

**Обґрунтування гідравлічних  
параметрів і характеристик  
водяних струменів розпиленого типу**

*Шифр «Водяні завіси»*

## ЗМІСТ

РОЗДІЛ 1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД СТАНУ ПИТАННЯ ТЕПЛОВОГО ЗАХИСТУ ОБ'ЄКТІВ І ПЕРСОНАЛУ ПОЖЕЖНО-РЯТУВАЛЬНОЇ СЛУЖБИ З	
1.1. Водяні струмені, насадки для їх створення.....	5
1.2. Екрануюча здатність водяних струменів та плівок .....	7
РОЗДІЛ 2:ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ РОЗПИЛЕНОГО ВОДЯНОГО СТРУМЕНЯ У ПОВІТРЯНОМУ ПРОСТОРІ .....	11
2.1. Обґрунтування геометричних параметрів розпиленого водяного струменя у повітряному просторі .....	11
РОЗДІЛ 3 РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ РОЗПИЛЕНОГО ВОДЯНОГО СТРУМЕНЯ У ПОВІТРЯНОМУ ПРОСТОРІ... ..	19
3.1. Методика визначення гідравлічних параметрів і характеристик щілинних розпилювачів на прикладі СПРК (ПРОТЕК) .....	19
3.1.1. Загальна методика проведення експерименту .....	19
3.1.2. Визначення провідності та опору СПРК (ПРОТЕК).....	22
ВИСНОВКИ.....	27
ЛІТЕРАТУРА .....	28

## РОЗДІЛ 1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД СТАНУ ПИТАННЯ ТЕПЛООВОГО ЗАХИСТУ ОБ'ЄКТІВ І ПЕРСОНАЛУ ПОЖЕЖНО-РЯТУВАЛЬНОЇ СЛУЖБИ

**Актуальність теми.** Аналізуючи стан питання щодо захисту персоналу пожежно-рятувальної служби та фізичних об'єктів від впливу теплового потоку факела полум'я за допомогою незатоплених розпилених водяних струменів, ми прийшли до висновку, що сучасні струменеутворюючі пристрої є не завжди досить ефективними під час їх використання з метою захисту від впливу теплового потоку високотемпературного полум'я.

У досить складній оперативній обстановці на пожежах, що виникають на об'єктах різного призначення, важливого значення набуває теорія та механізм прийняття оптимальних рішень керівником гасіння пожежі під час проведення особовим складом оперативно-тактичних дій з її гасіння з урахуванням належного рівня безпеки.

Результати розрахунків сил і засобів потребують залучення великої кількості особового складу і пожежної техніки, що в умовах ведення оперативно-тактичних дій при максимальному їх зосередженні на місці пожежі виявляється досить складним через обмеженість оперативного простору на території, що прилягає до об'єкта. Крім того, під час ведення оперативно-тактичних дій в умовах інтенсивного впливу теплового потоку факела полум'я виникає потреба теплового захисту особового складу. У сучасних умовах такий захист здійснюється за допомогою індивідуальних тепловідбивних костюмів, розпилених водяних струменів-завіс, переносних теплозахисних екранів тощо.

Отже, на сьогодні виникла потреба у створенні такої методики теплового захисту особового складу та об'єктів, яка передбачатиме використання певного пристрою, що за технічним рішенням відповідав би одночасно вимогам ефективного захисту персоналу пожежно-рятувальної служби та об'єктів від теплового випромінювання факела полум'я, а також забезпечував би безпеку персоналу. Застосування цього пристрою має також сприяти скороченню кількості сил та витрат води. Для реалізації цього рішення пропонується у зоні

теплого впливу перед фронтом об'єкта (перед ствольщиком) встановлювати розпилені водяні струмені, які мають поглинати та екранувати теплову енергію конвективного потоку.

Слід зазначити, що параметри цих водяних струменів-екранів мають бути такими, щоб під час їхнього застосування відбувалося максимальне поглинання та екранування теплового потоку.

Отже, *метою* даної роботи є дослідження впливу розпилених водяних струменів у повітряному просторі на зниження інтенсивності теплового потоку, який надходить від дифузійного факела полум'я.

**Об'єкт дослідження:**

Незатоплені водяні струмені розпиленого типу у повітряному просторі та їх застосування для захисту особового складу та вертикальних сталевих резервуарів з нафтопродуктами.

**Предмет дослідження:**

Розпилені водяні струмені та насадки для їх створення.

**Завдання:**

– проаналізувати особливості, переваги та недоліки існуючих технічних засобів, за допомогою яких проводиться захист особового складу та вертикальних сталевих резервуарів за допомогою водяних струменів;

– обґрунтувати гідравлічні параметри і характеристики розпиленого водяного струменя у повітряному просторі.

**Внесок автора:**

Робота є узагальненням результатів теоретичних досліджень, виконаних автором особисто.

**Наукова новизна:**

– досліджено системи водяних струменів розпиленого типу у повітряному просторі, які забезпечують захист особового складу та вертикальних сталевих резервуарів з нафтопродуктами від теплового впливу факела полум'я;

– перевірені в дослідах гідравлічні параметри і характеристики водяних струменів розпиленого типу для можливого захисту від дії теплового потоку.

## 1.1. Водяні струмені, насадки для їх створення

Як відомо зі [1] розрізняють такі основні типи насадків: зовнішній циліндричний насадок (насадок Вентурі); внутрішній циліндричний насадок (насадок Борда); конічні насадки (ті, що сходяться та ті, що розходяться); коноїдальний насадок.

Під час гасіння пожеж і здійснення захисних дій (створення водяних завіс) на об'єктах різного призначення застосовують турбінні та щілинні насадки-розпилювачі на пожежні стволи: насадки-розпилювачі віялового типу (РВ-12) – конічний насадок, що сходиться, з металевим екраном на виході струменя для отримання водяної завіси – та насадки-розпилювачі турбінні (НРТ-5, НРТ-10, НРТ-20) – насадки Вентурі. Насадок-розпилювач НРТ-20 ставлять замість насадка компактного струменя на лафетний ствол ПЛС-20П (ПЛС-20С), СПРК (Протек). У табл. 1.1-1.2 вказані основні технічні характеристики стволів з насадками для створення компактних та розпилених водяних струменів.

Таким чином, ставлячи перед собою задачу захистити особовий склад пожежно-рятувальної служби або певний об'єкт від дії теплового потоку за допомогою розпилених водяних струменів у повітряному просторі з метою скоротити витрату води, час встановлення теплового захисту з одночасним забезпеченням безпеки людей, необхідно констатувати: стволи з насадками для створення компактних водяних струменів, що застосовуються на сучасному етапі підрозділами оперативно-рятувальної служби, в даному випадку не відповідають змісту поставленої задачі через неможливість створення водяного струменя-екрана, а також значні витрати води.

Таблиця 1.1 [2]

**Основні технічні характеристики стволів з насадками  
для створення компактних водяних струменів**

Напір перед стволом, м	Витрата води, л/с, зі ствола з діаметром насадка, мм						
	13	19	25	28	32	38	50
20	2,7	5,4	9,7	12,0	16,0	22,0	39,0
30	3,2	6,4	11,8	15,0	20,0	28,0	48,0
40	3,7	7,4	13,6	17,0	23,0	32,0	55,0
50	4,1	8,2	15,3	19,0	25,0	35,0	61,0
60	4,5	9,0	16,7	21,0	28,0	38,0	67,0
70	–	–	18,1	23,0	30,0	42,0	73,0
80	–	–	–	–	–	45,0	78,0

Таблиця 1.2 [2; 3]

**Основні технічні характеристики стволів з насадками  
для створення розпилених водяних струменів**

Параметри	Турбінні розпилювачі			Комбінованого типу	Щільний розпилювач
	НРТ-5	НРТ-10	НРТ-20	СПРК (Протек)	РВ-12
Напір перед розпилювачем, м	60	60	60	70	60
Витрата води л/с	5	10	20	1,2-7,9	12
Довжина струменя, м	20	25	35	45	8 (вертикальна завіса)

Стволи з насадками НРТ-5, 10, 20 створюють розпилений струмінь на великій відстані, але незначного діаметра, за цих причин насадки типу НРТ використовуються, головним чином, під час осадження хмари сильнодіючої або отруйної речовини.

У випадку використання насадка РВ-12 спостерігається створення, на перший погляд, досить ефективною водяної завіси. Але з практичної точки зору зона активної дії такої завіси дозволяє захистити тільки об'єкти висотою до 8 м (див. табл. 1.2), тому з огляду на поставлену мету дослідження для збільшення

висоти (радіусу) струменя-завіси необхідно застосувати струменеутворюючий пристрій такої конструкції, яка дозволить створити розпилений водяний струмінь у повітряному просторі, геометричні параметри якого перевищать розглянуті вище та, одночасно, сприятимуть мінімізації витрати води.

## **1.2. Екрануюча здатність водяних струменів та плівок**

Як вже було сказано вище, під час гасіння деяких пожеж виникає потреба теплового захисту персоналу пожежно-рятувальної служби та певних об'єктів. У таких випадках, частіше за все, створюють водяні теплоізолюючі та тепловідбивні екрани. Такі водяні плівкові екрани можна створити у вигляді віялового водяного струменя, що надходить в атмосферу зі щілинного насадка спеціальної форми.

Як показали дослідження, віяловий струмінь, так само як і круглий, що витікає з циліндричного насадка на стволі в атмосферу, має три характерні частини: компактну, роздроблену і краплинну.

Нерозривність або суцільність потоку забезпечується тільки в компактній частині струменя. У роздробленій частині струменя відбувається його розрив на великі водяні фрагменти, суцільність струменя порушується і струмінь розширюється. У краплинній частині струменя водяний потік складається з безлічі крапель і струмінь вже представляє краплинно-водяний факел. Така характерна трансформація струменя розглядається в гідравліці [1].

Причиною такої трансформації водяних струменів у повітрі є порушення стійкості руху струменя в результаті дії сил інерції і гравітаційних сил. Мізерно малі збурювання на поверхні струменя при виході із сопла створюють поперечні коливання, що під дією сил поверхневого натягу і в'язких сил будуть збільшуватися.

У вільних водяних струменях, що витікають в атмосферу, діють обидва фактори, а в дослідженнях Сміта і Мооса встановлено, що для циліндричних струменів довжина безперервної ділянки пропорційна швидкості витікання.

Швидкість витікання  $V_0$  пов'язана з напором у насадку  $H_0$  відомим у гідравліці співвідношенням

$$V_0 = \varphi \sqrt{2gH_0} \quad (1.1)$$

де  $\varphi$  емпіричний коефіцієнт швидкості.

Отже, довжина компактного струменя повинна бути пропорційної  $H_0^{1/2}$ .

Це співвідношення трохи відхиляється від формули Фрімана

$$H_K = H \cdot \left( 1 - a \cdot \frac{H_0}{d} \right) \quad (1.2)$$

із формули Люгера

$$H_K = \frac{H}{1 + b \cdot H_0} \quad (1.3)$$

для круглих струменів ( $a$  і  $b$  емпіричні коефіцієнти).

Для віялових струменів дані в літературі невідомі. Тому нижче нами виконаний аналіз віялових струменів методом розмірностей.

Розглянемо віяловий струмінь, що витікає вертикально вгору по осі  $Z$  з щілинного насадка з кутом розкриття  $\delta$ . Поперечний розмір щілини має розмірність  $L_x$ , розмірність вертикальної швидкості буде  $L_z T^{-1}$ .

Визначимо залежність  $H_K$  для компактного вертикального струменя. Значення  $H_K$  може залежати від розміру щілини  $L_x$ , щільності рідини  $\rho$ , поверхневого натягу  $\sigma$  і початкової швидкості струменя  $V_0$ . Початковий напір  $H_0$  і прискорення сили ваги враховуються у відповідності з залежністю (1.1) через  $V_0$

$$H_K = \text{const} \cdot \rho^i \cdot \delta^j \cdot \sigma^k \cdot V^l \quad (1.4)$$

Дорівнюємо показники ступенів при розмірностях  $H^K [L_Z]$ ,  $\rho [ML_Z^{-1}L_X^{-2}]$ ,  $\delta [L_X]$ ,  $\sigma [MT^{-2}]$ ,  $V [L_Z T^{-1}]$ , і одержимо систему рівнянь для визначення показників ступенів у (4) відповідно при  $L_Z, M, T, L_X$



$$\left. \begin{aligned} 1 &= -i + l \\ i + k &= 0 \\ -2k - l &= 0 \\ -2i + j &= 0 \end{aligned} \right\}, \quad (1.5)$$

з якої випливає, що  $i = 1$ ,  $j = 2$ ,  $k = -1$ ,  $l = 2$ .

Отже, метод розмірності при обліку фактора поверхневого натягу дає формулу

$$\frac{H_k}{\delta} = \text{const} \cdot \frac{\rho \cdot \delta}{\sigma} \cdot V^2 = \text{const} \cdot We, \quad (1.6)$$

де  $We = \frac{\rho \cdot \delta}{\sigma} \cdot V^2$  число Вебера, що визначає дію сил поверхневого натягу.

Якщо враховувати дію на струмінь, втрату компактності течії та руйнування сил в'язкості, то слід записати

$$H_k = \text{const} \cdot \rho^i \delta^j \mu^k V^l, \quad (1.7)$$

де  $\mu$  динамічна в'язкість води.

У цьому випадку аналогічно попереднім методом розмірностей одержимо

$$\frac{H_k}{\delta} = \text{const} \cdot \frac{\rho \cdot \delta \cdot V}{\mu} = \text{const} \cdot Re, \quad (1.8)$$

де  $Re = \frac{\rho \cdot \delta \cdot V}{\mu}$  число Рейнольдса, що визначає дію сил в'язкості.

У дійсності на рух рідини будуть діяти як сила поверхневого натягу, так і сила в'язкості, залежності вигляду  $H_k / \delta = f(V)$  по формулі (1.7) є асимптотичними, тобто  $H_k / \delta = f(We, Re)$ . Фактично величина  $H_k / \delta$  буде залежати від  $V$  у ступені більшою за 1 та меншою за 2. Якщо врахувати, що швидкість на виході з насадка пов'язана з напором співвідношенням (1.1), то формулу (1.7) можна представити у вигляді

$$H_k = \text{const} \cdot \frac{\rho \cdot \delta}{\sigma} \cdot H_0, \quad (1.9)$$

На рис. 1.1 представлена залежність  $H_k = f(H_0)$ .

Однак одержати за цим способом теоретичну залежність з урахуванням одночасної дії сили поверхневого натягу і сили в'язкості на стійкість струменя на його межі «вода-повітря» не представляється можливим і необхідне використання формул (1.8) і (1.9), що пропонується у вигляді

$$\frac{H_k}{\delta} = C_3 \cdot \frac{\rho}{\mu} H_0^{1/2} + C_4 \cdot \frac{\rho}{\sigma} H_0, \quad (1.10)$$

де  $C_1, C_2, C_3, C_4$  коефіцієнти, що визначають внесок діючих сил.

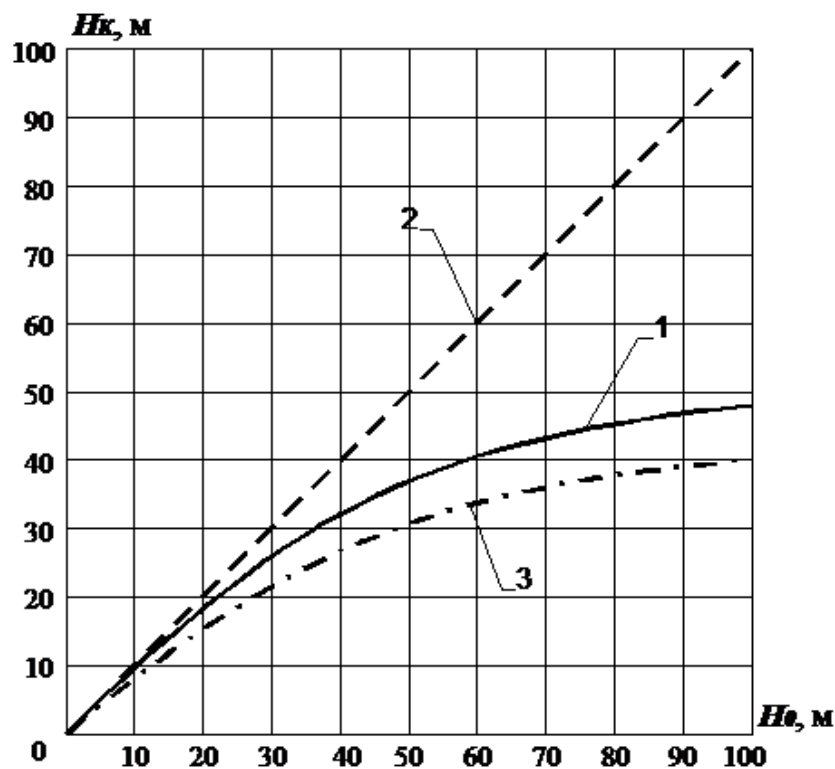


Рис. 1.1. Залежність  $H_k$  від  $H_0$  для круглого струменя зі ствола з  $d_n = 55$  мм:

1 – фактичні дані;

2 – за формулою (1.11) з урахуванням тільки сил поверхневого натягу;

3 – за формулою (1.12) з урахуванням тільки сил в'язкості [3].

## РОЗДІЛ 2: ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ РОЗПИЛЕНОГО ВОДЯНОГО СТРУМЕНЯ У ПОВІТРЯНОМУ ПРОСТОРІ

### 2.1. Обґрунтування геометричних параметрів розпиленого водяного струменя у повітряному просторі

Підсумовуючи стан питання щодо використання розпилених водяних струменів з метою захисту персоналу пожежно-рятувальної служби (об'єктів) та застосування при цьому технічних засобів, а також з метою визначення їхніх параметрів, меж застосування, які забезпечать гнучкість їх використання при скороченні кількості особового складу та витрати води, поставимо задачу дослідження, в процесі вирішення яких дослідимо вплив розпилених водяних струменів у повітряному просторі на процес зниження температури у зоні теплового впливу під час пожежі.

Для досягнення поставленої мети теплового захисту за допомогою розпиленого водяного струменя у повітряному просторі слід обрати досліджуваний об'єкт захисту. Одним з найбільш небезпечних об'єктів, на наш погляд, є вертикальний сталевий резервуар, в якому зберігається нафта чи нафтопродукт.

Слід зазначити, що не всі резервуари обладнуються стаціонарною установкою зрошення, тому ті, до яких система зрошення не передбачається підлягають охолодженню під час пожеж за допомогою пересувних засобів подавання води.

Отже, у відповідності до вимог [4] стаціонарними установками охолодження (водяного зрошення) обладнуються резервуари, які мають ємність понад 5000 м<sup>3</sup>; пересувними – резервуари, що мають ємність менше 5000 м<sup>3</sup>. Таким чином, в умовах гасіння пожежі силами і засобами пожежно-рятувальної служби на сучасному етапі на особливу увагу заслуговують резервуари, які не обладнуються стаціонарними установками охолодження, тобто резервуари ємністю менше 5000 м<sup>3</sup>. Тому очевидно, що їхнє охолодження

має здійснюватися і здійснюється, насамперед, за допомогою існуючої на сьогодні пересувної техніки

При цьому як робочу гіпотезу висунемо можливість замість охолодження стінок резервуарів компактними водяними струменями створення певного теплового екрана, який забезпечить ефективний тепловий захист металевих стінок резервуара в зоні теплового впливу факела полум'я.

Насамперед необхідно зазначити, що на практиці доводиться зіткнутися з випадками, коли при рухові води до неї починають приєднуватись газоподібні тіла.

Ставлячи перед собою задачу захисту резервуарів ємністю менше 5000 м<sup>3</sup> необхідно дослідити процес створення розпиленого водяного струменя у повітряному просторі з такими параметрами, які відповідали б надійному захисту вказаних споруд від теплового випромінювання, враховуючи геометричні розміри резервуару та параметри факелу полум'я, який, власне, і створює небезпечну зону теплового впливу.

У розділі 1 мова йшла про порівняльні характеристики насадків для створення компактних і розпилених водяних струменів, які використовуються у практиці пожежогасіння та охолодженні стінок резервуарів під час пожеж зокрема. Єдиний насадок на ручний пожежний ствол, який створює водяну завісу, є насадок РВ-12 (розпилювач віяловий). Але, як вже було сказано, насадок даного типу за своїми технічними характеристиками не може розглядатися в даній роботі як перспективний тому його можна виключити з розряду можливих варіантів приладів, які мають розглядатися при вирішенні проблеми створення теплового екрана для захисту резервуарів ємністю від 500 м<sup>3</sup> до 3000 м<sup>3</sup> (висоту до 8 м мають резервуари ємністю  $\leq 400$  м<sup>3</sup> [2]).

Необхідно зауважити, що при детальному розгляді компактного та розпиленого водяних струменів можна спостерігати наявність двох фаз: компактної або активної та розпиленої (пасивної). У всіх випадках застосування цих струменів для охолодження або захисту фізичних об'єктів від теплового впливу факела полум'я використовують тільки активну фазу, оскільки тільки ця

фаза струменя є суцільним потоком і тому повністю виконує функцію охолодження чи водяного екрана.

На рис. 2.1.; 2.2. схематично показано компактний та розпилений водяний струмінь у повітряному просторі з активною (I) і пасивною (II) фазами. Отже, активна фаза розпиленого водяного струменя у повітряному просторі гіпотетично майже повністю буде поглинати та екранувати тепловий потік за тієї причини, що в цьому випадку виконуватиметься умова  $p > p_{н.п.}$  (аерація водяного потоку буде незначною) [6; 7]. У пасивній же фазі аерація потоку збільшується із-за зменшення тиску  $p$  та швидкості  $v$ , тобто  $p < p_{н.п.}$ . Таким чином саме активна фаза розпиленого водяного струменя у повітряному просторі викликає найбільшу зацікавленість у вирішенні задачі встановлення теплового екрана у зоні теплового впливу факела полум'я.

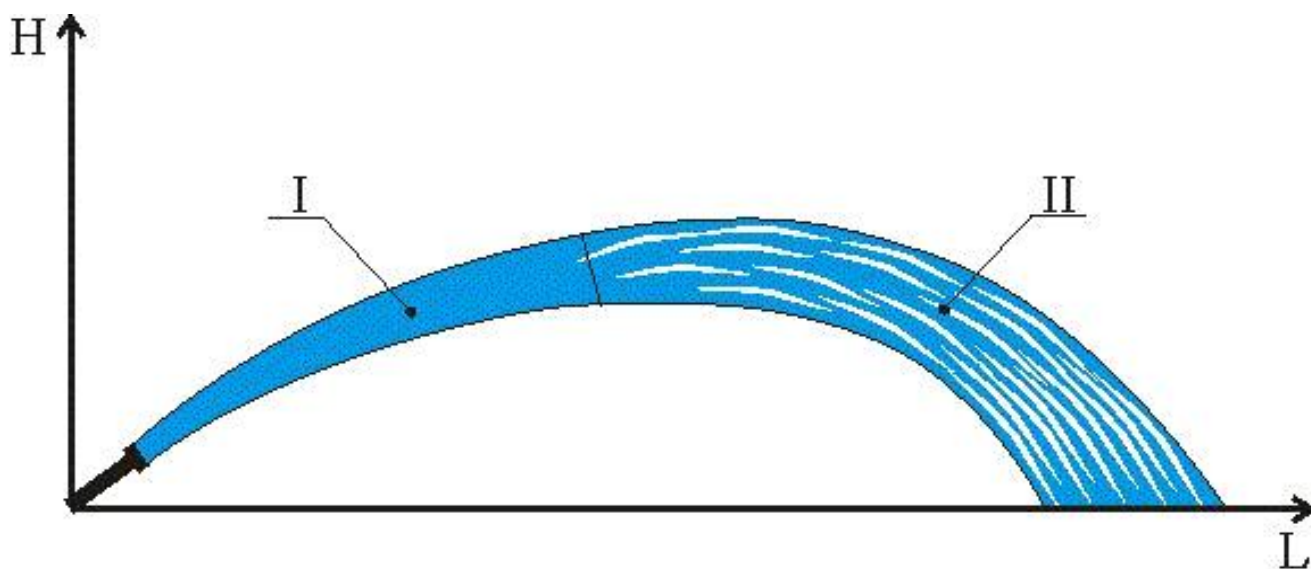


Рис. 2.1. Схема компактного водяного струменя з активною I та пасивною II фазами.

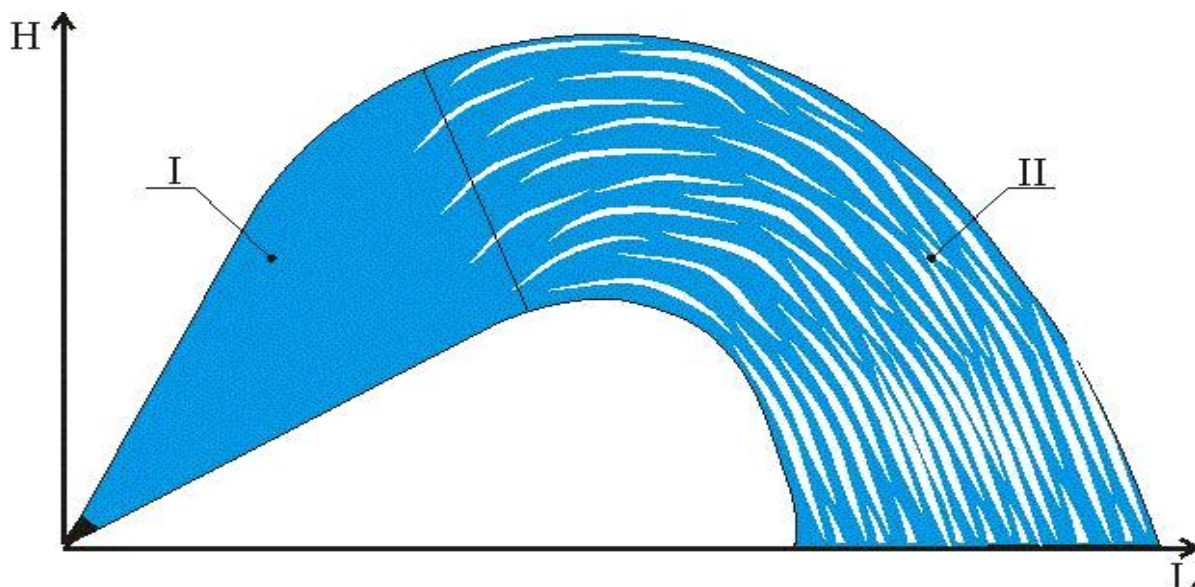


Рис. 2.2. Схема розпиленого водяного струменя з активною I та пасивною II фазами струменя

Для обґрунтування гідравлічних параметрів розпиленого водяного струменя у повітряному просторі (водяного екрана) за еталон обрано пожежу у групі РВС-500 з бензином.

Вхідні дані: розміри РВС-500: висота  $H_{рез} = 8,9$  м; діаметр  $D_{рез} = 8,5$  м; відстань між резервуарами  $l_p = 6,3$  м [5].

Висоту факела полум'я ( $h_{фп}$ ) розрахуємо за формулою:

$$h_{фп} = C(V_m \cdot D_{рез})^{\frac{2}{3}} = 1,64(2,93 \cdot 8,5)^{\frac{2}{3}} = 14 \text{ м} \quad (2.1) [2]$$

де  $C$  – коефіцієнт 1,64;

$V_m$  – масова швидкість вигорання бензину,  $\text{кг/м}^2 \text{ с}$ .

Температура факела полум'я дорівнює 1473 К [8]. Оскільки, падаючий потік від факела полум'я палаючого резервуара найнебезпечніше буде впливати на верхню частину сусіднього резервуара (зона вільного борту), покрівлю та дихальну арматуру, необхідно провести розрахунки ефективної дії водяної завіси, що створюється насадком. Величина зони вільного борту в РВС-500  $h_{вб} = 1,2$  м [8]. Для розрахунків приймемо, що факел полум'я буде мати форму наближену до конуса з основою  $D_{рез}$  (рис. 2.3).

Водяні завіси формуються насадками, які встановлені на пожежних стволах. В залежності від схеми розташування цих стволів, струмені з насадків будуть діяти паралельно або перпендикулярно один відносно іншого.

Визначимо проекцію теплової дії факелу полум'я на відстані  $l_0$  від стінки сусіднього резервуара на площину його покрівлі та вільний борт.

Кут падіння теплових променів з верхівки факелу полум'я, точки В на точку А

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{h_{\text{фн}}}{1,5D_{\text{рез}} + l_p} = \frac{14}{1,5 \cdot 8,5 + 6,3} = 0,73 \quad (2.2)$$

Водяна завіса починає формуватися на висоті  $h_{\text{ств}} = 2,5$  м (при розташуванні, наприклад, СПРК (ПРОТЕК)) на відстані  $l_{\text{фс}}$  від стінки резервуара

$$l_{\text{фс}} = \frac{0,7D_{\text{рез}}}{2} - l_{\text{ств}} = \frac{0,7 \cdot 8,5}{2} - 1 = 1,9 \text{ м} \quad (2.3)$$

де  $l_{\text{ств}} = 1$  м (довжина ствола).

Визначаємо кут підйому СПРК (ПРОТЕК) мм

$$\varphi = 0,5 \omega + \beta, \quad (2.4)$$

де  $\varphi$  – кут факела розпилення водяної завіси

$$\omega = 90^\circ - (\beta + \mu) \quad (2.5)$$

– кут між нижньою частиною факела розпилення водяної завіси та горизонтом.

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{MN}{ME}, \quad (2.6)$$

$$\text{де } MN = H_{\text{рез}} - h_{\text{вб}} - h_{\text{ств}} = 8,9 - 1,2 - 2,5 = 5,2 \text{ м};$$

$$ME = D_{\text{рез}} + l_{\text{фс}} = 8,5 + 5,3 = 13,8 \text{ м};$$

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{5,2}{13,8} = 0,38$$

$$\beta = 21^\circ$$

$\mu$  – кут між верхньою частиною факела розпилення водяної завіси та вертикаллю

$$\mu = \mu' \quad (2.7)$$

$$\operatorname{tg}\mu' = \frac{KE}{KT} \quad (2.8)$$

де

$$KE = l_{\text{фс}} = 5,3;$$

$$KT = H_{\text{рез}} - h_{\text{ств}} + FT = 8,9 - 2,5 + 2 = 8,4 \text{ м}$$

$$FT = 2 \text{ м}$$

$$\operatorname{tg}\mu' = \frac{5,3}{8,4} = 0,63 : \mu' = \mu = 32^\circ$$

$$\omega = 90 - (18 + 32) = 40^\circ$$

Кут підйому СПРК (ПРОТЕК):

$$\varphi = 0,5 \cdot 37^\circ + 21^\circ = 39,5^\circ$$

Переконаємося, що водяна завіса перекриває на рівні покрівлі резервуару вертикальну проекцію теплового випромінювання.

Визначимо висоту вертикальної проекції теплового потоку  $h_{\text{тп}}$

$$h_{\text{тп}} = h_{\text{вс}} + (D_{\text{рез}} + l_{\text{о}}) \cdot \operatorname{tg}\alpha = 1,2 + (8,5 + 6,3) \cdot 0,73 = 12 \text{ м} \quad (2.9)$$

Умови, при яких завіса перекриє проекцію:

$$L_{\text{стр}} \geq OE \quad (2.10)$$

$$OE = \sqrt{DE^2 + OD^2} \quad (2.11)$$

$$\text{де } DE = H_{\text{рез}} - h_{\text{ств}} + h_{\text{тп}} = 8,9 - 2,5 + 12 = 18,4 \text{ м};$$

$$OD = R_{\text{рез}} + l_{\text{фс}} = 4,25 + 5,3 = 9,55 \text{ м.}$$

$$OE = \sqrt{18,4^2 + 9,55^2} = 20,8 \text{ м.}$$



Отже, для виконання умови (2.10) необхідно, щоб довжина струменя водяної завіси не була меншою 23,3 м. Тобто, гіпотетично, для розрахунку, приймемо  $L_{\text{стр.}} = 30$  м.

$$30 > 23,3$$

$$L_{\text{стр.}} \geq NE, \quad (2.12)$$

$$NE = \sqrt{MN^2 + ME^2} = \sqrt{5,2^2 + 13,8^2} = 14,7 \text{ м} \quad (2.13)$$

$$30 > 14,7$$

$$\gamma \geq \psi, \quad (2.14)$$

де:  $\gamma$  – кут між горизонтом і верхньою частиною струменя;

$$\gamma = \beta + \omega = 21^\circ + 40^\circ = 61^\circ \quad (2.15)$$

$\psi$  – кут між горизонтом і лінією FE.

$$\text{tg } \psi = \frac{KF}{KE} = \frac{9,5}{5,3} = 1,8 \quad (2.16)$$

$$\psi = 59^\circ$$

$$61 > 59$$

З розрахунків видно, що умови (2.10), (2.12) і (2.14) виконуються. Водяна завіса на рівні покрівлі резервуару буде перекривати вертикальну проекцію теплового випромінювання.

Отже, водяною завісою, що створюється спеціальним насадком на ствол ПРОТЕК, який встановлений під кутом  $39,5^\circ$  на відстані 6,3 м від резервуару та висоті 2,5 м, при довжині струменя 30 м і куті розпилення  $40^\circ$  можна створити вертикальний водяний екран між палаючим та сусіднім резервуарами. В цьому випадку такий екран зможе захистити найбільш небезпечну зону РВС-500 (рис. 2.3) від дії теплового впливу дифузійного факелу полум'я палаючого резервуара при відстані між ними 12,6 м.

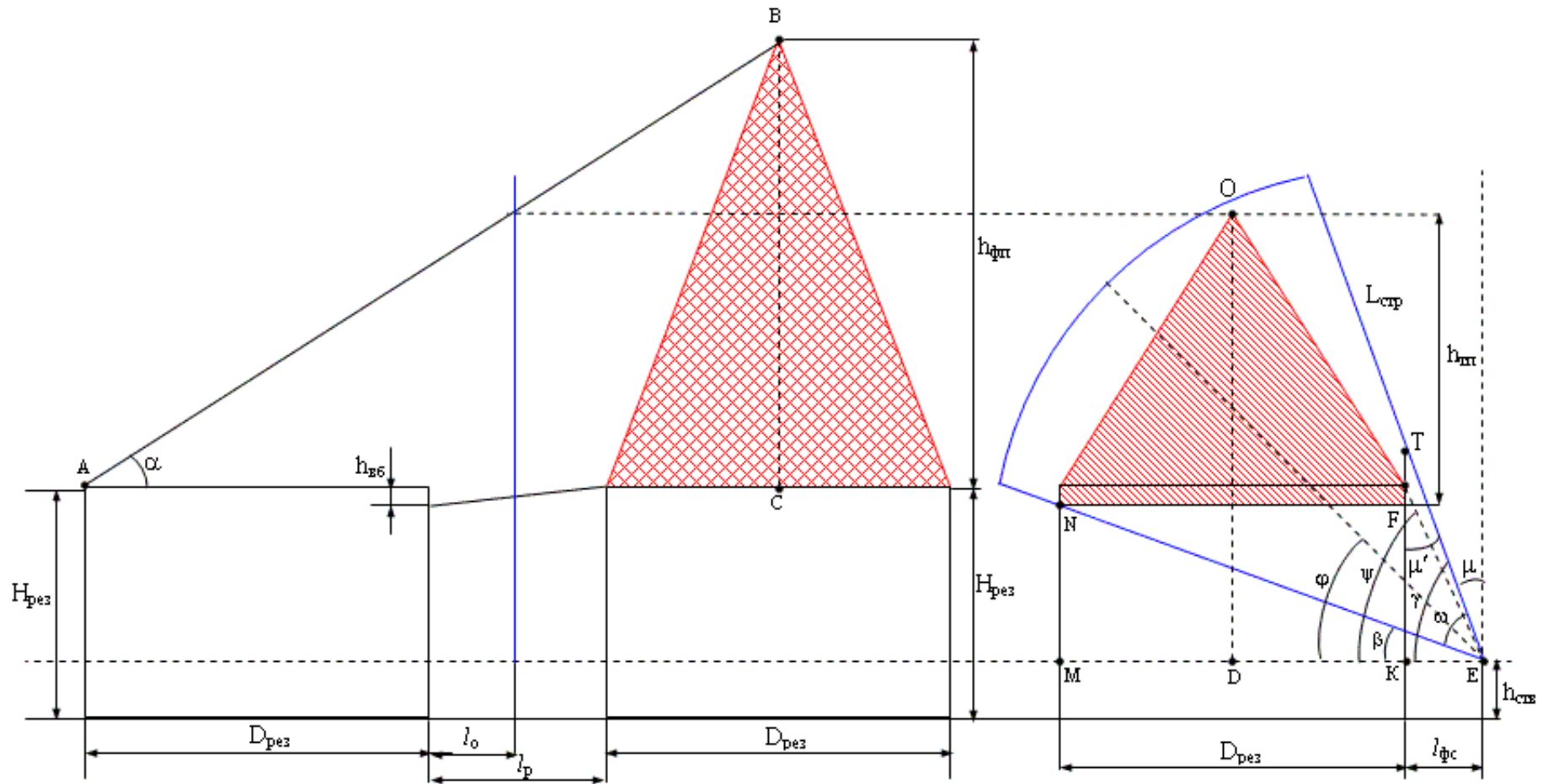


Рис. 2.3. Схема захисту вертикального сталевго резервуара від теплової дії за допомогою розпиленого водяного струменя.

## **РОЗДІЛ 3 РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ РОЗПИЛЕНОГО ВОДЯНОГО СТРУМЕНЯ У ПОВІТРЯНОМУ ПРОСТОРИ**

### **3.1. Методика визначення гідравлічних параметрів і характеристик щілинних розпилювачів на прикладі СПРК (ПРОТЕК)**

#### **3.1.1. Загальна методика проведення експерименту**

У відповідності з [11; 12;] експеримент має бути проведено за такою методикою:

- перевірка міцності та герметичності
- під гідравлічним тиском;
- визначення фактичної витрати води;
- визначення довжини розпиленого водяного струменя у повітряному просторі, що створюється СПРК (ПРОТЕК);
- визначення кута факелу розпилення води;
- визначення якості струменя та рівномірності розподілення крапель в ньому.

Міцність і герметичність стволів (насадків) перевіряють при відкритих перекриваючих пристроях і заглушених вихідних отворах. Час витримки під тиском – не менше 2 хв.

Вимірювання величин робочого тиску ( $0,6^{+0,1}$  МПа) та іспитового ( $0,9^{+0,1}$  МПа) проводиться за допомогою манометра для технічних вимірів (ГОСТ-2405) з межею вимірювання  $01,6$  МПа, встановленого на вході в ствол, і призначених для під'єднання напірних рукавів.

Фактична витрата води при випробуваннях насадків контролюється за допомогою витратомірних пристроїв класу точності 0,3 випробувальних стендів та лічильника холодної води типу ВТ (ГОСТ-14167), який встановлено у підвідних лініях ствола, та хронометрів (рис. 3.8).

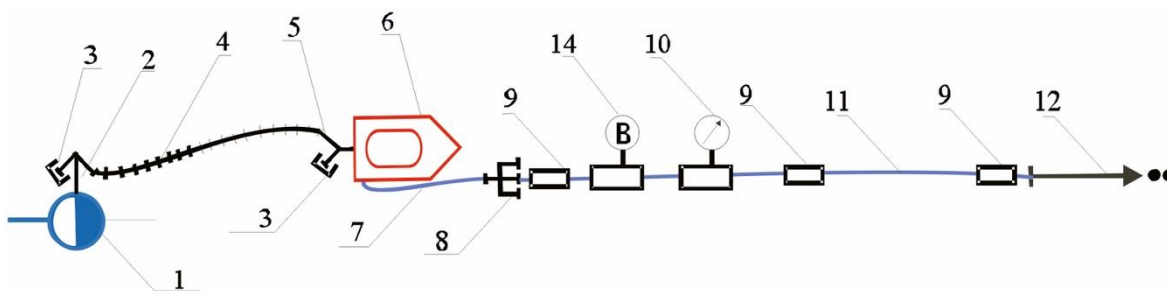


Рис. 3.8. Схема випробування СПРК (ПРОТЕК) з використанням лічильника холодної води типу ВТ:

- 1 – пожежний гідрант;
- 2 – колонка пожежна КП;
- 3 – головка-заглушка ГЗ-80;
- 4 – пожежний рукав всмоктувальний 75мм;
- 5 – водозбірник ВС-125А;
- 6 – пожежна автоцистерна АЦ-40(130)63Б;
- 7 – пожежний рукав напірний 77мм довжиною 20м;
- 8 – розгалуження трьохходове РТ-80;
- 9 – головка перехідна ГП 7080;
- 10 – перехідник з кільцем «Прандтля» і манометром;
- 11 – пожежний рукав напірний 77мм довжиною 4м;
- 12 – пожежний ствол з насадком для створення розпиленого водяного струменя у повітряному просторі;
- 13 – мірний бак ємністю 200 л;
- 14 – лічильник холодної води типу ВТ.

За відсутності лічильників холодної води випробування на фактичну витрату можна здійснити за допомогою мірного бака (поз. 13, рис. 3.9).

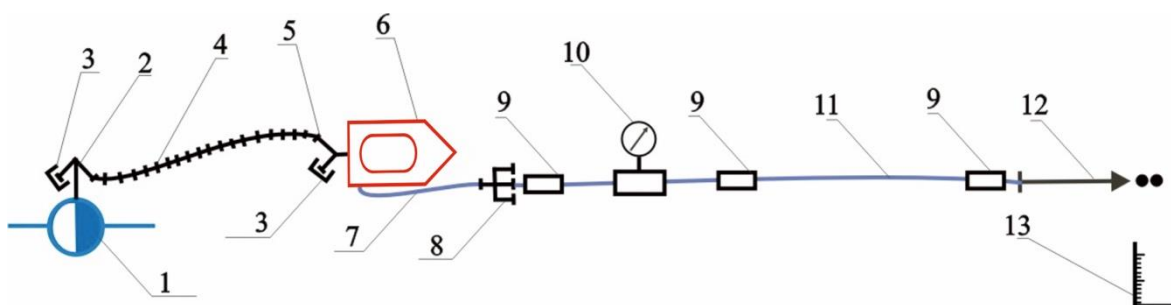


Рис. 3.9. Схема випробування СПРК (ПРОТЕК) з використанням мірної ємності.

Для проведення випробування необхідно:

- зібрати схему, яка зображена на рис. 3.8 або 3.9;
- за допомогою АЦ-40(130)63Б здійснити забір і подавання води з водопровідної мережі по напірному пожежному рукаву 7 (див. рис. 3.8; 3.9) до перехідника 10 з кільцем «Прандтля» і манометром;
- за допомогою центрального вентиля розгалуження 8 встановити робочий випробувальний тиск по манометру і перехіднику 10 відповідно 400; 500; 600; 700 кПа (клас точності 1,5; 0 1,0 МПа);
- по команді подати воду через ствол з насадком 12 у мірну ємність 13 ємністю 200л, почавши відлік часу її заповнення при відповідному тискові (результати випробувань подані в акті випробувань);
- визначити фактичну витрату води  $Q$  через СПРК (ПРОТЕК)

$$Q = \frac{W}{\tau} \quad (3.1)$$

де  $W$  – ємність мірного баку, л;

$\tau$  – середній час заповнення мірного баку за результатами трьох дослідів як середнє арифметичне, с.

Довжину водяного струменя перевіряють за допомогою рулетки (ГОСТ 7502) з ціною поділки 10 мм при встановленні СПРК (ПРОТЕК) під кутом  $0,52$ рад (30) до горизонту під робочим тиском  $0,7^{+0,1}$ МПа на висоті 1 м від насадка до випробувального майданчика (результати наведені в табл. 3.2).

Кут факела розпилення води перевіряють за допомогою фотозйомки факела з наступним вимірюванням кута між прямими лініями, проведеними за крайніми краплинами на фотознімку, кутоміром з точністю до 1. Клас точності манометрів, що застосовуються під час випробувань, повинен бути не менше 1,5.

При визначенні якості розпиленого струменя та рівномірності розподілення крапель має бути відображено: одержання суцільного струменя без борозен, розшарувань та ознак розпилення на виході з насадка; рівномірне розподілення розпиленого струменя при максимальному куті розпилення.

### 3.1.2. Визначення провідності та опору СПРК (ПРОТЕК)

Витрата води через СПРК (ПРОТЕК), яка визначена за формулою (3.1), характеризується даними, наведеними в табл. 3.3.

Таблиця 3.3

#### Результати розрахунків витрати води, провідності та опору СПРК (ПРОТЕК)

Тиск перед СПРК (ПРОТЕК), Р, кПа	400	500	600	700
Витрата води через СПРК (ПРОТЕК), Q <sub>В</sub> , л/с	7,75	8,62	9,66	10,93
Провідність СПРК (ПРОТЕК), $p = \frac{Q_B}{\sqrt{P}}, \frac{m^3}{c \cdot \sqrt{Па}}$	1,22 10 <sup>-5</sup>	1,22 10 <sup>-5</sup>	1,25 10 <sup>-5</sup>	1,31 10 <sup>-5</sup>
Опір СПРК (ПРОТЕК), $S = \frac{1}{p^2}, \frac{c^2 \cdot Па}{m^6}$	6,72 10 <sup>9</sup>	6,72 10 <sup>9</sup>	6,4 10 <sup>9</sup>	5,83 10 <sup>9</sup>

Доволі точно для практичних розрахунків використовується залежність між витратою води і тиском наступного вигляду:

$$p = \frac{Q_B}{\sqrt{P}}, \quad (3.2)$$

Середнє арифметичне чотирьох дослідів з визначення провідності насадка дорівнює

$$p = \frac{1,22 + 1,22 + 1,25 + 1,31}{4} \cdot 10^{-5} = 1,25 \cdot 10^{-5} \frac{\text{м}^3}{\text{с} \cdot \sqrt{\text{Па}}}$$

Функціональна залежність між тиском і витратою води через СПРК (ПРОТЕК) описується одержаною нами емпіричною формулою

$$Q_B = 1,25 \cdot 10^{-5} \cdot \sqrt{P} \quad (3.3)$$

Розраховані значення витрати води в залежності від тиску перед СПРК (ПРОТЕК) наведено в табл. 3.4.

Таблиця 3.4

**Результати розрахунків витрати води через СПРК (ПРОТЕК),**

**розрахованих за формулою  $Q_B = 1,25 \cdot 10^{-5} \cdot \sqrt{P}$**

<b>Тиск перед СПРК (ПРОТЕК), P, кПа</b>	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
<b>Витрата води через СПРК (ПРОТЕК), Q<sub>B</sub>, л/с</b>	5,59	6,84	7,9	8,84	9,68	10,46	11,18	11,86	12,5

Графічну залежність експериментальних і теоретичних досліджень наведено на рис. 3.10.

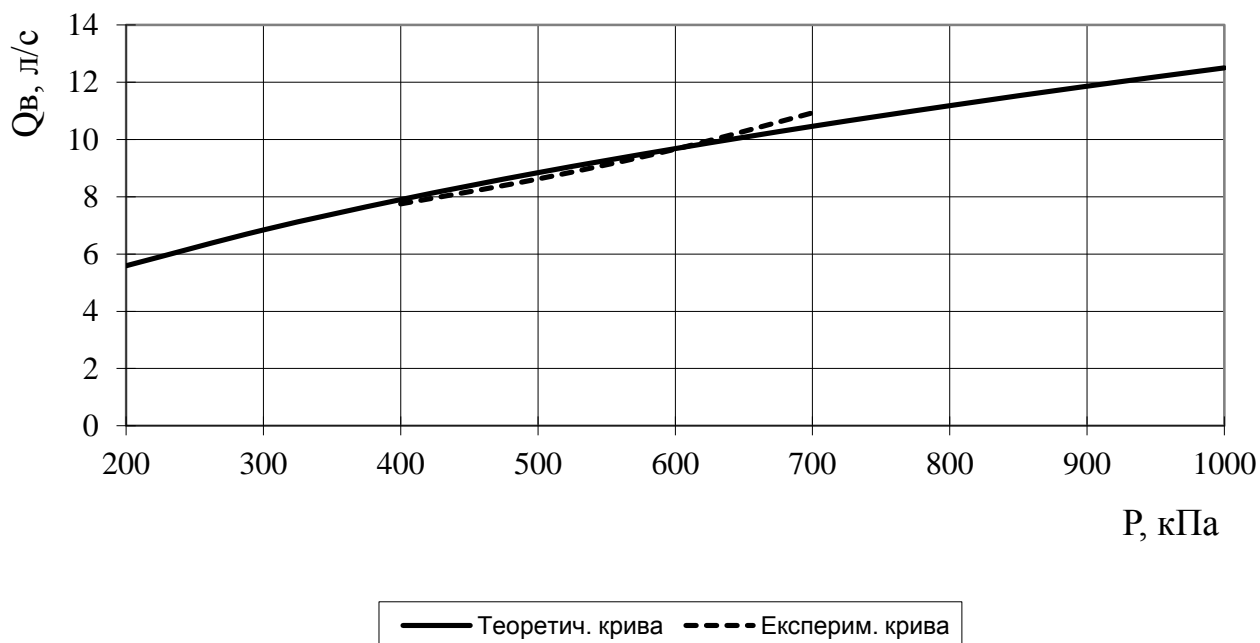


Рис. 3.10. Діаграма залежності експериментальних і теоретичних досліджень  $Q_B = f(P)$ .

Опір насадка визначається за формулою:

$$S = \frac{1}{p^2} \quad (3.4)$$

Результати досліджень опору СПРК (ПРОТЕК) показано у табл. 3.3. Середнє арифметичне чотирьох дослідів по визначенню опору СПРК (ПРОТЕК) дорівнює

$$S = \frac{6,72 + 6,72 + 6,4 + 5,83}{4} \cdot 10^9 = 6,42 \cdot 10^9 \frac{\text{с}^2 \cdot \text{Па}}{\text{м}^6}$$

Функціональна залежність між витратою і тиском води СПРК (ПРОТЕК) описується формулою

$$P = SQ_B^2 = 6,42 \cdot 10^9 \cdot Q_B^2 \quad (3.5)$$

Розраховані значення тиску біля СПРК (ПРОТЕК) приведені в табл. 3.5.



Таблиця 3.5

**Результати розрахунків тиску води перед СПРК (ПРОТЕК),**

**визначеного за формулою  $P = 6,42 \cdot 10^9 \cdot Q_B^2$**

<b>Витрата води через СПРК (ПРОТЕК), Q, л/с</b>	5,5	6,0	6,5	7,0	8,0	9,0	10,0	11,0	12,0
<b>Тиск перед СПРК (ПРОТЕК), P, кПа</b>	194,2	231,1	271,2	314,6	410,9	520,0	642,0	776,8	924,5

**Примітка.** Втратами напору  $h$  у пожежному напірному рукаві 11 (див. рис. 3.8; 3.9) довжиною 4 м нехтуємо, тому що  $h$  буде настільки незначним, що не вплине на результати подальших розрахунків, виходячи з питомого опору  $H = SQ^2$  пожежного напірного рукава довжиною 20 м і 77мм ( $S = 0,015 \text{ м} \cdot \text{с}^2 / \text{л}^2$ ). Отже,  $h$  характеризується даним, що наведені в табл. 3.6.

Таблиця 3.6

**Результати розрахунків втрат напору  $h$  у пожежному  
напірному рукаві довжиною  $L = 4$  м та 77мм**

<b>Витрата води через рукав з <math>L =</math> 4 м та 77мм</b>	5,59	6,84	7,9	8,84	9,68	10,46	11,18	11,86	12,5
<b>Втрати напору в рукаві, м</b>	0,094	0,140	0,187	0,234	0,281	0,328	0,375	0,422	0,469



Рис. 3.11. Робота СПРК (ПРОТЕК), епізод 1.



Рис. 3.12. Робота СПРК (ПРОТЕК), епізод 2.

## ВИСНОВКИ

1. Використання традиційних пожежних стволів з насадками для створення компактних водяних струменів на сьогодні не повною мірою відповідає сучасним вимогам щодо забезпечення безпеки особового складу пожежно-рятувальної служби під час гасіння пожеж з високотемпературним полум'ям.

2. Виконана система розрахунків, яка дозволила встановити гідравлічні параметри і характеристики насадків для створення розпилених водяних струменів у повітряному просторі.

3. Згідно з виконаною системою розрахунків основними параметрами розпилених водяних струменів у повітряному просторі на прикладі захисту від впливу теплового потоку вертикальних сталевих резервуарів ємністю  $500 \text{ м}^3$  є: кут встановлення  $39,5$ ; висота над рівнем земної поверхні  $2,5$  м; довжина струменя до  $30$  м; кут розпилення води  $40$  при стандартній відстані між резервуарами  $12,6$  м.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Чугаев Р.Р. Гидравлика. – Л.: Энергоиздат. Ленингр. отд-ние, 1982. – 672 с.
2. Иванников В.П., Ключ П.П. Справочник руководителя тушения пожара. – М.: Стройиздат, 1987. – 288 с.
3. Маладика І.Г., Дендаренко Ю.Ю., Мирошник О.М., Биченко А.О., Федоренко Д.С., Словінський В.К. та ін. Довідник керівника гасіння пожежі. – Український науково-дослідний інститут цивільного захисту. – Київ: ТОВ «Літера-Друк», 2016, - 320 с.
4. Шеренков И.А., Дендаренко Ю.Ю. Верные свободные водяные струи для теплозащиты при пожарах. // Научный сборник строительства. – Вып. 18. – Харьков: ХДТУБА-ХОТВ АБУ, 2002. – С. 293-297.
5. ВБН В.2.2-58.1-94. Проектування складів нафти і нафтопродуктів з тиском насичених парів не вище 93,3 кПа. – К.: Держкомнафтогаз, 1994. – 153 с.
6. Курганов А.М., Федоров Н.Ф. Справочник по гидравлическим расчетам. Л.: Стройиздат. Ленингр. отд-ние, 1978. С. 179-183.
7. Виноградов А.Г., Дендаренко Ю.Ю. Екранування конвективного потоку за допомогою водяної завіси. Пожежна безпека-2001: Збірник наукових праць. – Львів: СПОЛОМ, 2001. – С. 289-291.
8. Виноградов А.Г., Дендаренко Ю.Ю. Екранування теплового випромінювання за допомогою водяної завіси. Пожежна безпека-2001: Збірник наукових праць. – Львів: СПОЛОМ, 2001. – С. 291-293.
9. Повзик Я.С. и др. Пожарная тактика. – М.: Стройиздат, 1990. – 335 с.
10. Шароварников А.Ф., Аксенов В.П., Грашичев Н.К. Закономерности тушения горючих жидкостей // Пожарная техника, тактика и автоматика, установки пожаротушения. – М., 1989. – С. 80-87.
11. ДСТУ 2112-92 (ГОСТ 9923-93). Стволи пожежні ручні. Технічні умови. К.: Держстандарт України, 1995. – 15 с.
12. ДСТУ 2802-94 (ГОСТ 9029-95). Стволи пожежні лафетні комбіновані. Технічні умови. – К.: Держстандарт України, 1995. – 15 с.

13. Дендаренко Ю.Ю. Радіальні водяні струмені-екрани для протипожежного захисту. Автореф. дис... канд. техн. наук: 05.23.16 / Харківський держ. техн. ун-т буд. та архіт. – Харків. 2004. - 20 с.