

УДК 614.842.6

С.А. Виноградов, І.М. Грицина, канд. техн. наук, доцент, НУЦЗУ

ПЛАНУВАННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ З ГАСІННЯ ГАЗОВОГО ФАКЕЛА ЗА ДОПОМОГОЮ ВИСОКОШВИДКІСНИХ СТРУМЕНІВ РІДИНИ

Проведений вибір критерію подібності для моделювання горящого факела газового фонтану і приведені результати моделювання для реального газового фонтану. Описана схема експериментальної установки для проведення експерименту по гасінню газового факела за допомогою гидрогармати і імпульсного водомета, а також методика проведення дослідження.

Ключові слова: моделювання, високошвидкісний струмінь рідини, критерій подібності, газовий факел, установка подачі.

Постановка проблеми. У [1] обґрунтована теоретична можливість гасіння газових фонтанів, що горять, високошвидкісними струменями рідини. Для перевірки даного припущення необхідно провести експериментальні дослідження, які необхідно проводити з використанням масштабних моделей факела і установки для отримання високошвидкісних струменів рідини. При створенні експериментального устаткування ми стикаємося з проблемою пошуку адекватних критеріїв подібності для моделювання процесу гасіння.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. У основу фізичного моделювання покладена теорія подібності. Необхідною і достатньою умовою фізичної подібності систем є рівність двох однотипних критеріїв подібності – безрозмірного числа, що визначає дане фізичне явище [2]. Моделювання процесу горіння газового факела проводилося в [3, 4]. На основі проведених експериментальних досліджень встановлена залежність довжини факела від швидкості закінчення газу. Робота імпульсного водомета і гидропушки детально розглядалася в [5, 6], де побудовані адекватні математичні моделі даних процесів. Результати, приведені в перерахованих джерелах, дозволяють зробити висновки про можливість отримання струменя рідини з необхідними параметрами для гасіння газового факела.

Постановка завдання і її рішення. В ході експериментальних досліджень гасіння газових факелів планується провести серію пострілів з установки гасіння по модельному газовому факелу, який створюється шляхом подачі газу з балона через газовий редуктор. Експеримент планується провести з двох частин, в першій з яких будуть отримані залежності дальності подачі струменя рідини від її початкових параметрів, а в другій визначені граничні значення швидкості струменя рідини, що забезпечують гасіння полум'я.

Для моделювання процесу гасіння необхідно створити модель факела, режими руху якого були б ідентичними режимам реального горящого газового фонтану.

Для моделювання газового факела критерій Re не може бути використаний, оскільки взаємодія сил інерції і сил гальмування у відкритому струмені принципово відмінна від такої взаємодії для потоку в трубах [7]. Залежність відносної довжини факела від критерію Re (рис. 1) як при ламінарній, так і при турбулентній течії дають різні криві для насадків різних діаметрів [3].

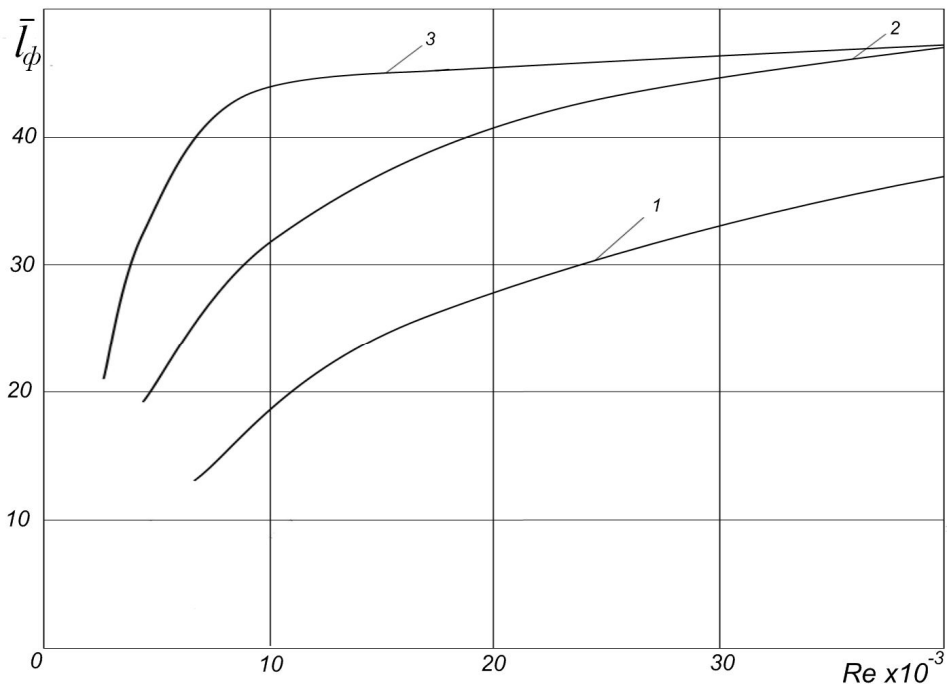


Рисунок 1. Залежність відносної довжини факела, що горить, від величини критерію Re при діаметрах насадка: 1 - $d=45,3$ мм; 2 - $d=20,3$ мм; 3 - $d=10,1$ мм.

Довжина газового факела залежить від діаметру насадка і швидкості газового струменя [4]; отже в критерій, що визначає довжину факела, повинні входити діаметр насадка і швидкість газу. Експериментальні дослідження [3] показали, що процеси перемішування при горінні газу залежать від струменя, що визначає кінетичну енергію потоку. Враховуючи сказане, критерій (1) [3], що виражає довжину вільно горящого факела

$$K_{an} = \frac{w_0^2}{2gd_0} \quad (1)$$

Фізичний критерій аеродинамічної подібності (1) полягає в тому, що він характеризує процеси перемішування газу з навколишньою атмосферою, залежні перш за все від товщини газового струменя. Він відрізняється від критерію Фруда своїм лінійним параметром (діаметр, а не довжина шляху руху струменя).

Моделювання газового факела проводиться для горіння фонтанів з дебітом $(1\div 3) \cdot 10^6$ м³/добу. Діаметри свердловини узяті з розрахунку використання стандартного бурового устаткування від 0,3 до 0,5 м. При масштабі моделювання по лінійних розмірах М 1:100 для модельного факела діаметри насадків знаходяться в межах (0,003÷0,005) м. Зміна геометричного розміру веде до зміни швидкості закінчення з використанням критерію аеродинамічної подібності.

Так, з урахуванням критерію аеродинамічної подібності (1) була розрахована швидкість витікання газу для модельного факела з діаметром насадка $d_m=0,005$ м. Для моделювання був узятий реальний факел газового фонтану з дебітом $Q_0=2 \cdot 10^6$ м³/добу і діаметром устаткування $d_0=0,5$ м, що відповідає швидкості витікання газу, рівній $w_0=118$ м/с. Тоді для модельного факела з діаметром насадка $d_m=0,005$ м швидкість виходу газу повинна скласти $w_m=11,8$ м/с. Така швидкість досягається при тиску $p_m=1,019 \cdot 10^5$ Па.

Для подачі високошвидкісних струменів рідини пропонується використовувати установку, схематичне зображення якої показано на рис. 2.

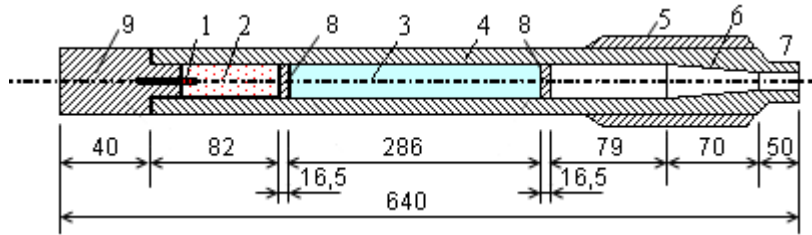


Рисунок 2. Установка подачі високошвидкісних струменів рідини: 1 – запальник, 2 – камера згоряння, 3 – вода, 4 – , 5 – бандаж, 6 – сопло, 7 – коліматор, 8 – пиж, 9 – затвор.

Установка подачі високошвидкісних струменів рідини (ВСР) може використовуватися в двох режимах – в режимах гідрогармати (часткове заповнення водою) і імпульсного водомета (повного заповнення водою і сопла). При роботі в режимі імпульсного водомета реалізується екструзійний принцип – витіснення рідини через отвір, а при роботі в режимі гідрогармати – інерційний, полягаючий в тому, що в потоці нестационарно рухомій рідині відбувається перерозподіл енергії. При роботі в режимі гідрогармати маса водяного заряду коливається в межах 50÷300 грам, а в режимі імпульсного водомета вона складає 400 гр. З урахуванням масштабу моделювання лінійних розмірів $M 1:100$ в реальних умовах це відповідатиме масі заряду в (5÷40) кг

При проведенні експерименту планується визначити вплив маси порошу і води на дальність польоту струменя, а також значення швидкостей струменя в зоні горіння, при яких відбувається відрив полум'я газових факелів різних параметрів. Окрім цього, планується проведення фото-відеозйомки для подальшого покадрового відображення структури факела і струменя рідини, що летить, а також визначення якості розпилювання рідини шляхом вимірювання розмірів відбитків крапель, залишених на закопченому склі.

Схема експериментальної установки представлена на рис. 3. Газ балона, ємкістю 40 л 1 через газовий манометр 2 і редуктор БПО-5ДМ 3 в трубопровід з внутрішнім діаметром 0,009 м. За допомогою вимірника витрати 4 фіксується об'ємна витрата газу по перепаду тиску на диференціальному манометрі 5. Далі газ по трубопроводу на зразковий манометр 7, де фіксується тиск перед витіканням через насадок 6. Вимірювання відстані до установки подачі ВСС 9 проводиться за допомогою вимірювальної рулетки 8.

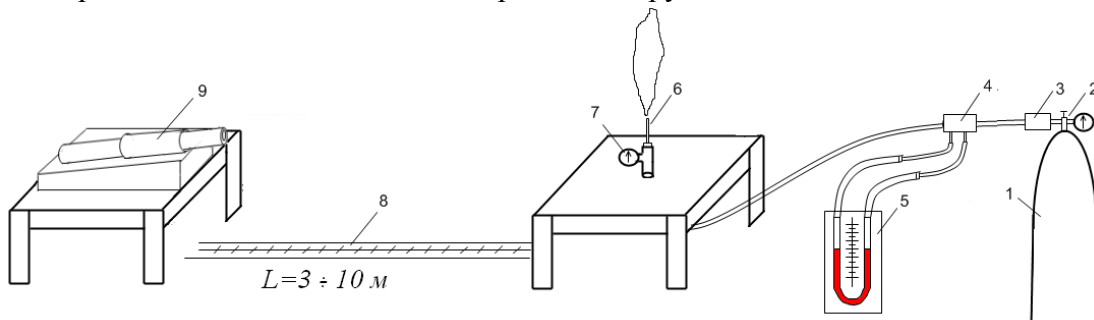


Рисунок 3. Схема експериментальної установки.

При плануванні експерименту використаний метод симплексного планування. Матриця умов дослідження в кодованих та натуральних значеннях для перших трьох пострілів представлена в таблиці 1, де m_n та m_e – маса порошу та води, відповідно.

Таблиця 1. Значення факторів в кодованих та натуральних значеннях

| № досліджу | m_n | m_e | \tilde{m}_n^0 | \tilde{m}_e^0 |
|------------|-------|-------|-----------------|-----------------|
| 1 | +1 | +1 | 20 | 200 |
| 2 | -1 | +0,46 | 10 | 173 |
| 3 | +0,46 | -1 | 17,3 | 100 |

Після проведення перших трьох пострілів визначається найгірше значення параметру оптимізації, після чого за формулою 2 визначаються наступні значення факторів.

$$\tilde{m}_{N+1} = \frac{2}{k} \sum_1^k x_i - x_{\min}, \quad (2)$$

де \tilde{m}_{N+1} - і-ий фактор у новому досліді; k – кількість факторів; $\sum_1^k x_i$ - сума попередніх значень факторів без результатів гіршого досліді; x_{\min} – значення фактора у гуршому досліді.

Висновки. У статті запропоновано для моделювання газових факелів використовувати критерій аеродинамічної подібності, рівний відношенню відносного динамічного напору струменя до діаметру витікання. Проведено моделювання газового факела з дебітом $Q_0=2 \cdot 10^6$ м³/добу при масштабі моделювання лінійних розмірів М 1:100. Описана установка для подачі високошвидкісних струменів рідини і схема експериментальної установки, а також розглянуті цілі і методика проведення натурального експерименту.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Об'єднання теорії та практики – залог підвищення боєздатності оперативно-рятувальних підрозділів. Матеріали науково-технічної конференції. – Харків: УЦЗУ, 2008. – 199 с.
2. Седов Л.И. Методы подобия и размерности в механике / Леонид Иванович Седов – М.: Высшая школа, 1977. – 440 с.
3. Левченко П.В. Основные закономерности газового факела / П.В. Левченко, Б.И. Китаев - Сталь. – 1952. - №3. – с.265-272.
4. Черный А.А. Теоретические предпосылки разработки эффективных газовых вагранок: уч. пособие / Анатолий Алексеевич Черный – Пенза, 2008. – 39 с.
5. Семко А.Н. Импульсные струи жидкости высокого давления / Александр Николаевич Семко – Донецк: Вебер, 2007. – 149 с.
6. Атанов Г. А. Экспериментальное исследование внутренней баллистики импульсного водомета/ Г. А. Атанов, Ю.Д. Украинский - Изв. АН СССР. Механика жидкости и газа. - 1979. - № 3. - С. 150-152.
7. Основы общей теории печей / М.А. Глинков – М.: Metallurgizdat, 1962. – 576 с.