досліджень.

У другому розділі наведено результати розробки принципової схеми водної системи пожежогасіння імпульсної дії для гасіння газових фонтанів та математичної моделі роботи ВСПД, розроблена комп'ютерна програма для визначення швидкості витікання струменя ВВР в залежності від початкових параметрів, а також проведено імітаційне моделювання роботи водної системи пожежогасіння імпульсної дії та отримана імітаційна модель впливу параметрів ВСПД на швидкість витікання струменя ВВР.

За результатами аналітичних розрахунків встановлено, що для успішного гасіння газового фонтану діаметр крапель струменя ВВР перед факелом повинен бути не менше 200 мкм.

Вибір принципової схеми пропонуваної водної системи пожежогасіння імпульсної дії для гасіння газових фонтанів проводився на основі аналізу схем і принципів роботи існуючих зразків техніки, де застосовується імпульсний викид високошвидкісного струменя водної вогнегасної речовини.

Схематичне зображення ВСПД наведено на рис.1.

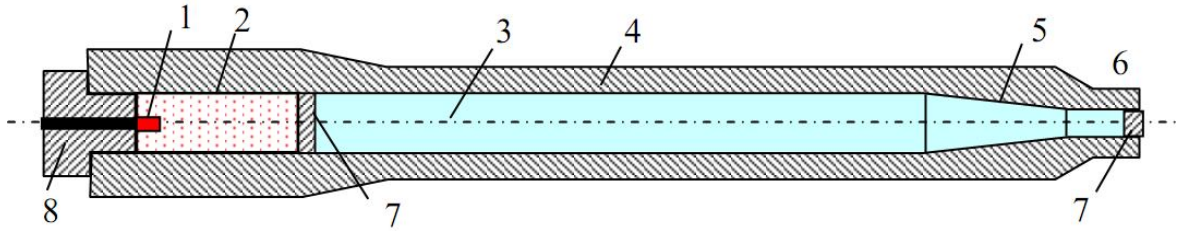


Рис. 1 – Схематичне зображення водної системи пожежогасіння імпульсної дії для гасіння газових фонтанів: 1- запальник, 2 – камера згоряння (патрон), 3 – вода, 4 – ствол, 5 – сопло, 6 – коліimator, 7 – пиж, 8 – ударник.

Рішення задачі побудови математичної моделі роботи ВСПД здійснювалося, виходячи з ряду допущень, обумовлених його особливостями, серед яких наступні: зміна параметрів ВВР вважалася адіабатичною; параметри пострілу осереднені по об'єму ствола, тобто не залежать від просторових координат; ствол має форму циліндру з плоскими торцями, а витікання відбувається крізь малий отвір; вода приймається ідеальною у сенсі нехтування в'язкістю та теплопровідністю; процес квазістаціонарний; зміна параметрів – миттєва; конструкція ВСПД жорстка та пружні деформації відсутні.

Оскільки в водній системі пожежогасіння імпульсної дії, що пропонується, використовується енергія порохових газів, то при побудові математичної моделі додатково враховувалися припущення, стандартні для внутрішньої балістики в артилерії.

В кінцевому вигляді математична модель роботи ВСПД приймає вигляд системи рівнянь, що враховують змінення маси, тиску та об'єму порохових газів, а також змінення маси водної вогнегасної речовини в часі

$$\frac{dz}{dt} = \frac{u_1}{h_1} p_g = u_{p1}, \quad (1)$$

$$\frac{dm_g}{dt} = m_{p0} \chi_1 \sigma u_{p1} = Q_g, \quad (2)$$

$$\frac{dm_w}{dt} = -u_s F_s \rho_0 = Q_w, \quad (3)$$

$$\frac{dp_g}{dt} = \frac{(k-1)qQ_g + ka_1 p_g Q_w - \alpha_1 p_g Q_g}{V_g + ka_2 p_g}, \quad (4)$$

$$V_g = V_{g0} + (V_{w0} - a_1 m_w) + \alpha_1 m_g. \quad (5)$$

де u_s – швидкість витікання струменя із сопла; t – час; $z = h/h_1$ – відносна товщина шару пороху, що згорів, $2h_1$ – початкова товщина порохового зерна, h – товщина

шару пороху, що згорів, u_1 і q – постійна швидкості горіння та питома теплота згоряння пороху, V_g і p_g – об'єм і тиск порохових газів, m_{p0} – початкова маса пороху, χ_1 , λ_1 , μ_1 – коефіцієнти, що визначаються формою порохового зерна, $\sigma(z)$ – відносна площа поверхні горіння, k – показник адіабати продуктів згоряння пороху, $\alpha_l = 1/\rho_p - \alpha$ – поправка, що враховує власний об'єм молекул порохових газів, ρ_p – густина твердого пороху, m_w – поточна маса рідини в водометі; F_s – площа поперечного перерізу сопла; a_0 – швидкість звуку в рідині при атмосферному тиску; ρ_0 – густина рідини; V_{w0} – початковий об'єм рідини; a_1 і a_2 – змінні величини.

Початкові умови для системи (1-5)

$$z = 0, V_g = V_{g0}, m_g = m_{g0}, p_g = p_{g0}, x_g = 0.$$

Тут V_{g0} , m_{g0} , p_{g0} – параметри газу після спрацьовування запальника.

На основі розроблених математичних залежностей створена комп'ютерна програма «Water Cannon Simulator» для визначення швидкості витікання струменя ВВР в залежності від початкових параметрів: початкової маси порохового заряду та виду пороху, густини ВВР, довжини і радіуса сопла та ствола ВСПД.

За допомогою розробленого програмного продукту проведено чисельне моделювання впливу параметрів ВСПД на швидкість витікання струменя ВВР.

Встановлено, що найбільший вплив на швидкість витікання струменя водної вогнегасної речовини чинить маса порохового заряду. Так, збільшення маси порохового заряду в 2 рази призводить до збільшення швидкості на 25% (рис. 2).

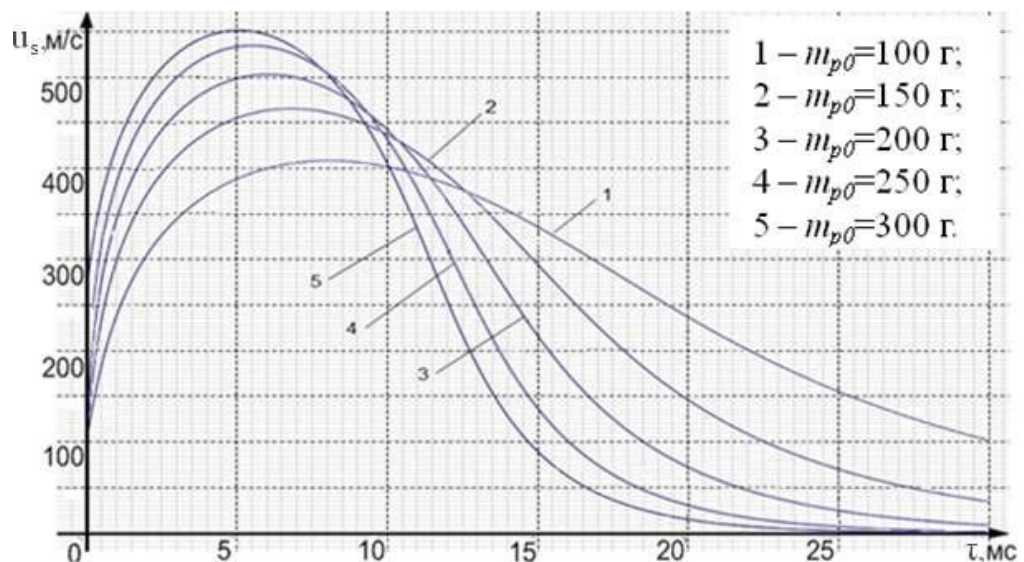


Рис. 2 – Залежність швидкості витікання ВВР від часу за різної маси пороху.
 $R_c=62,5$ мм, $R_s=10$ мм, $L_c=6000$ мм, $L_s=300$ мм, $L_k=300$ мм.

Також значний вплив на швидкість витікання струменя ВВР чинить радіус сопла (рис. 3), підвищення якого в 2 рази призводить до падіння швидкості на 15%.

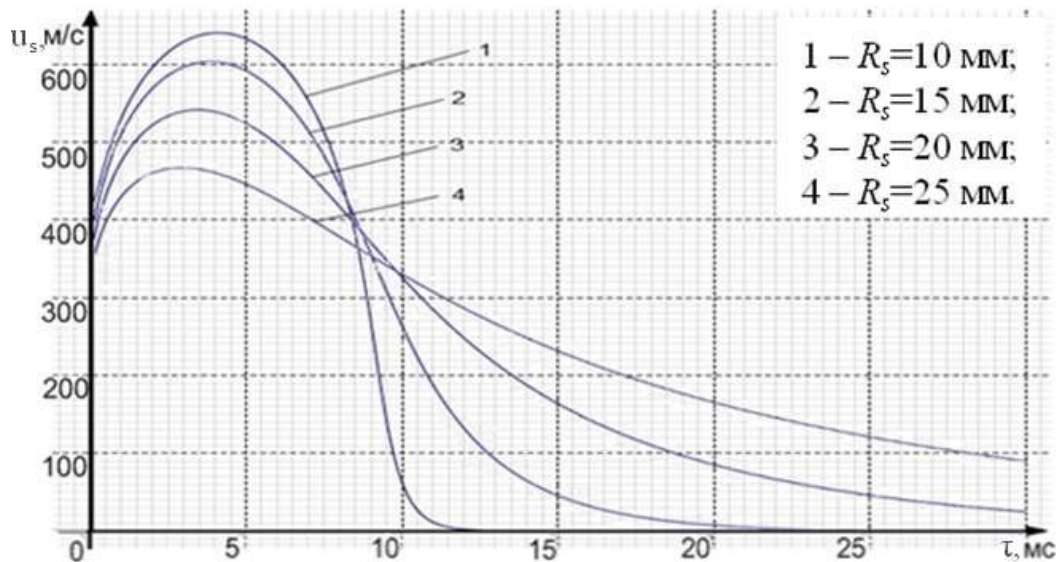


Рис. 3 - Залежність швидкості витікання ВВР від часу за різного радіусу сопла.
 $R_c=62,5$ мм, $L_c=6000$ мм, $L_s=300$ мм, $L_k=300$ мм, $m_{p0}=250$ г.

Решта параметрів не суттєво впливає на систему.

З метою оцінки впливу параметрів ВСПД на швидкість витікання струменя ВВР проведено імітаційне моделювання, за результатами якого отримана імітаційна модель впливу параметрів ВСПД на максимальну швидкість витікання струменя водної вогнегасної речовини.

Для отримання достовірних даних був складений план повного факторного чисельного експерименту типу 2^4 . У таблиці 1 наведені рівні варіювання факторів при імітаційному моделюванні.

Таблиця 1

Рівні варіювання факторів імітаційного моделювання впливу параметрів ВСПД на максимальну швидкість витікання струменя водної вогнегасної речовини

Фактори		Кодове позначення	Нульовий рівень $x_i = 0$	Інтервал варіювання	Рівень $x_i = 1$	Рівень $x_i = -1$
Маса порохового заряду	m_{p0} , г	x_1	20	10	30	10
Довжина ствола ВСПД	L_c , мм	x_2	380	70	450	310
Радіус ствола ВСПД	r_c , мм	x_3	16	4	20	12
Радіус сопла ВСПД	r_s , мм	x_4	7,5	2,5	10	5

За результатами чисельного експерименту отримано імітаційну модель впливу маси порохового заряду, радіусу сопла, довжини і радіусу ствола ВСПД на швидкість витікання струменя водної вогнегасної речовини в кодованих значеннях

$$u_{\max} = 366,5 + 357,7x_1 + 78,7x_3 - 396,3x_4 + 55,9x_1x_3 - 210,4x_1x_4 - 83,6x_3x_4 + 85,9x_1^2 + 87,9x_2^2 + 70,9x_3^2. \quad (3)$$

За допомогою моделі (3) побудовано поверхні відгуку залежності максимальної швидкості витікання струменя ВВР від параметрів ВСПД (рис. 4-5).

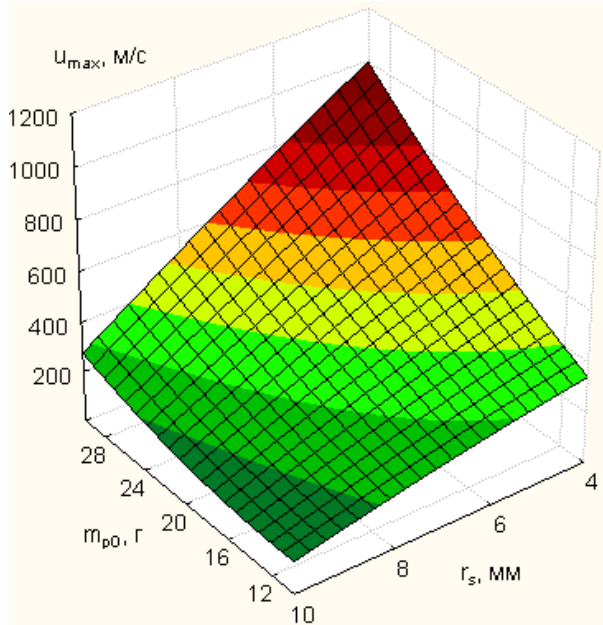


Рис. 4. Поверхня відгуку залежності максимальної швидкості витікання струменя ВВР (u_{\max}) від радіуса сопла (r_s) та маси порохового заряду (m_{p0}) при довжині ствола $L_c=380$ мм та радіусі ствола $r_c=16$ мм.

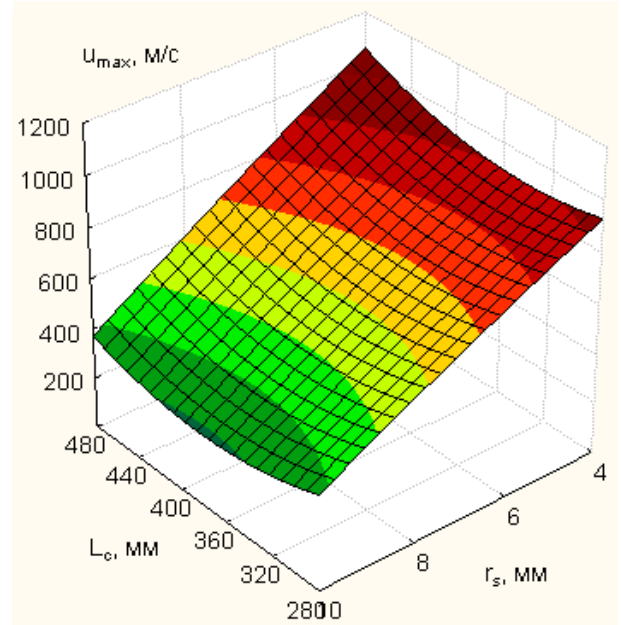


Рис. 5. Поверхня відгуку залежності максимальної швидкості витікання струменя ВВР (u_{\max}) від радіуса сопла (r_s) та довжини ствола (L_c) при масі порохового заряду $m_{p0}=30$ г та радіусі ствола $r_c=12$ мм.

На підставі імітаційного моделювання встановлено, що найбільший вплив на зміну швидкості витікання струменя ВВР чинять маса порохового заряду та діаметр сопла. Довжина ствола не суттєво впливає на максимальну швидкість витікання струменя. Вплив радіуса ствола стає суттєвим при співвідношенні радіальних розмірів ствола r_c та сопла r_s $\frac{r_c}{r_s} \geq 3$.

У третьому розділі розроблене обладнання та методики проведення експериментальних досліджень.

На основі обґрунтованої схеми, її конструктивних особливостей було розроблено та створено експериментальний зразок водної системи пожежогасіння імпульсної дії (рис. 6).



Рис. 6 – Загальний вигляд експериментального зразку водної системи пожежогасіння імпульсної дії.

Встановлено критерій аеродинамічної подоби $K_{\text{ап}} = \frac{w_0^2}{2gd_0}$, за яким моделювалося вогнище пожежі класу С. З використанням цього коефіцієнту розраховані параметри макетного вогнища пожежі класу С, який використовувався під час проведення експериментальних досліджень.

Для вимірювання швидкості руху головної частини високошвидкісного струменя ВВР розроблено багатоканальну лазерну систему безконтактного вимірювання швидкості, яка дозволяє вимірювати швидкість в інтервалі 50 – 3000 м/с.

У відповідності до поставлених завдань розроблено методики проведення експериментальних досліджень: методику перевірки адекватності математичної моделі, методику дослідження зміни швидкості руху високошвидкісного струменя ВВР, методику дослідження процесів формування високошвидкісного струменя ВВР та методику дослідження впливу факторів на процеси припинення горіння під час гасіння газових фонтанів високошвидкісним струменем ВВР.

Методика перевірки адекватності математичної моделі ґрунтується на порівнянні розрахункової швидкості струменя ВВР з отриманими експериментальними значеннями. При цьому швидкість руху струменя вимірюється на відстані $L_{\text{взм}}$ від сопла, на якій струмінь виходить на режим нормальної зміни швидкості руху.

Методика дослідження зміни швидкості руху струменя ВВР включає складання центрального композиційного ротатбельного плану експерименту типу 2^2 з метою отримання залежності $U = f(m_{\text{р0}}, l)$, де $m_{\text{р0}}$ - маса порохового заряду, l – відстань від зрізу сопла до точки вимірювання, та реалізацію цього плану шляхом проведення серії пострілів з експериментального зразка ВСПД за різного порохового заряду. На шляху руху струменя ВВР через кожні 2 м встановлюються модулі вимірювання швидкості, які фіксують швидкість струменя у заданій точці маршруту руху.

У таблиці 2 наведені відомості про рівні варіювання факторів під час дослідження зміни швидкості руху струменя ВВР.

Процеси формування високошвидкісного струменя ВВР вивчалися з використанням високошвидкісної відео зйомки з частотою до 5000 к/с. Покадрові знімки формувалися у відеограму, за якою отримували результати.

Таблиця 2

Рівні варіювання факторів експериментального дослідження впливу маси порохового заряду та відстані до сопла на швидкість розповсюдження струменя ВВР

Рівень та інтервал зміни факторів	Маса порохового заряду m_{p0} , г	Відстань до сопла l , м
Нульовий рівень, $x_i=0$	10	6
Інтервал зміни, δ_i	5	4
Верхній рівень, $x_i=1$	15	10
Нижній рівень, $x_i=-1$	5	2

Методика дослідження впливу факторів на процеси припинення горіння під час гасіння газових фонтанів високошвидкісним струменем ВВР включала наступні складові:

- дослідження впливу відстані від зрізу сопла експериментального зразка ВСПД до зони запалюючого кільця макетного вогнища пожежі класу С на процеси припинення горіння факелу газового фонтану;
- визначення зони прицілювання високошвидкісним струменем ВВР по макетному вогнищу пожежі класу С;
- оцінку дисперсності струменя ВВР в зоні контакту з макетним вогнищем пожежі класу С.

Вплив відстані від зрізу сопла експериментального зразка ВСПД до зони запалюючого кільця макетного вогнища пожежі класу С вивчався шляхом проведення серії пострілів. Якісно фіксувалося припинення горіння, а також вимірювалася максимальна дальність польоту струменя.

Для визначення зони прицілювання високошвидкісним струменем ВВР по макетному вогнищу пожежі класу С змінювався кут нахилу ВСПД α_n щодо нульової точки початку витікання газу та фіксувався результат гасіння.

Для оцінки дисперсності крапель високошвидкісного струменя ВВР розроблено експериментальний стенд, за допомогою якого можна оцінити розмір крапель по їх відбитку на стеклах з нанесеним на них шаром сажі.

У четвертому розділі наведені результати досліджень з перевірки адекватності математичної моделі, дослідження зміни швидкості руху високошвидкісного водного струменя та процесів його.

Проведено дослідження адекватності математичної моделі, яке показало, що різниця між розрахунковими та експериментальними значеннями швидкості струменя ВВР не перевищує 10%.

В результаті обробки результатів дослідження зміни швидкості руху високошвидкісного струменя ВВР за описаною методикою за допомогою методів статистики було отримане рівняння, що описує зміну швидкості руху головної

частини високошвидкісного струменя ВВР в залежності від маси порохового заряду та відстані до сопла:

$$U=18,415 \cdot m_{p0}-6,4479 \cdot l^2+70,785 \cdot l-0,955 \cdot m_{p0} \cdot l-4,1096 \quad (4)$$

Аналіз експериментальних даних показав, що струмінь ВВР витікає з сопла ВСПД зі швидкістю, яка збільшується, і на відстані, що дорівнює $(0,3 \div 0,4) \cdot l_{\max}$, досягає свого максимуму (рис. 7).

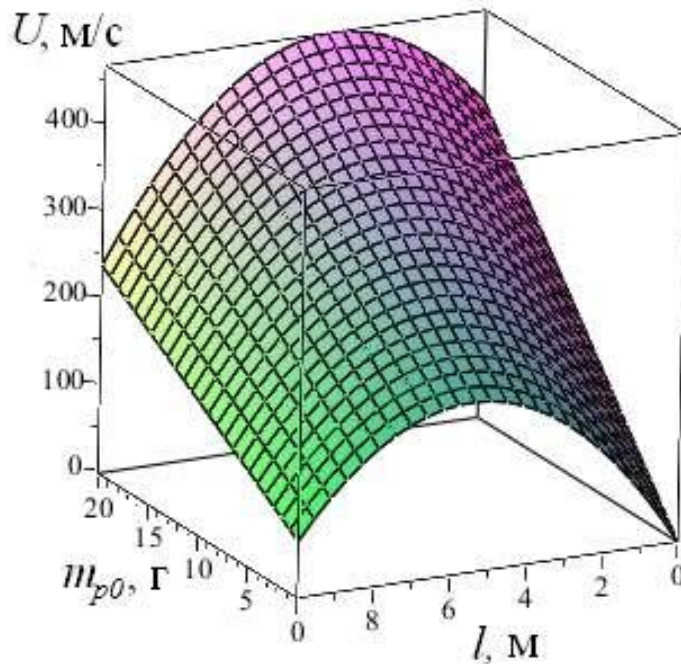


Рис. 7 – Залежність швидкості головної частини струменя ВВР U від маси порохового заряду m_{p0} та відстані до сопла l експериментального зразка ВСПД.

Аналітичне рішення задачі оптимізації для рівняння регресії (4), дозволяє визначити, який повинен бути заряд пороху, якщо відомо відстань від вогнища пожежі до сопла експериментального зразка ВСПД. Запропонований підхід можна використовувати для визначення зміни швидкості поширення високошвидкісного струменя ВВР для ВСПД збільшених розмірів.

За допомогою високошвидкісної відеозйомки проведено дослідження процесів формування високошвидкісного струменя ВВР (рис. 8). Показано, що високошвидкісний струмінь ВВР після вильоту з системи пожежогасіння потрапляє в повітря і піддається руйнуванню, ступінь якого зростає з віддаленням від сопла. При цьому постійно збільшується середній діаметр струменя і зменшується його осьовий і середній динамічний тиск (тобто зменшуються осьова і середня його швидкості).



Рис. 8 - Відеограма польоту високошвидкісного струменя ВВР за маси порохового заряду $m_{p0}=5$ г

Близько половини всієї відстані, яку пролітає струмінь, він долає, маючи виражене щільне ядро (рис. 4.6, а-в). На цій ділянці швидкість польоту струменя зростає і досягає свого максимуму. По мірі подальшого віддалення струменя від сопла, довжина і щільність ядра різко зменшується. При подальшому русі струменя відбувається уповільнення швидкості його головної частини. Ядро струменя руйнується, приймаючи вид крапельної хмари (рис. 4.6, г-и). При цьому діаметр струменя збільшується до $\approx 1-1,5$ м, що відповідає діапазону 65-70 діаметрів сопла ВСПД. Після розпаду головної частини вже зруйнований струмінь проходить відстань 1-1,5 м. Після цього частина крапель, що беруть участь у польоті, осідає вниз, а частина випаровується в повітрі.

Встановлено, що найбільший вплив на руйнування струменя чинить характер його витікання, коли задні частини ВВР розганяються і розбивають передні, тому

для збільшення дальності подачі струменя ВВР необхідно добиватися постійної швидкості витікання.

У п'ятому розділі проведені дослідження з визначення впливу чинників на процеси припинення горіння під час гасіння газових фонтанів, встановлено залежність зміни положення межі розділу «порохові гази – водна вогнегасна речовина» в часі, за якою необхідно проводити оптимізацію водної системи пожежогасіння імпульсної дії та розроблені пропозиції щодо її створення та використання.

За результатами досліджень встановлено, що за допомогою експериментального зразка ВСПД можна гасити макетне вогнище пожежі класу С з відстані до 12 м.

Додатково проведена високошвидкісна відеозйомка, яка дозволила отримати відеограму процесу гасіння макетного вогнища пожежі газового фонтану (рис. 9).

З рис. 9 видно, що струмінь ВВР підлітає до газового факелу (б) і ізолює зону горіння від надходження свіжої газоповітряної суміші (в, г). Надалі (д, е) зона впливу струменя збільшується, між горілкою і полум'ям утворюється розрив із суміші газу, повітря і крапель рідини. Концентрація газу в зоні розриву менше нижньої концентраційної межі поширення полум'я, що попереджає відновлення горіння.

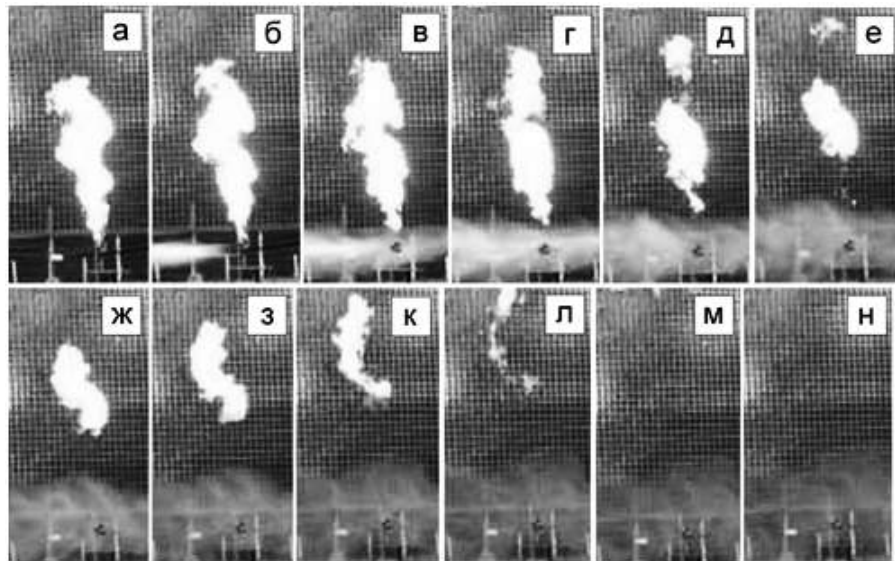


Рис. 8 - Відеограма процесу гасіння макетного вогнища пожежі класу С високошвидкісним струменем ВВР.

Експериментальним шляхом визначена зона подачі струменя ВВР по макетному вогнищу пожежі класу С. Визначено, що зоною прицілювання високошвидкісним струменем ВСПД є відстань, виражена в діаметрах свердловини, і рівна

$$H=(5\div 35)d_m, \quad (5)$$

де H – відстань від фонтанної арматури до точки прицілювання; d_m – діаметр фонтанної арматури.

Проведене визначення дисперсності крапель високошвидкісного струменя показали, що струмінь ВСПД на відстані 15-20 м для різних зарядів порошу забезпечує дисперсність крапель в діапазоні (40÷250) мкм. Отримані результати погоджуються з розрахунковими.

Спираючись на результати експериментальних досліджень процесів формування високошвидкісного струменя ВВР визначено, що конструкція водяної системи пожежогасіння імпульсної дії є оптимальною у випадку рівномірного руху межі розділу «горючі гази - ВВР», положення якої лінійно залежить від часу

$$x_g(t) = L_0 \left\{ 1 - \frac{T_0 - t}{T_0 - \tau} \left[1 + \frac{n-1}{2} \left(\frac{u_s}{a_0} \right)^2 \right]^{\frac{n}{n-1}} \right\}, \quad L_0 = \frac{V_{w0}}{F_c}. \quad (6)$$

У ході аналізу не використовувалися рівняння руху поршня, тому результати можуть бути узагальнені для отримання оптимального закону підведення енергії до поршня для різних типів приводу системи пожежогасіння.

На основі результатів, отриманих у роботі, розроблені пропозиції щодо створення ВСПД та пропозиції практичним працівникам щодо тактичного застосування пропонованої системи, які впроваджено в діяльність воєнізованої аварійно-рятувальної (газорятувальної) служби «ЛКВО» нафтогазової промисловості, ТОВ «ПОЖСПЕЦМАШ» (м. Прилуки) та науково-виробничого підприємства «САКО» (м. Харків), про що складено відповідні акти.

ВИСНОВКИ

Дисертація є закінченою науково-дослідною роботою, в якій вирішено актуальну науково-технічну задачу розкриття особливостей формування високошвидкісного струменя вогнегасної речовини водною системою пожежогасіння імпульсної дії та впливу чинників на процеси припинення горіння під час гасіння газових фонтанів таким струменем, як наукового підґрунтя підвищення ефективності гасіння газових фонтанів.

Основні наукові та практичні результати та висновки полягають у наступному:

1. На підставі аналізу сучасних технічних засобів та технологій гасіння газових фонтанів з дебітом до 3 млн. м³/добу за наявності факелу горіння, відірваного від фонтанної арматури висунуто ідею, що одним із шляхів підвищення ефективності їх гасіння є подавання в зону запалюючого кільця факелу горіння високошвидкісного струменя водної вогнегасної речовини зі швидкістю в діапазоні 50-180 м/с.

2. Розроблено принципову схему водної системи пожежогасіння імпульсної дії для гасіння газових фонтанів, складовими елементами якої є ствольна, соплова і коліматорна частини. Розроблено математичну модель, що описує її роботу в квазістаціонарному наближенні, яка враховує змінення маси, тиску та об'єму порохів газів, а також змінення маси водної вогнегасної речовини в часі.

3. Проведено моделювання роботи водної системи пожежогасіння імпульсної дії для гасіння газових фонтанів та визначений вплив маси порохового заряду, радіусу сопла, довжини та радіусу ствола ВСПД на швидкість витікання струменя водної вогнегасної речовини, який описується наступною залежністю в кодованих значеннях

$$u_{\max} = 366,5 + 357,7x_1 + 78,7x_3 - 396,3x_4 + 55,9x_1x_3 - 210,4x_1x_4 - 83,6x_3x_4 + 85,9x_1^2 + 87,9x_2^2 + 70,9x_3^2,$$

де x_1 – кодоване значення маси порохового заряду, x_2 – кодоване значення довжини ствола ВСПД, x_3 – кодоване значення радіуса ствола ВСПД, x_4 – кодоване значення радіусу сопла ВСПД. Встановлено, що для отримання максимально можливої швидкості струменя маса порохового заряду повинна бути максимальною, а радіус сопла - мінімальним. Встановлено, що для запропонованої ВСПД довжина ствола суттєво не впливає на швидкість струменя, а збільшення радіусу ствола призводить до збільшення швидкості витікання водної вогнегасної речовини за співвідношення радіальних розмірів

ствола r_c і сопла r_s $\frac{r_c}{r_s} \geq 3$.

4. Розроблено експериментальний зразок водної системи пожежогасіння імпульсної дії для гасіння газових фонтанів, методику дослідження та проведено експериментальні дослідження з перевірки адекватності математичної моделі. При цьому похибка розбіжностей між розрахунковим та експериментальним значенням не перевищувала 10 %.

5. Отримано регресійну залежність, що дозволяє визначити швидкість польоту струменя ВВР залежно від маси порохового заряду та відстані до сопла, яка описується рівнянням $U=18,4 \cdot m_{p0} - 6,45 \cdot l^2 + 70,8 \cdot l - 0,96 \cdot m_{p0} l - 4,1096$, де m_{p0} - маса порохового заряду, г; l – відстань до сопла, м.

6. На підставі експериментальних досліджень встановлено, що максимальна дальність польоту ВВР масою 450 г $L_{\max}=18$ м. Не залежно від маси порохового заряду близько половини всієї відстані, яку пролітає струмінь, він долає, маючи виражене щільне ядро. На цій ділянці швидкість польоту струменя зростає і досягає свого максимуму, який для експериментальних досліджень складав 472 м/с. По мірі подальшого віддалення струменя від сопла, довжина і щільність ядра зменшується, відбувається уповільнення швидкості його головної частини. Ядро струменя руйнується, приймаючи вид крапельної хмари. Діаметр струменя збільшується до $\approx 1-1,5$ м, що відповідає діапазону 65-70 діаметрів сопла ВСПД. Після розпаду головної частини вже зруйнований струмінь проходить відстань $(0,1 \div 0,15) \cdot L_{\max}$. На цій ділянці енергії струменя ще достатньо для гасіння макетного вогнища пожежі класу С. Встановлено, що найбільший вплив на руйнування струменя чинить характер його витікання, коли задні частини ВВР розганяються і розбивають

передні, тому для збільшення дальності подачі струменя ВВР необхідно добиватися постійної швидкості витікання.

7. Встановлено вплив відстані від зрізу сопла системи пожежогасіння до зони запалюючого кільця макетного вогнища пожежі класу С на процеси припинення горіння факелу газового фонтану. Це дозволило розробити пропозиції з застосування водної системи пожежогасіння імпульсної дії для гасіння газових фонтанів. Виявлено, що експериментальним зразком ВСПД (довжина ствола 385 мм, довжина сопла 70 мм, довжина коліматору 50 мм, максимальна маса ВВР ≈ 450 г) ефективно припиняється горіння макетного вогнища пожежі класу С з витратою газу $Q_0=5,4$ л/с, швидкістю його витікання $V=30,6$ м/с та висотою факелу $H_{\phi}\approx 2,5$ м з відстані до 12 м, а зоною прицілювання високошвидкісним струменем ВСПД є відстань, виражена в діаметрах свердловини, і рівна $H=(5\div 35)\cdot d_m$ від зрізу фонтанної арматури. Ефективне гасіння пояснено одночасним проявом охолоджуючого фактору та механічного зриву полум'я енергією високошвидкісного струменя ВВР.

8. Встановлено залежність зміни положення межі розділу «порохові гази – водна вогнегасна речовина» в часі, за якою необхідно проводити оптимізацію водної системи пожежогасіння імпульсної дії, яка описується рівнянням

$$x_g(t) = L_0 \left\{ 1 - \frac{T_0 - t}{T_0 - \tau} \left[1 + \frac{n-1}{2} \left(\frac{u_s}{a_0} \right)^2 \right]^{\frac{n}{n-1}} \right\}, \text{ де } L_0 = V_{w0}/F_c, V_w - \text{об'єм ВВР в установці}$$

імпульсної дії в початковий момент часу; F_c - площа поперечного перерізу ствола;

$T_0 = \frac{m_{w0}}{F_s u_s \rho_0}$; m_w - маса ВВР в системі пожежогасіння імпульсної дії в початковий

момент часу; F_s - площа поперечного перерізу сопла; u_s - швидкість струменя ВВР;

n, ρ_0 - константи рівняння стану; $\tau \approx L_s/a_0$ - час початку виходу струменя; L_s - довжина сопла; a_0 - швидкість звуку в ВВР.

9. Розроблено пропозиції щодо створення та застосування водної системи пожежогасіння імпульсної дії для гасіння газових фонтанів, які впроваджено в діяльність воєнізованої аварійно-рятувальної (газорятувальної) служби «ЛКВО» нафтогазової промисловості, ТОВ «ПОЖСПЕЦМАШ» (м. Прилуки) та науково-виробничого підприємства «САКО» (м. Харків), про що складено відповідні акти.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

У наукових фахових виданнях:

1. О возможности тушения пожаров газовых фонтанов с помощью высокоскоростных струй жидкости / [Виноградов С.А., Грицына И.Н., Сенчихин Ю.Н., Касьян А.И.] // Пожежна безпека: збірник наукових праць. – Львов: ЛГУБЖД, 2010. - №17. – С.77-82.

2. Грицына И.Н. Математическая модель внутренней баллистики устройства импульсной подачи жидкости для тушения газовых фонтанов в квазистационарной

постановке / Грицына И.Н., Виноградов С.А. // Проблемы пожарной безопасности. – Харьков: УГЗУ, 2009. – Вып. 25. – С. 43-46.

3. Виноградов С.А. Исследование зависимости скорости истечения высокоскоростной струи от параметров импульсного водомета / С.А. Виноградов, И.Н. Грицына, Д.Л. Соколов // Проблемы пожарной безопасности. – Харьков: НУГЗУ, 2010. – Вып. 28. – С.12-18.

4. Грицына И.Н. Имитационное моделирование изменения максимальной скорости истечения струи установки импульсного действия для тушения газовых фонтанов / Грицына И.Н., Виноградов С.А., Пономаренко Р.В. // Проблемы пожарной безопасности. – Харьков: НУГЗУ, 2012. – Вып. 31. – С. 48-54.

5. Семко А.Н. Использование импульсных струй жидкости высокой скорости для тушения газовых факелов / А.Н. Семко, С.А. Виноградов, И.Н. Грицына // Вісник ДонНУ, Сер. А: природничі науки. – Донецк, 2011. – №1. – С. 160-167.

6. Грицына И.Н. Экспериментальные исследования тушения газового факела импульсными струями жидкости высокой скорости / Грицына И.Н., Виноградов С.А., Быченко С.Н. // Науковий вісник УкрНДІПБ. – Київ, 2011. - № 2(24). – С. 21-25.

7. Виноградов С.А. Чинники впливу водяного струменя високої швидкості на процес припинення горіння газового фонтана / Виноградов С.А. // Науковий вісник УкрНДІПБ. – Київ, 2012. - № 1 (25). – С. 21-25.

Особистий внесок здобувача у роботах, які опубліковані у співавторстві:

[1] - здобувачем проведено аналіз сучасних технічних засобів та технологій гасіння газових фонтанів та визначити шляхи підвищення їх ефективності, обґрунтовано можливість застосування для цього високошвидкісних струменів водної вогнегасної речовини; [2] - побудовано математичну модель, що описує роботу водної системи пожежогасіння імпульсної дії для гасіння газових фонтанів; [3] - створено програмний комплекс для визначення швидкості витікання водної вогнегасної речовини залежно від початкових параметрів ВСПД та досліджена залежність швидкості витікання високошвидкісного струменя водної вогнегасної речовини від параметрів ВСПД; [4] - проведено імітаційне моделювання ВСПД та визначений вплив її геометричних параметрів та початкових характеристик заряду на швидкість витікання струменя водної вогнегасної речовини; [5] - розроблено методику проведення експериментальних досліджень та проведені експериментальні дослідження з гасіння макетного газового фонтану експериментальним зразком ВСПД; [6] - експериментально визначено умови ефективного застосування високошвидкісного струменя водної вогнегасної речовини для гасіння газових фонтанів; [7] - визначено чинники впливу водяного струменя на ефективність припинення горіння газового фонтана.

Опубліковано в інших виданнях:

8. Пат. 66434 Україна, МПК (2011.01) А 62 С 27/00. Установка для гасіння пожеж / Ларін О.М., Семко О.М., Грицына І.М., Виноградов С.А.; заявник та

патентовласник Національний університет цивільного захисту України. - № u 201103022, заяв. 15.03.2011; опубл. 10.01.2012, Бюл. №1.

9.Грінченко Є.М. Про можливість гасіння нафтогазових фонтанів за допомогою ультразвуменів рідини / Грінченко Є.М., Виноградов С.А.// Об'єднання теорії та практики – залог підвищення боєздатності оперативно-рятувальних підрозділів: матеріали науково-технічної конференції. – Харків: УЦЗУ, 2008. – С. 62-65.

10.Виноградов С.А. Анализ способов ликвидации пожаров нефтегазовых фонтанов / Виноградов С.А., Грицына И.Н. // Матеріали XIII Всеукраїнської науково-практичної конференції рятувальників, 20-21 вересня 2011 р. – Київ, 2011. – С. 202-205.

11.Грицына И.Н. Способы получения ультразвукой жидкости для тушения газовых фонтанов / Грицына И.Н., Виноградов С.А. // Актуальні проблеми технічних та природничих наук у забезпеченні цивільного захисту: научн. - практ. конф., 31 марта 2009. – Черкасы: ЧАПБ, 2009.

12.Пылинский П.С. Использование импульсных струй жидкости высокой скорости для тушения газовых фонтанов / Пылинский П.С., Виноградов С.А. // Теорія та практика ліквідації надзвичайних ситуацій. Матеріали міжнародної науково-практичної конференції // Черкаси: видавець Ю.Чабаненко, 2011 – с. 16-19

13.Виноградов С.А. Программный комплекс для определения рабочих параметров импульсного водомета, применяемого для тушения газовых фонтанов / Виноградов С.А., Грицына И.Н., Качкар Е.В. // Об'єднання теорії та практики – залог підвищення боєздатності оперативно-рятувальних підрозділів: наук.-техн. конф., грудень 2010. – Харків: НУЦЗУ. – с. 19-21.

14.Грицына И.Н. Исследование зависимости скорости истечения высокоскоростной струи от параметров импульсного водомета / Грицына И.Н., Виноградов С.А. // Теорія та практика ліквідації НС: міжн. наук.- практ. конф., 2-3 грудня 2010. – Черкаси: ЧАПБ. – с. 165-169.

15.Семко А.Н. Использование импульсных струй жидкости высокой скорости для тушения газовых факелов / Семко А.Н., Грицына И.Н., Виноградов С.А. // Импульсные процессы в механике сплошных сред: междунар. науч.-практ. конф., 15-19 августа 2011. – Николаев: «Миколаївська обласна друкарня». – 2011. – С. 280-283

16.Семко А.Н. Оптимизация импульсных водоструйных установок для тушения газовых факелов / [Семко А.Н., Локтюшина Ю.В., Виноградов С.А., Решетняк В.В., Баранова Ю.В.] // Импульсные процессы в механике сплошных сред: междунар. науч.-практ. конф., 15-19 августа 2011. – Николаев: «Миколаївська обласна друкарня». – 2011. – С. 284-288

17.Виноградов С.А. Определение зоны прицеливания высокоскоростной струей при тушении газового факела / С.А. Виноградов, Грицына И.Н. // Пожежна безпека – 2011: Матеріали X Міжнародної науково-практичної конференції, 17-18 листопада 2011р. – Харків: НУЦЗ України, 2011. – с. 169-170.

18.Разработка системы измерения скорости высокоскоростной струи огнетушащей жидкости / [Виноградов С.А., Грицына И.Н., Семко А.Н., Украинский Ю.Д.] // XXIV международная научно-практическая конференция по проблемам

пожарной безопасности, посвященная 75-летию создания института: тезисы докладов. Ч. 2. – М.: ВНИИПО. – С. 224-226.

Особистий внесок здобувача у роботах, які опубліковані у співавторстві:

[9, 12] - обґрунтовано можливість застосування для гасіння газових фонтанів високошвидкісних струменів водної вогнегасної речовини; [10] – проведений аналіз сучасних технічних засобів та технологій гасіння газових фонтанів, визначені їх недоліки та шляхи підвищення їх ефективності; [11] – проведено аналіз способів отримання високошвидкісних струменів рідини, визначені їх переваги та недоліки; [13] - створено програмний комплекс для визначення швидкості витікання водної вогнегасної речовини в залежності від початкових параметрів ВСПД; [14] – досліджено вплив швидкості витікання високошвидкісного струменя рідини від параметрів водної системи пожежогасіння імпульсної дії; [15] – розроблено методіку проведення експериментальних досліджень та проведені експериментальні дослідження з гасіння експериментальним зразком ВСПД макетного газового фонтану; [16] – виконано оптимізацію водних систем пожежогасіння імпульсної дії для гасіння газових факелів та отримано залежність встановлено залежність зміни положення межі розділу «порохові гази – водна вогнегасна речовина» в часі, за якою необхідно проводити оптимізацію водної системи пожежогасіння імпульсної дії; [17] - експериментально визначені умови ефективного застосування високошвидкісного струменя водної вогнегасної речовини для гасіння газових фонтанів; [18] – розроблено систему вимірювання швидкості високошвидкісного струменя водної вогнегасної речовини.

АНОТАЦІЯ

Виноградов С.А. Підвищення ефективності гасіння газових фонтанів. – Рукопис.

Дисертація на здобуття вченого ступеня кандидата технічних наук зі спеціальності 21.06.02. – пожежна безпека. Український науково-дослідний інститут цивільного захисту, м. Київ, 2012 р.

Дисертацію присвячено розкриттю особливостей формування високошвидкісного струменя вогнегасної речовини водною системою пожежогасіння імпульсної дії та впливу чинників на процеси припинення горіння під час гасіння газових фонтанів таким струменем, як наукового підґрунтя підвищення ефективності гасіння газових фонтанів.

Встановлено залежність швидкості струменя водної вогнегасної речовини від маси порохового заряду, радіусу сопла, довжини та радіусу ствола водної системи пожежогасіння імпульсної дії, яка описується запропонованою формулою.

Встановлено залежність зміни положення межі розділу «порохові гази – водна вогнегасна речовина» в часі, за якою необхідно проводити оптимізацію водної системи пожежогасіння імпульсної дії, яка описується запропонованим рівнянням.

Набуло подальшого розвитку уявлення про механізм припинення горіння газових фонтанів з наявністю факелу горіння, відірваного від фонтанної арматури, у разі подавання в зону запалюючого кільця високошвидкісного струменя водної

вогнегасної речовини з визначеними параметрами, який полягає в одночасному прояві охолоджуючого фактору та механічного зриву полум'я енергією такого струменя.

Розроблено пропозиції щодо створення та застосування водної системи пожежогасіння імпульсної дії для гасіння газових фонтанів, які впроваджено в діяльність воєнізованої аварійно-рятувальної (газорятувальної) служби «ЛІКВО» нафтогазової промисловості, ТОВ «ПОЖСПЕЦМАШ» (м. Прилуки) та науково-виробничого підприємства «САКО» (м. Харків), про що складено відповідні акти.

Ключові слова: пожежа, газовий фонтан, водна система пожежогасіння імпульсної дії, високошвидкісний струмінь, припинення горіння, ефективність гасіння.

АННОТАЦІЯ

Виноградов С.А. Повышение эффективности тушения газовых фонтанов. - Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 21.06.02. - Пожарная безопасность. Украинский научно-исследовательский институт гражданской защиты, г. Киев, 2012 г.

Диссертация посвящена раскрытию особенностей формирования высокоскоростной струи огнетушащего вещества водной системой пожаротушения импульсного действия и влиянию факторов на процессы прекращения горения при тушении газовых фонтанов такой струей, как научной основы повышения эффективности тушения газовых фонтанов.

Объектом исследования были процессы формирования высокоскоростной струи водяного огнетушащего вещества системой пожаротушения импульсного действия, а также процессы прекращения горения газового факела такой струей.

Предмет исследования - влияние факторов на процессы формирования высокоскоростной струи водяного огнетушащего вещества системой пожаротушения импульсного действия и процессы прекращения горения газового факела такой струей.

В работе использован комплексный метод исследований, включающий анализ и обобщение научно-технических достижений вопросов разработки и применения способов и технологий тушения пожаров газовых фонтанов. Решение поставленных в диссертации задач осуществляли с применением математического моделирования процессов, происходящих во время работы водяной системы пожаротушения импульсного действия с соблюдением основных законов гидродинамики. При проведении экспериментальных исследований по определению изменения скорости струи водяного огнетушащего вещества использовались методы факторного планирования эксперимента, применялись метрологически аттестованные средства измерения. Исследование процессов прекращения горения и определение условий эффективного применения водяной системы пожаротушения импульсного действия осуществляли с использованием макетных очагов класса С. Исследование особенностей формирования высокоскоростной струи водяного огнетушащего вещества осуществляли с использованием высокоскоростной видеосъемки.

Результаты теоретических и экспериментальных исследований обрабатывались с использованием статистических методов и доказательств адекватности разработанных математических моделей на основе приложений «STATISTICA V6» и «MAPLE V10» с привлечением компьютерной техники.

Разработана принципиальная схема водяной системы пожаротушения импульсного действия для тушения газовых фонтанов, составными элементами которой являются ствольная, сопловая и коллиматорная части. Разработана математическая модель, описывающая ее работу в квазистационарном приближении, которая учитывает изменение массы, давления и объема пороховых газов, а также изменение массы водяного огнетушащего вещества.

Разработан экспериментальный образец водяной системы пожаротушения импульсного действия для тушения газовых фонтанов, методика и проведены экспериментальные исследования по проверке адекватности математической модели. При этом погрешность несовпадений между расчетным и экспериментальным значением не превышала 10%.

Установлена зависимость скорости струи водяного огнетушащего вещества от массы порохового заряда, радиуса сопла, длины и радиуса ствола водяной системы пожаротушения импульсного действия, которая описывается предложенной формулой.

Установлена зависимость изменения положения границы раздела «пороховые газы - водяное огнетушащее вещество» во времени, по которой необходимо проводить оптимизацию водяной системы пожаротушения импульсного действия, которая описывается предложенным уравнением.

Получило дальнейшее развитие представление о механизме прекращения горения газовых фонтанов с наличием факела горения, оторванного от фонтанной арматуры, в случае подачи в зону зажигающего кольца высокоскоростной струи водяного огнетушащего вещества с определенными параметрами, который заключается в одновременном проявлении охлаждающего фактора и механического срыва пламени энергией такой струи.

Разработаны предложения по созданию и применению водной системы пожаротушения импульсного действия для тушения газовых фонтанов, которые внедрены в деятельность ООО «ПОЖСПЕЦМАШ» (г. Прилуки), военизированной аварийно-спасательной (газоспасательной) службы «ЛИКВО» нефтегазовой промышленности (г. Харьков) и НПП «САКО» (г. Харьков), про что составлены соответствующие акты.

Ключевые слова: пожар, газовый фонтан, водная система пожаротушения импульсного действия, высокоскоростной поток, прекращения горения, эффективность тушения.

ABSTRACT

Vinogradov S.A. Raising efficiency of extinguishing of gas blowouts – A manuscript.

A dissertation for the competition of the scientific degree of Candidate of Sciences (Engineering) by the specialty of 21.06.02 – fire safety. Ukrainian Civil Protection Research Institute, Kyiv city, 2012.

The dissertation is dedicated to the disclosure of the specific features of the formation of a high velocity jet of a fire extinguishing substance by impulse action water fire-fighting system as well as influence of a number of factors upon the processes of burning cessation at extinguishing of gas blowouts with such a jet as scientific substantiation for raising efficiency of the extinguishing of gas blowouts.

Dependency of a fire extinguishing substance jet velocity upon gunpowder charge mass, nozzle radius, and length and radius of an impulse action fire-fighting system barrel has been revealed that is described with a proposed formula.

Dependency of the changing of the “gunpowder gases – water-based fire extinguishing substance” interface with the course of time has been established, and it is to be used for the optimization of a water impulse action fire-fighting system that is described with the equation proposed.

Notion of the mechanism of burning cessation of gas blowouts with the availability of a flaming torch torn from the blowout armature in case of delivery of a high velocity water-based fire extinguishing substance with known parameters that lies in the simultaneous development of cooling effect and mechanical flame tearing with such a jet energy obtained further development.

Proposals for the creation and application of water impulse action fire-fighting system for gas blowouts extinguishing have been developed, and those are introduced to the “POZHSPETSMASH” Ltd. activities (Priluki town), militarized “LIKVO” emergency and rescue service (Kharkiv city) and RPE “SAKO” (Kharkiv city).

Keywords: fire, gas blowout, water impulse action fire-fighting system, high velocity jet, burning cessation, and efficiency of extinguishing.

Підписано до друку 15.10.2012 р.
Друк різнограф.
Наклад 100 прим.

Формат 60 80 1/16
Ум. друк. арк. 1,0
Зам. № 115/2012

Укр НДІ ЦЗ, 01011, м. Київ, вул. Рибальська, 18