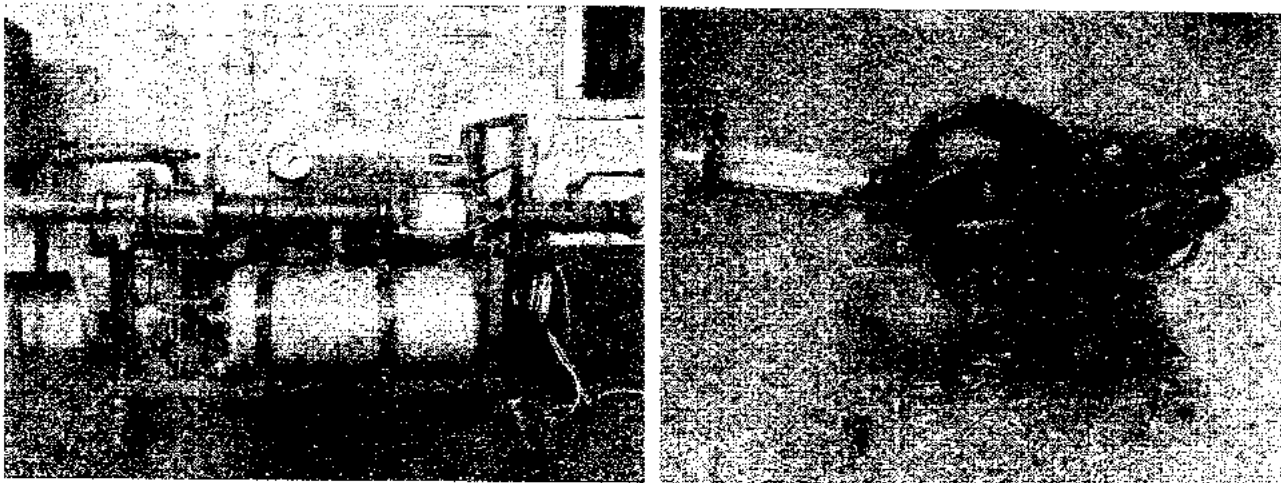


С.В. Стась, к.т.н., доцент (Академія пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля)

ПРО СТВОРЕННЯ УСТАНОВКИ ДОСЛІДЖЕННЯ ВОДЯНИХ СТРУМЕНІВ

В роботі анонсується питання створення лабораторної установки з дослідження водяних струменів. Наведені результати перших експериментів й окреслені перспективи використання установки

Аналіз проблеми та публікацій. Як відомо [1-3], питанням вивчення водяних струменів, що використовуються під час ліквідації різного роду надзвичайних ситуацій присвячена значна кількість праць. В більшості з них йдеться про водяні струмені, які застосовуються при гасінні пожеж. Слід розрізняти вказані потоки з позицій основних характеристик гідравлічного обладнання, що застосовується для формування вогнегасних струменів. В роботі йдеться про типові водяні струмені, робочі характеристики яких, такі як напір на виході пожежного ствола складають 0,2 ... 1,0 МПа, витрати рідини - 1...10 л/с, ступінь роздроблення потоку на краплини діаметром - $2 \cdot 10^2 \dots 2 \cdot 10^3$ мкм. Зазначимо, що використання терміну «дисперсність» у нашому випадку не зовсім коректне, оскільки під дисперсністю найчастіше розуміють відношення площі поверхні частинок до об'єму, який вони займають або, іноді, до їх сумарної маси. Увага до дослідження процесів формування водяних струменів, керування дальністю подачі вогнегасної речовини, дроблення потоків, технології відбору тепла від осередку пожежі має суто практичний сенс, оскільки нині не існує такого унікального універсального обладнання, що дозволяло б оперативно формувати пожежні струмені різної дальності, розпиленості потоку, витрат вогнегасної суміші для різних випадків конкретних пожеж без зниження ефективності гасіння.



а)

б)

*Рис. 1. «Силова» складова установки дослідження водяних струменів:
а) модуль двигун-насос, б) підсистема позиціонування пожежного ствола*

Проведені дослідження та отримані результати.

Лабораторна установка дослідження водяних струменів. Проектування і виготовлення лабораторної установки проводилося упродовж двох років і перші експерименти були здійснені вже у 2006 році, однак лише нині можна фактично підтвердити проведення повноцінних експериментів на базі зазначеного стенда-установки. У дослідженнях, що

проводилися сумісно працівниками Академії пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля та Національного технічного університету України «КПІ», стосовно проблематики вивчення процесів формування водяних струменів, використовувалась унікальна дослідна установка.

Були проведені експерименти для визначення залежності дальності подачі вогнегасного розчину від кута нахилу ствола відносно горизонту, дальності струменя від тиску на вході ствола, наявності чи відсутності пульсатора тиску у гідравлічній схемі установки. В цілому результати експериментів збігалися із відомими даними із літератури. Однак, крива залежності дальності подачі вогнегасного розчину від кута нахилу ствола була більш опуклою, ніж прийнято вважати, окрім того, максимальна дальність подачі водяного струменя спостерігалась при $\alpha \approx 30^\circ$, що також не зовсім відповідає даним, наведеним у літературі даної тематики. [1, 3].



Рис. 2. Модуль обробки результатів

Пожежний ствол. Результати аналізу перших експериментів дали можливість стверджувати про можливість і необхідність коригування традиційних способів розрахунку основних параметрів водяних струменів [1,2]. Важливим завданням, яке в перспективі розглядатиметься і експериментально перевірятиметься за допомогою установки, є вивчення умов, при яких відбувається відрив краплини від водяного струменя під час перенесення вогнегасної рідини від пожежного ствола до осередку пожежі. Розв'язання вказаної задачі дозволило б впритул підійти до розгляду проблеми ефективного управління водяним струменем.

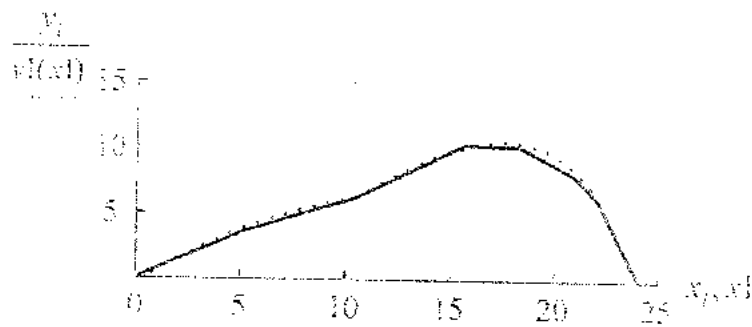
Перші експерименти були проведені при різних кутах атаки (положення осі пожежного ствола до горизонту) і різних значеннях тиску на виході зі ствола. Були отримані статистичні дані, обробка яких показала, що краще всього (досить точно) функція залежності довжини подачі рідини від кута атаки може бути описана поліномом 4-го степеня такого вигляду (рис. 4а), а подальше ускладнення функції не сприяє суттєвому уточненню даної залежності



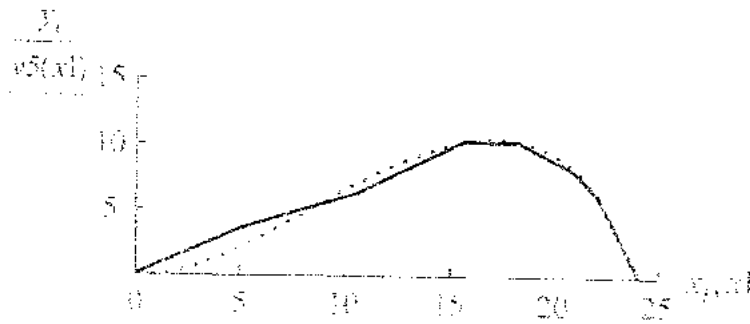
Рис. 3. Експериментальний пожежний ствол

$$y(x) = a_0 + a_1x + a_2x^2 + a_3x^3 + a_4x^4, \quad (1)$$

де a_0 – висота установки насадки над горизонтальною поверхнею.



a)



б)

Рис.4. Траєкторії струменів при двох різних функціях апроксимації
 а) поліном 4-го степеня; б) одновимірна лінійна регресія загального типу (отримані в процесорі MathCAD).
 x, y - дальності та висота струменя, i - номер заміру

Зрозуміло, що

$$\frac{dy}{dx} = a_0 + 2a_1x + 3a_2x^2 + 4a_3x^3 \quad (2)$$

при $x = 0$ маємо $\frac{dy}{dx} = a_0 = f'(x_0)$.

де a_0 - кут атаки;

a_1, a_2 залежать від початкових кута положення струменя відносно горизонту a_1 та швидкості U_0 .

$$y(x, t) = a_0 + a_1x(t) + a_2x^2(t) + a_3x^3(t) + a_4x^4(t), \quad (3)$$

де t - параметр часу.

З аналізу складових швидкості U_x і U_y можна, на нашу думку, отримати аналітичний вираз для дальності струменя і максимальної висоти її підйому.

Дещо гірший результат маємо у випадку, коли графік отримаємо в результаті апроксимації експериментальних даних функцією типу (одновимірна лінійна регресія загального типу, рис.4б)

$$y(x) = k_1x^2 + k_2x^3 + k_3 \exp(x).$$

Подальші дослідження. Розглянемо випадок порівняно малих швидкостей руху, коли компактна частина струменя досить велика. Розпад струменя (його дроблення) відбувається в результаті того, що сили тиску в середині струменя в деякий момент його розширення починають за модулем бути більшими сил поверхневого натягу. Не є мінімальною в цьому

випадку поверхнева енергія циліндрового струменя рідини. При розпаді на краплі ця енергія зменшується, оскільки відбувається наближення до оптимальної фігури краплі рідини зі сферичною поверхнею.

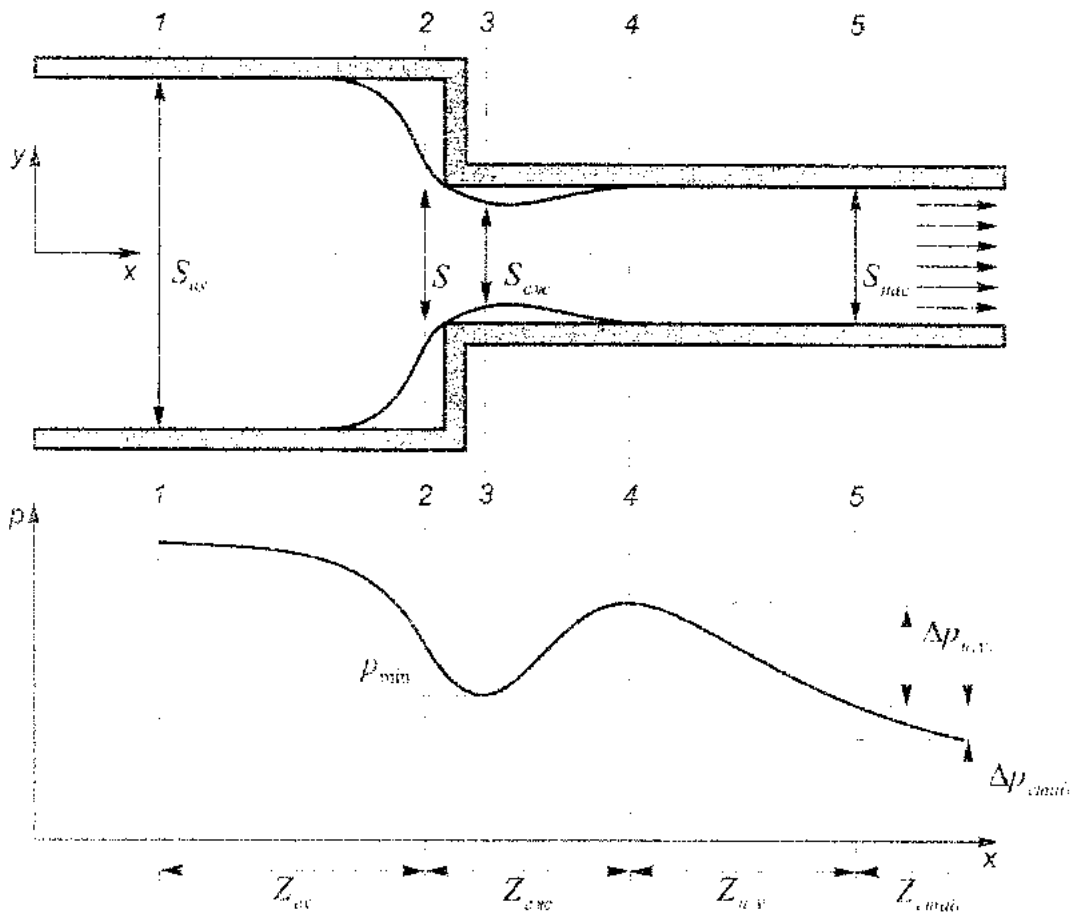


Рис. 5. Схема насадки та водного потоку:

1...5- перерізи, S - діаметри в зонах перерізів, Z - виділені зони з характерними особливостями потоку, p - тиск

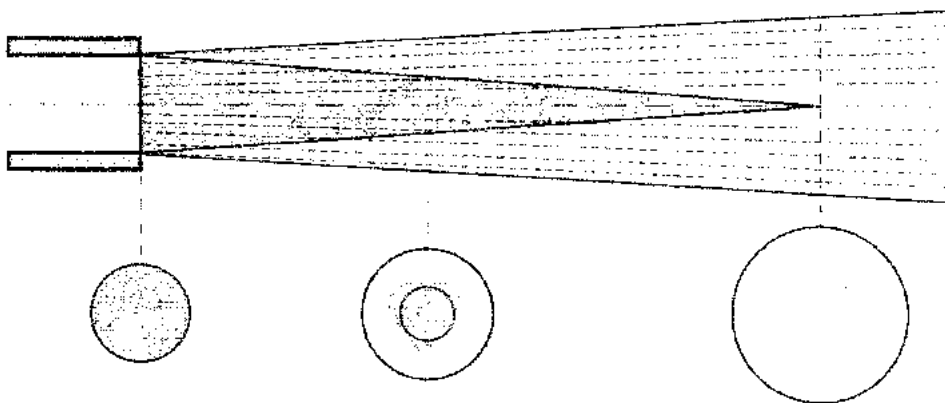


Рис. 6. Область розпилення струменя

Якщо струмінь циліндровий з радіусом R і швидкість його виходу із ствола становить U_0 , то слід враховувати і той факт, що навколишнє середовище може бути джерелом початкових збурень (турбулентності, вібрації ствола і тому подібних). В цьому випадку основними характеристиками процесу розпаду струменя є довжина його компактної частини

і розміри крапель, які утворюються. Довжина суцільної частини визначається величиною Z (рис. 5). Оскільки задача розглядається симетрична, то рівняння руху рідини в струмені можна записати таким чином:

$$\frac{\partial U_z}{\partial t} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial r} + \frac{\mu}{\rho} \left[\frac{\partial^2 U_z}{\partial z^2} + \frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r \cdot U_z) \right) \right]$$

$$\frac{\partial U_z}{\partial t} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial r} + \frac{\mu}{\rho} \left[\frac{\partial^2 U_z}{\partial z^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \cdot \frac{\partial U_z}{\partial r} \right) \right] \quad (4)$$

де U_z, U_r – складені вектори швидкості в циліндровій системі координат; p – тиск (рис. 5).

Висновки та перспективи використання дослідної установки. Дослідження водяних струменів із використанням лабораторної установки лише розпочато, однак окреслені найближчі експерименти, з яких слід виділити випробовування різних типів насадок для перевірки розрахункових моделей початкової ділянки водяного струменя та умов відриву крапель від основного потоку, а також процесу формування водяної хмари в заключній зоні водяного струменя.

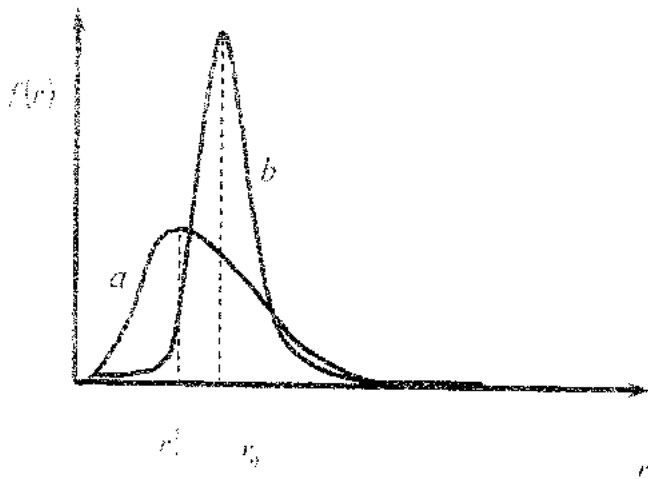


Рис. 7. Варіанти розподілу радіусів краплин r в об'ємі струменя: а) полідисперсний; б) монодисперсний.

Висновки. Експериментально здалося уточнити сучасні уявлення про довжину гідралітичних струменів низького тиску і надалі надійні залежності для їх опису. Було проведено ряд експериментів для визначення залежності дальності подачі вогнетривного розчину від кута нахилу ствола відносно горизонту, дальності струменя в залежності від тиску на вході ствола, наявності чи відсутності пульсатора тиску у гідралітичній схемі установки. Аналіз умов розворочення (розливання) струменя показує, що певною мірою для практичних цілей може бути використана теорія дроблення

струменя, описана В.Г. Левічем [4].

Найближчим часом в Академії пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля заплановане проведення ряду експериментів з дослідження різних типів насадок для формування водяних струменів. Базовими типами вибрані насадки, подані на рис. 8. При цьому планується здійснити вивчення ефективності та перспектив застосування насадок для використання в різних умовах кожного конкретного типу пожежі.

Іншою, не менш важливою задачею, яку ставлять перед собою дослідники, є експериментальна перевірка теоретичних результатів, отриманих при моделюванні руху водяних потоків у каналах стволів та насадок. Нині отримані результати для насадки «класичного» типу (перша позиція – рис. 8) для п'яти базових перерізів (рис. 5).

Планується використання доплерівського ефекту для експериментального вивчення процесу руху потоку в стволі чи насадці, для чого виготовлений унікальний прозорий конусний ствол (рис. 3).

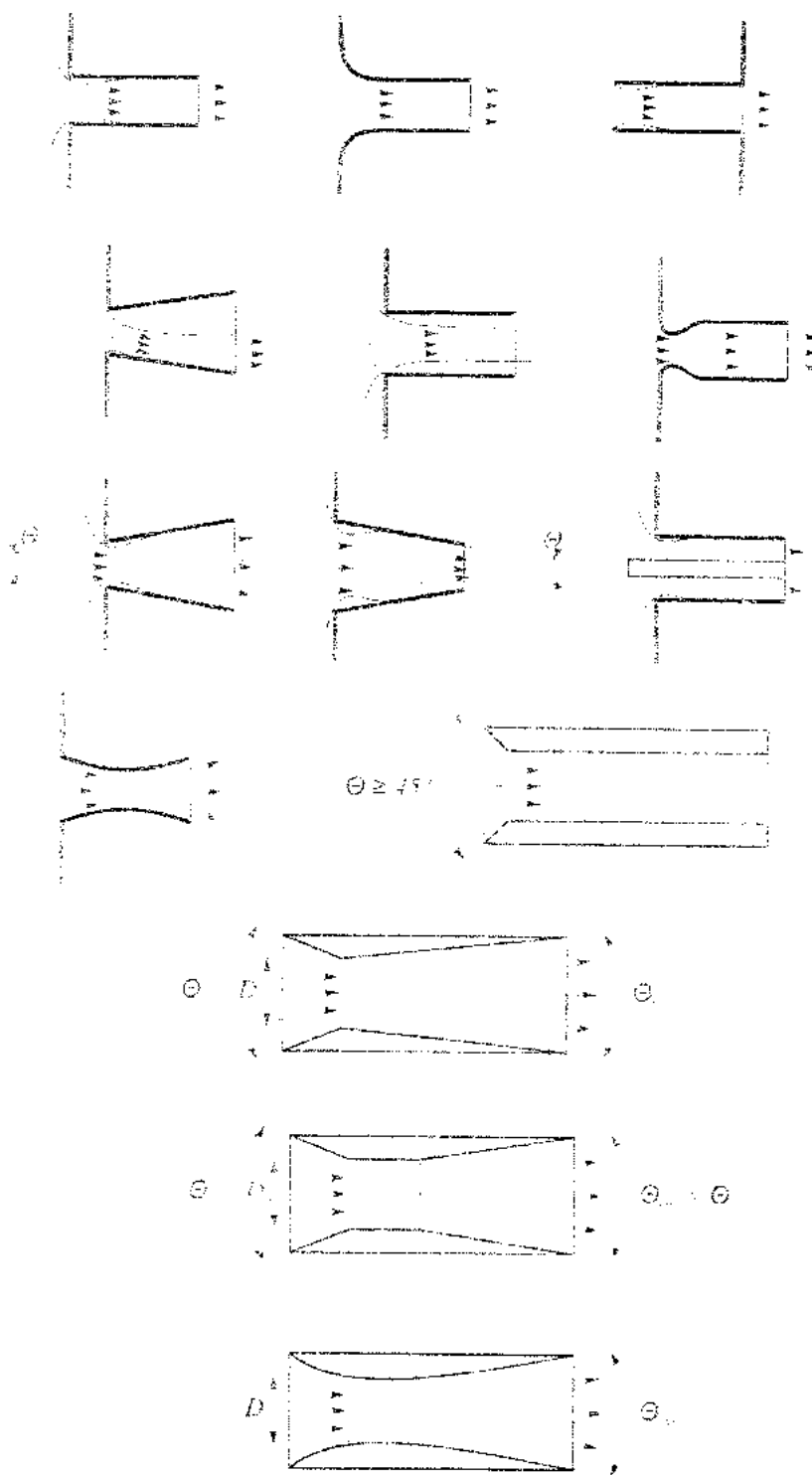


Рис. 8. Схематичний вигляд різних типів насадок

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ:

1. Розрахунок пожежних гідравлічних струменів. Єременко С.А., Ольшанський В.П., Халіца В.М., Дубовик О.О. - Харків: АЦЗУ - 125 с.
2. Лаврівський З.В., Манорує В.І. Технічна механіка рідин та газів: Підвчальний посібник. - Львів: СПОЛОМ, 2004. - 198 с.
3. Шкарабура М.Г. Вступ до гідроструминних технологій: Монографія. - Чернігів: РВК «Десятилітська правда», 2006. - 192 с.: іл.
4. Левин В.І. «Физико-химическая гидродинамика» изд. Физ-матлитературы. - М.1959. 669с.