

УДК 614.84 + 389.14 + 658.16

О. М. Кондратенко, к. т. н., доц. каф.

І. В. Міщенко, к. т. н., доц., доц. каф.

Г. О. Чернобай, к. т. н., доц., доц. каф.

Національний університет цивільного захисту України,
вул. Чернишевська, 94, м. Харків, Україна, 61023

ВРАХУВАННЯ ЗМІНИ НАПОРУ ПРИ ВИЗНАЧЕННІ ВПЛИВУ НОРМАТИВНОЇ ТОЧНОСТІ ВИГОТОВЛЕННЯ ПОЖЕЖНОГО СТВОЛА НА ВИСОТУ ПІДЙОМУ СТРУМЕНЯ ВОДИ ПРИ ЗАБЕЗПЕЧЕННІ ТЕХНОГЕННО-ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ

У цьому дослідженні враховано зміну п'єзометричного напору на вході у ручний пожежний ствол у методиці оцінки впливу нормативної точності виготовлення діаметра його вихідного отвору на геометричні характеристики траєкторії струменя води, а саме висоти його підйому. Використано основні положення наукових дисциплін «Технічна механіка рідини і газу», «Метрологія і стандартизація» та «Техногенно-екологічна безпека». Розроблено відповідну методику та здійснено розрахункову оцінку таких аспектів, у чому і полягає наукова новизна проведеного дослідження. Результати дослідження, проілюстровані у табличному, графічному та формульному виді, можна використовувати для прогнозування геометричних характеристик траєкторії струменя води з ручного пожежного ствола, у чому і полягає практична цінність проведеного дослідження.

Ключові слова: техногенно-екологічна безпека, пожежна безпека, ручний пожежний ствол, траєкторія струменя, дальність польоту, похибки вимірювань, напір.

Постановка проблеми. Точність виготовлення ручного пожежного ствола (РПС), як показано у дослідженні [1], справляє суттєвий вплив на геометричні параметри траєкторії руху струменя води з нього. При цьому значення діаметра вихідного отвору РПС d_0 (у м), змінюючись у нормативно встановлених межах згідно з ГОСТ 9923-93 і ГОСТ 25347-2013 на Δd_0 і Δd_{0r} (у м та %), справляє вплив на дальність польоту l_{\max} (у м) та висоту підйому h_{\max} (у м) струменя, який, як в абсолютних Δl_{\max} , Δh_{\max} (у м), так і у відносних (у %) Δl_{\max} , Δh_{\max} величинах, залежить також від кута нахилу осі РПС до горизонту Θ_0 . Однак оцінку такого впливу у дослідженнях [1, 3, 4] виконано для одного усталеного режиму руху води у РПС, що характеризується постійним значенням п'єзометричного напору H_1 (у м) чи тиску P_1 (у Па) на вході у РПС, що визначає значення об'ємних витрат води крізь будь-який живий переріз РПС Q (у м³/с) (а також рукавної лінії та струменя, що забезпечується дотриманням закону нерозривності потоку), що, у свою чергу, визначає значення середньої швидкості руху води у живому перерізі струменя у вихідному отворі РПС V_0 (у м/с). У практиці пожежогасіння величини H_1 чи P_1 не є постійними і залежать від режиму роботи пожежного насоса, параметрів рукавної лінії. Тому врахування зміни напору на вході у РПС, що рівноцінно врахуванню інших режимів роботи РПС, в оцінці впливу точності його виготовлення на геометричні параметри траєкторії струменя води з нього, є метою підвищення точності такої оцінки, є актуальною задачею та містить ознаки наукової новизни і має практичну цінність. Гідравлічні струмені, згенеровані РПС і лафетними пожежними стволами, широко використовуються не лише для гасіння пожеж і ліквідації їх наслідків, а й для реалізації заходів щодо забезпечення рівня екологічної безпеки технологічних процесів у шахтах і на складах сипкої продукції, що входять до структу-

ри відповідної системи управління екологічною безпекою (СУЕБ) [10, 11].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У роботі [1] подано обґрунтування актуальності цієї серії досліджень та зв'язку їх результатів з передумовами застосування для описання закону емпіричного розподілу значень геометричних параметрів вихідного отвору РПС бета-розподілом. У дослідженні [2] наведено алгоритм такого описання. У дослідженнях [3, 4] наведено методику й оцінено вплив точності виготовлення РПС, що відповідає вимогам ГОСТ 9923-93 і ГОСТ 25347-2013 [6, 7], на геометричні параметри траєкторії руху струменя води з нього. У дослідженні [5] наведено методику й оцінено вплив точності виготовлення РПС, що не відповідає вимогам ГОСТ 9923-93, на експериментально отримані значення коефіцієнта опору повітря руху струменя води з РПС. Ці дослідження виконано за припущення, що величини H_1 чи P_1 є постійними впродовж процесу пожежогасіння. У праці [8] подано основні співвідношення між гідродинамічними параметрами потоку води у рукавній лінії, РПС та струмені та деякі довідкові дані. У джерелі [9] наведено основні співвідношення для оцінки точності вказаних прямих та непрямих вимірювань. У монографії [10] наведено структуру СУЕЦ, що використовує багатозональні дисперсні структури, згенеровані РПС чи лафетними пожежними стволами. У дослідженні [12] наведено передумови, методику і результати розрахункового оцінювання впливу точності виготовлення РПС, що відповідає нормативним вимогам, на геометричні параметри траєкторії руху струменя води з нього, зокрема дальності польоту, за рахунок врахування зміни напору на його вході.

Постановка завдання та його вирішення. Метою дослідження є підвищення достовірності й точності оцінки впливу точності виготовлення РПС, що відповідає нормативним вимогам, на геометричні параметри траєкторії руху струменя води з нього, зокрема висоти підйому, за рахунок врахування зміни

напору на його вході.

Задачами дослідження є наступні:

- 1) розробка методики розрахункової оцінки аспектів, відображених у меті дослідження;
- 2) розрахункова оцінка таких аспектів;
- 3) аналіз результатів дослідження.

Об'єктом дослідження є взаємозв'язок точності визначення геометричних параметрів траєкторії руху струменя води з РПС, зокрема висоти підйому, з його точністю виготовлення.

Предметом дослідження є вплив на об'єкт дослідження напору на вході у РПС.

Розв'язувати поставлену задачу пропонується за формулою (2) для визначення величини h_{\max} , формулою (3) – рівняння нерозривності потоку – з дослідження [1], за допомогою формули (2) для оцінки похибки визначення величини Δh_{\max} з досліджень [3, 4]. Постановка, що застосовувалась у цих дослідженнях, передбачала зміну значення швидкості V_0 лише за рахунок зміни діаметра вихідного отвору РПС d_0 за незмінного значення об'ємних витрат Q . Траєкторію руху струменя води з РПС та її геометричні характеристики проілюстровано на рисунку 1, а (з дослідження [12]). Для опису взаємозв'язку напору на вході у РПС H_1 чи відповідного надлишкового тиску P_1 зі значенням об'ємних витрат Q можна скористатися наступними міркуваннями, пояснення до яких можна проілюструвати рисунком 1, б (з дослідження [12]). Математично його можна описати законом Бернуллі для потоку ідеальної рідини. Припущення про відсутність у потоці води у РПС в'язкого тертя, використане у цьому дослідженні, має бути відкинуте у подальшому. Вираз, що пов'язує шукану нами

швидкість руху води у вихідному отворі РПС V_0 зі значенням надлишкового тиску на його вході P_1 та кутом нахилу осі ствола до горизонту Θ_0 , отримане з рівняння Бернуллі для перерізів 1-1 та 0-0 на рисунку 1, б, має вид формули (1) [12].

$$V_0 = \sqrt{V_1^2 + 2 \cdot P_1 / \rho - 2 \cdot g \cdot L \cdot \sin \Theta_0}, \quad (1)$$

де індексами 1 і 0 позначено гідродинамічні параметри у живих перерізах 1-1 (на вході у РПС) та 0-0 (на виході з РПС) відповідно; V_0 – початкова середня швидкість руху потоку води у живому перерізі, що співпадає з вихідним отвором пожежного ствола, м/с; V_1 – швидкість руху води у живому перерізі на вході у РПС, м/с; P_1 – надлишковий тиск на вході у РПС, Па; ρ – щільність текучого середовища, кг/м³; L – довжина РПС, м; $g = 9,81$ – прискорення вільного падіння, м/с²; Θ_0 – кут нахилу осі РПС до горизонту, град.

Тут швидкість потоку води на вході у РПС V_1 і на виході з нього V_0 може бути визначена за рівнянням нерозривності потоку у м/с:

$$V_1 = Q / \omega_1 = 4 \cdot Q / (\pi \cdot d_1^2), \quad (2)$$

$$V_0 = Q / \omega_0 = 4 \cdot Q / (\pi \cdot d_0^2), \quad (3)$$

де Q – об'ємна витрата води крізь будь-який живий переріз РПС, м³/с; $\omega_1 = \pi \cdot d_1^2 / 4$ – площа вихідного отвору ствола, м²; $\omega_0 = \pi \cdot d_0^2 / 4$ – площа вихідного отвору ствола, м²; d_1 – діаметр вхідного отвору РПС, м; d_0 – діаметр вихідного отвору РПС, м.

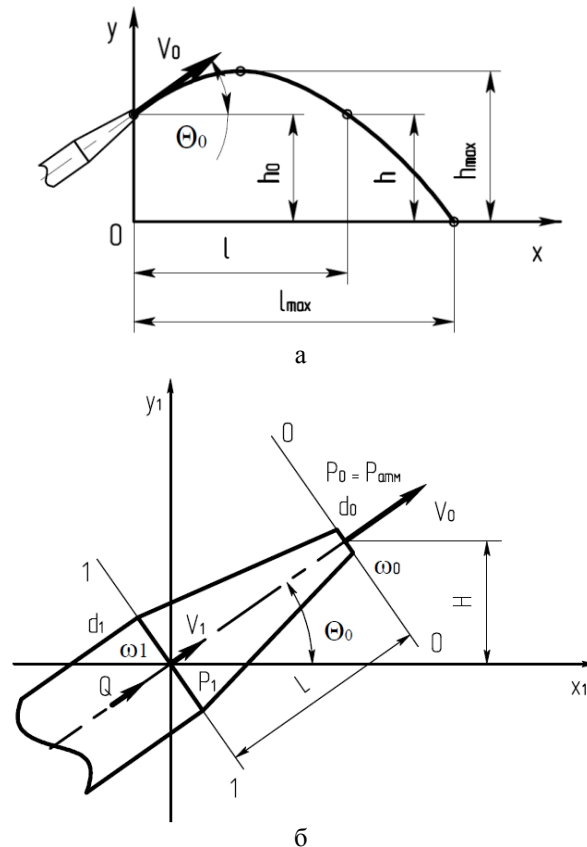


Рисунок 1 – Траєкторія руху струменя води з РПС (а) та розрахункова схема руху води у РПС (б) [12]

Враховуючи формули (2) і (3), формула для визначення об'ємних витрат води крізь будь-який живий переріз РПС Q набуває виду формули (4) [12]. З огляду на прийняте припущення щодо постійності об'ємних витрат води крізь РПС Q у м³/с слід зауважити, що у формулі (4) слід застосувати номінальне значення діаметра вихідного отвору РПС d_0

$$Q = \sqrt{\frac{(P_1/\rho - g \cdot L \cdot \sin \Theta_0) \cdot \pi^2}{8 \cdot (1/d_0^4 - 1/d_1^4)}} \quad (4)$$

Подальшу розрахункову оцінку можна виконати за методикою, описаною у дослідженнях [3, 4], визначаючи початкове значення швидкості V_0 за формулою (3).

Для РПС конкретної моделі номінальні значення його основних геометричних параметрів є нормативно встановленими і, відповідно, заздалегідь відомими. Так, наприклад для ствола РС-50 А $d_0 = 1,30 \cdot 10^{-2}$ м, $d_1 = 5,10 \cdot 10^{-2}$ м, $L = 0,265 \cdot 10^{-2}$ м [6]. Для випадку використання в якості вогнегасної чи пілопригнічувальної рідини води як ідеальної (нев'язкої та нестисливої) рідини $\rho = \text{const} = 1000$ кг/м³.

Згідно [6] робочий абсолютний тиск у РС-50А не має перевищувати 6 кг/см². Тоді значення об'ємних витрат води крізь РС-50А, визначене за формулою (4), залежить лише від значення тиску на вході P_1 та кута нахилу осі ствола до горизонту Θ_0 .

Обидва ці параметри можуть змінюватися у певних діапазонах під час гасіння пожежі непрогнозовано. Тому для здійснення оцінки є доцільним задання діапазонів їх зміни та розбиття цих діапазонів на деяку кількість рівнів варіювання з постійним кроком.

Значення тиску P_1 у цьому дослідженні будемо розглядати у діапазоні від 0,0 до 0,5 МПа із кроком 0,05 МПа, тобто матимемо 11 рівнів варіювання [12].

Значення кута Θ_0 у цьому дослідженні будемо розглядати у діапазоні від 0 до 90° із кроком 10°; також виділимо окремо значення 45°, тобто матимемо 11 рівнів варіювання [12].

Зміна значення діаметра Δd_0 у цьому дослідженні задаватиметься нормативними вимогами до точності цього параметра з [6, 7], що для РС-50А складає +0,11 мм або +0,85 %. Результати розрахункової оцінки впливу цих параметрів на значення об'ємних витрат Q наведені у таблиці 1 у [12], швидкості V_0 – у таблиці 1.

Таблиця 1 – Залежність значень швидкості V_0 у функції значень тиску P_1 та кута Θ_0 для РС-50А

V_0 , м/с	Θ_0 , град.											
	0	10	20	30	40	45	50	60	70	80	90	
P_1 , МПа	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	0,5	10,021	9,976	9,932	9,890	9,852	9,835	9,820	9,793	9,773	9,761	9,757
	1,0	14,172	14,140	14,109	14,080	14,053	14,041	14,030	14,012	13,998	13,989	13,987
	1,5	17,357	17,331	17,306	17,282	17,260	17,251	17,242	17,226	17,215	17,208	17,206
	2,0	20,042	20,020	19,998	19,977	19,958	19,950	19,942	19,929	19,920	19,914	19,912
	2,5	22,408	22,388	22,368	22,350	22,333	22,325	22,319	22,307	22,298	22,293	22,291
	3,0	24,547	24,528	24,510	24,494	24,478	24,471	24,465	24,454	24,447	24,442	24,440
	3,5	26,514	26,496	26,480	26,464	26,450	26,444	26,438	26,428	26,421	26,416	26,415
	4,0	28,344	28,328	28,313	28,298	28,285	28,279	28,274	28,264	28,257	28,253	28,252
	4,5	30,064	30,048	30,034	30,020	30,008	30,002	29,997	29,988	29,982	29,978	29,977
	5,0	31,690	31,675	31,662	31,649	31,637	31,631	31,627	31,618	31,612	31,609	31,607

Остаточна величина Δh_{max} , з урахуванням формул (2)–(7) з досліджень [3, 4], має визначатися за наступними формулами:

$$\Delta h_{\text{max}} \approx (\partial h_{\text{max}} / \partial V_0) \cdot \Delta V_0, \quad (5)$$

$$\Delta V_0 = -8 \cdot Q \cdot \Delta d_0 / (\pi \cdot d_0^3). \quad (6)$$

Результати оцінки величини l_{max} за формулами (1) і (2) з дослідження [1] представлено у табл. 3 дослідження [12], а величини h_{max} – у табл. 2. Результати визначення значень часткової похідної $\partial h_{\text{max}} / \partial V_0$ за формулами (3) з досліджень [3, 4] наведено у табл. 3. Результати оцінки величини ΔV_0 шляхом застосування формули (7) зведено у табл. 4. Результати оцінки значень величини Δh_{max} шляхом застосування формул (5) і (6) в абсолютних величинах занесено у табл. 5, у відносних Δh_{max} – у табл. 6.

Залежність абсолютних значень зміни висоти підйому струменя Δh_{max} з РС-50А у функції значень кута Θ_0 для різних значень тиску P_1 наведено на рис. 2. Залежність абсолютних значень зміни висоти підйому струменя Δh_{max} з РС-50А у функції значень тиску P_1

для різних значень кута Θ_0 подано на рис. 3.

Залежність відносних значень зміни висоти підйому струменя Δh_{max} з РС-50А у функції значень кута Θ_0 для різних значень тиску P_1 міститься на рис. 4. Залежність відносних значень зміни висоти підйому струменя Δh_{max} з РС-50А у функції значень тиску P_1 для різних значень кута Θ_0 винесено на рис. 5.

Як видно з табл. 1 у [12], величина Q для РС-50А змінюється у функції значень тиску P_1 (за гіперболічним законом) та кута Θ_0 (за ступеневим синусоїдальним законом) у діапазоні 0...4,206 л/с, набуваючи максимального значення при $P_1 = 0,5$ МПа та $\Theta_0 = 0^\circ$. При цьому залежність цієї величини від тиску P_1 є значною, а її залежністю від кута Θ_0 в подальших дослідженнях можна знехтувати. Аналогічно до Q змінюється величина V_0 у діапазоні 0...31,690 м/с (див. табл. 2), що зумовлено формулою (3). Значення величини l_{max} досягає максимуму 102,983 м (див. [11]) при $P_1 = 0,5$ МПа та $\Theta_0 = 45^\circ$. Величина h_{max} сягає максимуму 51,918 м при $P_1 = 0,5$ МПа та $\Theta_0 = 90^\circ$ (див. табл. 5 і рис. 2). Відповідним чином (див. табл. 3) змінюються і значення часткової похідної $\partial h_{\text{max}} / \partial V_0$.

Все вищенаведене приводить до зміни швидкості ΔV_0 мальне значення $-6,972$ м/с при $P_1 = 0,5$ МПа та $\Theta_0 = 0^\circ$.
(див. табл. 4), яка приймає значення в діапазоні макси-

Таблиця 2 – Залежність значень максимальної висоти підйому струменя h_{\max} у функції значень тиску P_1 та кута Θ_0 для РС-50А

h_{\max} , м		Θ_0 , град.										
		0	10	20	30	40	45	50	60	70	80	90
P_1 , МПа	0,0	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
	0,5	1,000	1,153	1,588	2,246	3,044	3,465	3,884	4,666	5,299	5,710	5,852
	1,0	1,000	1,307	2,187	3,526	5,159	6,024	6,888	8,505	9,819	10,674	10,971
	1,5	1,000	1,462	2,786	4,806	7,274	8,584	9,891	12,344	14,338	15,638	16,089
	2,0	1,000	1,616	3,384	6,085	9,389	11,143	12,895	16,183	18,858	20,602	21,208
	2,5	1,000	1,770	3,983	7,365	11,503	13,702	15,899	20,021	23,378	25,566	26,326
	3,0	1,000	1,925	4,582	8,644	13,618	16,261	18,902	23,860	27,897	30,531	31,445
	3,5	1,000	2,079	5,181	9,924	15,733	18,821	21,906	27,699	32,417	35,495	36,563
	4,0	1,000	2,233	5,779	11,204	17,848	21,380	24,909	31,538	36,937	40,459	41,681
	4,5	1,000	2,388	6,378	12,483	19,963	23,939	27,913	35,377	41,457	45,423	46,800
5,0	1,000	2,542	6,977	13,763	22,078	26,498	30,917	39,216	45,976	50,387	51,918	

Таблиця 3 – Залежність значень часткової похідної $\partial h_{\max}/\partial V_0$ у функції значень тиску P_1 та кута Θ_0 для РС-50А

$\partial h_{\max}/\partial V_0$, с		Θ_0 , град.										
		0	10	20	30	40	45	50	60	70	80	90
P_1 , МПа	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	0,5	0,000	0,031	0,118	0,252	0,415	0,501	0,587	0,749	0,880	0,965	0,995
	1,0	0,000	0,043	0,168	0,359	0,592	0,716	0,839	1,071	1,260	1,383	1,426
	1,5	0,000	0,053	0,206	0,440	0,727	0,879	1,031	1,317	1,550	1,701	1,754
	2,0	0,000	0,062	0,238	0,509	0,841	1,017	1,193	1,524	1,793	1,969	2,030
	2,5	0,000	0,069	0,267	0,570	0,941	1,138	1,335	1,705	2,007	2,204	2,272
	3,0	0,000	0,075	0,292	0,624	1,031	1,247	1,463	1,870	2,201	2,416	2,491
	3,5	0,000	0,081	0,316	0,674	1,114	1,348	1,581	2,021	2,378	2,612	2,693
	4,0	0,000	0,087	0,338	0,721	1,191	1,441	1,691	2,161	2,544	2,793	2,880
	4,5	0,000	0,092	0,358	0,765	1,264	1,529	1,794	2,293	2,699	2,964	3,056
5,0	0,000	0,097	0,378	0,807	1,332	1,612	1,892	2,417	2,846	3,125	3,222	

Таблиця 4 – Залежність значень зміни швидкості ΔV_0 у функції значень тиску P_1 та кута Θ_0 для РС-50А

ΔV_0 , м/с		Θ_0 , град.										
		0	10	20	30	40	45	50	60	70	80	90
P_1 , МПа	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	0,5	-2,205	-2,195	-2,185	-2,176	-2,168	-2,164	-2,160	-2,154	-2,150	-2,147	-2,147
	1,0	-3,118	-3,111	-3,104	-3,098	-3,092	-3,089	-3,087	-3,083	-3,080	-3,078	-3,077
	1,5	-3,819	-3,813	-3,807	-3,802	-3,797	-3,795	-3,793	-3,790	-3,787	-3,786	-3,785
	2,0	-4,409	-4,404	-4,400	-4,395	-4,391	-4,389	-4,387	-4,384	-4,382	-4,381	-4,381
	2,5	-4,930	-4,925	-4,921	-4,917	-4,913	-4,912	-4,910	-4,908	-4,906	-4,904	-4,904
	3,0	-5,400	-5,396	-5,392	-5,389	-5,385	-5,384	-5,382	-5,380	-5,378	-5,377	-5,377
	3,5	-5,833	-5,829	-5,826	-5,822	-5,819	-5,818	-5,816	-5,814	-5,813	-5,812	-5,811
	4,0	-6,236	-6,232	-6,229	-6,226	-6,223	-6,221	-6,220	-6,218	-6,217	-6,216	-6,215
	4,5	-6,614	-6,611	-6,607	-6,604	-6,602	-6,600	-6,599	-6,597	-6,596	-6,595	-6,595
5,0	-6,972	-6,969	-6,966	-6,963	-6,960	-6,959	-6,958	-6,956	-6,955	-6,954	-6,954	

Таблиця 5 – Залежність абсолютних значень зміни висоти підйому струменя Δh_{\max} у функції значень тиску P_1 та кута Θ_0 для РС-50А

Δh_{\max} , м		Θ_0 , град.										
		0	10	20	30	40	45	50	60	70	80	90
P_1 , МПа	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	0,5	0,000	-0,067	-0,259	-0,548	-0,899	-1,085	-1,269	-1,613	-1,892	-2,072	-2,135
	1,0	0,000	-0,135	-0,522	-1,111	-1,830	-2,211	-2,591	-3,302	-3,880	-4,257	-4,387
	1,5	0,000	-0,203	-0,786	-1,674	-2,760	-3,337	-3,912	-4,991	-5,869	-6,441	-6,639
	2,0	0,000	-0,271	-1,049	-2,237	-3,691	-4,463	-5,234	-6,680	-7,858	-8,625	-8,891
	2,5	0,000	-0,339	-1,313	-2,801	-4,622	-5,589	-6,555	-8,369	-9,846	-10,809	-11,143
	3,0	0,000	-0,407	-1,576	-3,364	-5,552	-6,715	-7,877	-10,059	-11,835	-12,993	-13,396
	3,5	0,000	-0,475	-1,839	-3,927	-6,483	-7,841	-9,199	-11,748	-13,824	-15,178	-15,648
	4,0	0,000	-0,543	-2,103	-4,490	-7,413	-8,967	-10,520	-13,437	-15,812	-17,362	-17,900
	4,5	0,000	-0,611	-2,366	-5,053	-8,344	-10,093	-11,842	-15,126	-17,801	-19,546	-20,152
5,0	0,000	-0,678	-2,630	-5,616	-9,274	-11,219	-13,163	-16,815	-19,790	-21,730	-22,404	

Таблиця 6 – Залежність відносних значень зміни довжини польоту струменя $\Delta h_{r\max}$ у функції значень тиску P_1 та кута Θ_0 для РС-50А

$\Delta h_{r\max}$, %	P_1 , МПа	Θ_0 , град.											
		0	10	20	30	40	45	50	60	70	80	90	
0,0	0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,5	0,0	0,000	-5,837	-16,294	-24,413	-29,546	-31,302	-32,671	-34,570	-35,696	-36,294	-36,482	-36,482
1,0	0,0	0,000	-10,343	-23,880	-31,521	-35,471	-36,696	-37,612	-38,826	-39,519	-39,878	-39,989	-39,989
1,5	0,0	0,000	-13,897	-28,204	-34,844	-37,951	-38,874	-39,552	-40,435	-40,931	-41,186	-41,265	-41,265
2,0	0,0	0,000	-16,772	-30,999	-36,769	-39,313	-40,051	-40,588	-41,281	-41,667	-41,864	-41,925	-41,925
2,5	0,0	0,000	-19,146	-32,953	-38,026	-40,175	-40,789	-41,232	-41,802	-42,118	-42,279	-42,329	-42,329
3,0	0,0	0,000	-21,139	-34,397	-38,910	-40,769	-41,294	-41,672	-42,156	-42,423	-42,559	-42,601	-42,601
3,5	0,0	0,000	-22,836	-35,507	-39,566	-41,203	-41,662	-41,991	-42,411	-42,643	-42,760	-42,797	-42,797
4,0	0,0	0,000	-24,299	-36,387	-40,073	-41,535	-41,942	-42,234	-42,605	-42,809	-42,912	-42,944	-42,944
4,5	0,0	0,000	-25,572	-37,101	-40,475	-41,796	-42,162	-42,424	-42,756	-42,939	-43,031	-43,060	-43,060
5,0	0,0	0,000	-26,691	-37,693	-40,803	-42,007	-42,340	-42,577	-42,878	-43,043	-43,127	-43,153	-43,153

Залежність абсолютних значень величини Δl_{\max} від Θ_0 , як видно у [12], носить характер ступеневого синусоїдального закону з періодом у π , а залежність абсолютних значень величини Δl_{\max} від P_1 носить характер лінійного закону, та сягає максимуму – 22,931 м при $P_1 = 0,5$ МПа та $\Theta_0 = 45^\circ$.

Залежність відносних значень величини Δl_{\max} від Θ_0 , (див. [12]) досягає максимуму –22,2 % при $P_1 = 0,5$ МПа та $\Theta_0 = 90^\circ$, носить такий характер, що суттєвих змін зазнає лише у діапазонах $\Theta_0 < 15^\circ$ та $P_1 < 0,05$ МПа, а далі значення цієї величини виходить на «полку» починаючи з $\Theta_0 = 20^\circ$ та $P_1 = 0,1$ МПа.

При цьому слід зауважити, що нульових значень величина Δl_{\max} досягає лише при $P_1 = 0$ МПа, а при $\Theta_0 = 0^\circ$ – не досягає, завдяки наявності відмінного від нуля значення h_0 .

Залежність абсолютних значень величини Δh_{\max} від Θ_0 , як видно з табл. 5 та рис. 2 і 3, носить характер ступеневого синусоїдального закону з періодом у 2π , а залежить від P_1 носить характер лінійного закону та сягає максимуму –22,4 м при $P_1 = 0,5$ МПа та $\Theta_0 = 90^\circ$. Залежність відносних значень величини Δh_{\max} від Θ_0 , як видно з табл. 6 та рис. 4 і 5, досягає максимуму –

43,2 % при $P_1 = 0,5$ МПа та $\Theta_0 = 90^\circ$ і носить такий характер, що суттєвих змін зазнає лише у діапазонах $\Theta_0 < 25^\circ$ та $P_1 < 0,10$ МПа, а далі значення цієї величини виходить на «полку» починаючи з $\Theta_0 = 30^\circ$ та $P_1 = 0,075$ МПа. При цьому слід зауважити, що нульових значень величина $\Delta h_{r\max}$ досягає і при $P_1 = 0$ МПа, і при $\Theta_0 = 0^\circ$.

Наведені на рисунках 2–5 графіки залежностей описано поліномами методом найменших квадратів, їх коефіцієнти зведено у табл. 7 і 8.

Стрімка зміна значень Δl_{\max} (див. дослідження [12]) і $\Delta h_{r\max}$ (див. табл. 5 і 6 та рис. 2 – 5) у вказаних діапазонах зміни впливаючих факторів та її характер дозволяють зробити висновок про те, що дослідження гідродинамічних процесів у стволі у тих діапазонах має бути проведене більш ретельно, можливо зі зміною математичного апарату і врахуванням втрат напору у РПС (відкидання припущення про рух ідеальної рідини у ньому) та коефіцієнта опору повітря руху струменя води з РПС і впливу на нього точності виготовлення РПС (див. дослідження [5]).

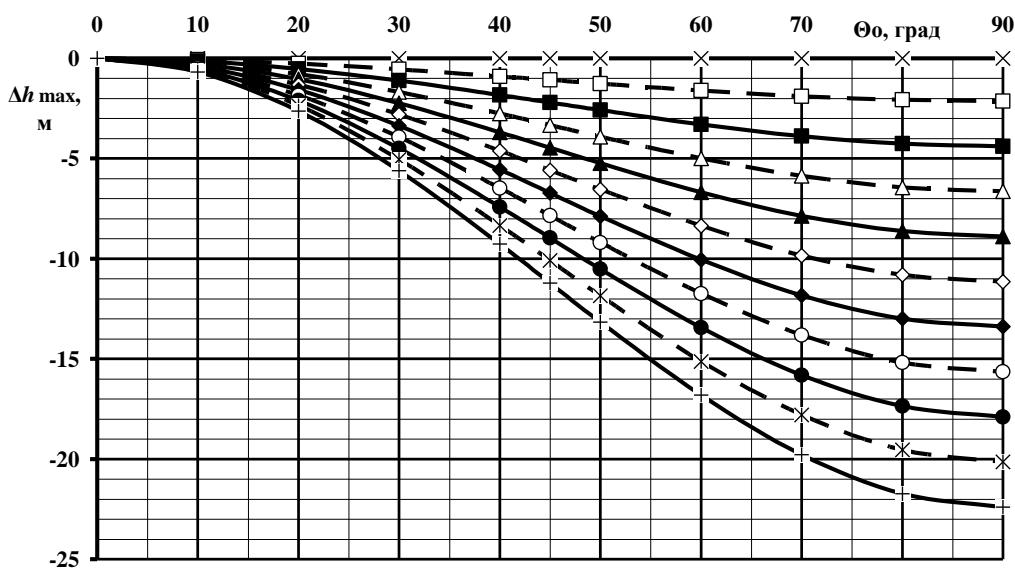


Рисунок 2 – Залежність абсолютних значень зміни висоти підйому струменя Δh_{\max} для РС-50А у функції значень кута Θ_0 для різних значень тиску P_1 : × – $P_1 = 0,0$ МПа; □ – $P_1 = 0,5$ МПа; ■ – $P_1 = 1,0$ МПа; Δ – $P_1 = 1,5$ МПа; ▲ – $P_1 = 2,0$ МПа; ◇ – $P_1 = 2,5$ МПа; ◆ – $P_1 = 3,0$ МПа; ○ – $P_1 = 3,5$ МПа; ● – $P_1 = 4,0$ МПа; * – $P_1 = 4,5$ МПа; + – $P_1 = 5,0$ МПа

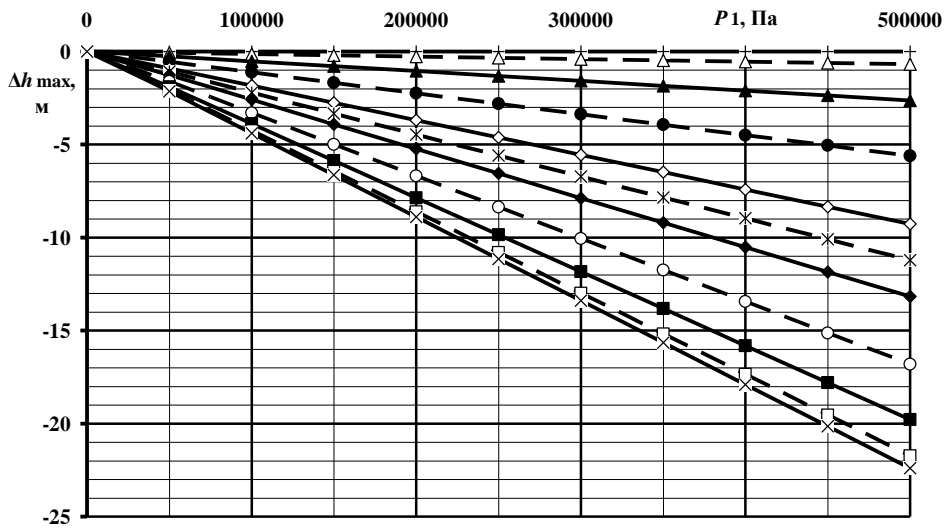


Рисунок 3 – Залежність абсолютних значень зміни висоти підйому струменя Δh_{\max} для РС-50А у функції значень тиску P_1 для різних значень кута Θ_0 : $\times - \Theta_0 = 0^\circ$; $\Delta - \Theta_0 = 10^\circ$; $\blacktriangle - \Theta_0 = 20^\circ$; $\bullet - \Theta_0 = 30^\circ$; $\diamond - \Theta_0 = 40^\circ$; $* - \Theta_0 = 45^\circ$; $\blacklozenge - \Theta_0 = 50^\circ$; $\circ - \Theta_0 = 60^\circ$; $\blacksquare - \Theta_0 = 70^\circ$; $\square - \Theta_0 = 80^\circ$; $\times - \Theta_0 = 90^\circ$

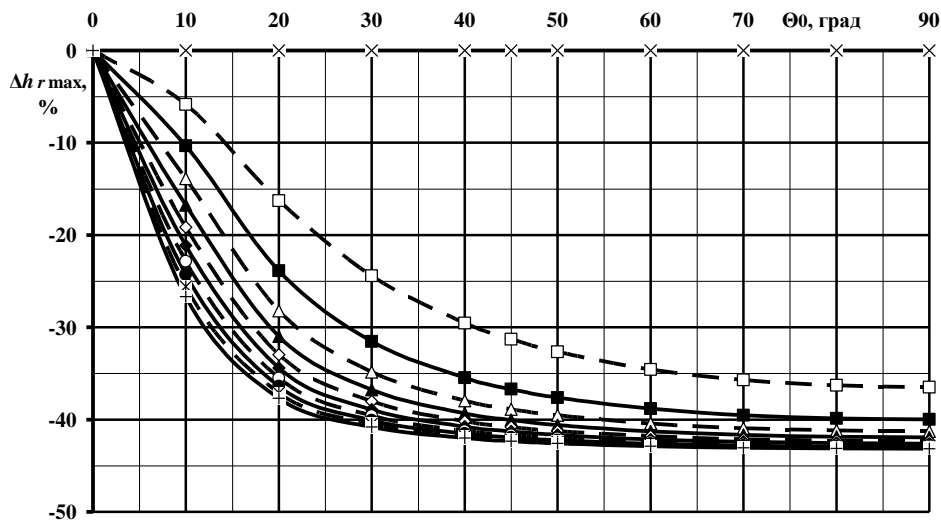


Рисунок 4 – Залежність відносних значень зміни висоти підйому струменя Δh_{\max} для РС-50А у функції значень кута Θ_0 для різних значень тиску P_1 : $\times - P_1 = 0,0$ МПа; $\square - P_1 = 0,5$ МПа; $\blacksquare - P_1 = 1,0$ МПа; $\Delta - P_1 = 1,5$ МПа; $\blacktriangle - P_1 = 2,0$ МПа; $\diamond - P_1 = 2,5$ МПа; $\blacklozenge - P_1 = 3,0$ МПа; $\circ - P_1 = 3,5$ МПа; $\bullet - P_1 = 4,0$ МПа; $* - P_1 = 4,5$ МПа; $+ - P_1 = 5,0$ МПа

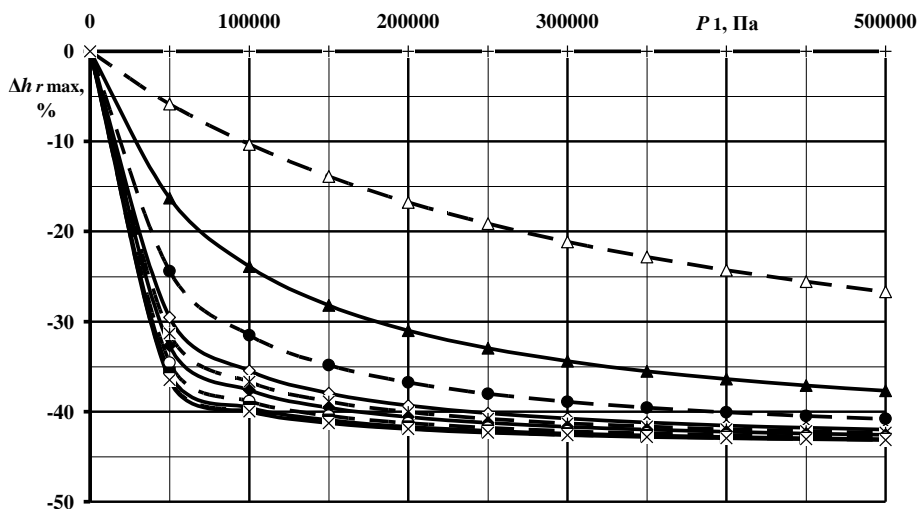


Рисунок 5 – Залежність відносних значень зміни висоти підйому струменя Δh_{\max} для РС-50А у функції значень тиску P_1 для різних значень кута Θ_0 : $\times - \Theta_0 = 0^\circ$; $\Delta - \Theta_0 = 10^\circ$; $\blacktriangle - \Theta_0 = 20^\circ$; $\bullet - \Theta_0 = 30^\circ$; $\diamond - \Theta_0 = 40^\circ$; $* - \Theta_0 = 45^\circ$; $\blacklozenge - \Theta_0 = 50^\circ$; $\circ - \Theta_0 = 60^\circ$; $\blacksquare - \Theta_0 = 70^\circ$; $\square - \Theta_0 = 80^\circ$; $\times - \Theta_0 = 90^\circ$

Таблиця 7 – Коефіцієнти апроксимуючих поліномів для Δh_{\max}

P_1 , МПа	a_4 , M^{-3}	a_3 , M^{-2}	a_2 , M^{-1}	a_1 , M^0	a_0 , М	R^2
0,0	0	0	0	0	0	1,0
0,5	$-4,662 \cdot 10^{-9}$	$7,246 \cdot 10^{-6}$	$-9,038 \cdot 10^{-4}$	$2,371 \cdot 10^{-3}$	$-2,339 \cdot 10^{-3}$	0,999
1,0	$-4,662 \cdot 10^{-9}$	$1,405 \cdot 10^{-5}$	$-1,822 \cdot 10^{-3}$	$4,958 \cdot 10^{-3}$	$-4,969 \cdot 10^{-3}$	0,999
1,5	$-4,662 \cdot 10^{-9}$	$2,085 \cdot 10^{-5}$	$-2,741 \cdot 10^{-3}$	$7,546 \cdot 10^{-3}$	$-7,600 \cdot 10^{-3}$	0,999
2,0	$-4,662 \cdot 10^{-9}$	$2,766 \cdot 10^{-5}$	$-3,659 \cdot 10^{-3}$	$1,013 \cdot 10^{-2}$	$-1,023 \cdot 10^{-2}$	0,999
2,5	$-4,662 \cdot 10^{-9}$	$3,446 \cdot 10^{-5}$	$-4,578 \cdot 10^{-3}$	$1,272 \cdot 10^{-2}$	$-1,268 \cdot 10^{-2}$	0,999
3,0	$-4,663 \cdot 10^{-9}$	$4,126 \cdot 10^{-5}$	$-5,496 \cdot 10^{-3}$	$1,531 \cdot 10^{-2}$	$-1,549 \cdot 10^{-2}$	0,999
3,5	$-4,663 \cdot 10^{-9}$	$4,807 \cdot 10^{-5}$	$-6,414 \cdot 10^{-3}$	$1,790 \cdot 10^{-2}$	$-1,812 \cdot 10^{-2}$	0,999
4,0	$-4,663 \cdot 10^{-9}$	$5,487 \cdot 10^{-5}$	$-7,333 \cdot 10^{-3}$	$2,049 \cdot 10^{-2}$	$-2,075 \cdot 10^{-2}$	0,999
4,5	$-4,663 \cdot 10^{-9}$	$6,167 \cdot 10^{-5}$	$-8,251 \cdot 10^{-3}$	$2,307 \cdot 10^{-2}$	$-2,338 \cdot 10^{-2}$	0,999
5,0	$-4,664 \cdot 10^{-9}$	$6,848 \cdot 10^{-5}$	$-9,170 \cdot 10^{-3}$	$2,566 \cdot 10^{-2}$	$-2,601 \cdot 10^{-2}$	0,999

Таблиця 8 – Коефіцієнти апроксимуючих поліномів для Δh_{\max}

Θ_0 , град	0	10	20	30	40	45
a_1 , M^0	0	$-1,358 \cdot 10^{-6}$	$-5,265 \cdot 10^{-6}$	$-1,125 \cdot 10^{-5}$	$-1,858 \cdot 10^{-5}$	$-2,248 \cdot 10^{-5}$
a_0 , М	0	$4,180 \cdot 10^{-4}$	$3,194 \cdot 10^{-3}$	$9,980 \cdot 10^{-3}$	$2,120 \cdot 10^{-2}$	$2,823 \cdot 10^{-2}$
R^2	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999
Θ_0 , град	50	60	70	80	90	
a_1 , M^0	$-2,638 \cdot 10^{-5}$	$-3,371 \cdot 10^{-5}$	$-3,969 \cdot 10^{-5}$	$-4,358 \cdot 10^{-5}$	$-4,494 \cdot 10^{-5}$	
a_0 , М	$3,589 \cdot 10^{-2}$	$5,186 \cdot 10^{-2}$	$6,625 \cdot 10^{-2}$	$7,625 \cdot 10^{-2}$	$7,984 \cdot 10^{-2}$	
R^2	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	

Висновки. Таким чином, у дослідженні враховано зміну тиску на вході у ручний пожежний ствол в оцінці впливу точності його виготовлення, що відповідає нормативним вимогам, на геометричні параметри траєкторії руху струменя води з нього, зокрема на висоту підйому струменя.

Розроблено відповідну методику та здійснено розрахункову оцінку таких аспектів, у чому і поля-

гає наукова новизна проведеного дослідження.

Результати дослідження, проілюстровані у табличному, графічному та формульному виді, можна використати для прогнозування геометричних характеристик траєкторії струменя води з ручного пожежного ствола, у чому і полягає практична цінність проведеного дослідження.

Література

1. Міщенко І. В. Вплив точності визначення діаметру вихідного отвору пожежного ствола на геометричні характеристики траєкторії струменя [Електронний ресурс] / І. В. Міщенко, О. М. Кондратенко, О. А. Бурменко // Проблеми пожежної безпеки. – 2015. – Вип. 38. – С. 123 – 129. – Режим доступу: <http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfFireSafety/vol38/MischenkoKondratenkoBurmenko.pdf>.
2. Вамболь С. О. Алгоритм побудови емпіричного закону розподілу даних непрямого визначення нелінійних величин на прикладі геометричних характеристик вихідного отвору ручного пожежного ствола [Електронний ресурс] / С. О. Вамболь, І. В. Міщенко, О. М. Кондратенко, О. А. Бурменко : матеріали 17-ої Всеукр. наук.-практ. конф. (Київ, 22 – 23 вер. 2015 р.). – Київ : ІДУЗЦ, 2015. – С. 65 – 67. – Режим доступу : http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/Articles/vambol/VambolSO_Mischenko_IV_KondratenkoOM_BurmenkoOA_Fire-Tech_2015.pdf.
3. Кондратенко А. Н. Взаимосвязь нормативной точности изготовления пожарного ствола и дальности полета выходящей из него струи [Электронный ресурс] / А. Н. Кондратенко, А. А. Бурменко : материалы V Междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых и специалистов (Москва, 12 – 13 апр. 2016 г.). – М. : Акад. ГПС МЧС России, 2016. – С. 120 – 124. – Режим доступа : http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/Articles/vambol/KondratenkoOM_BurmenkoOA_Konf-AGPS_Moscow_2016.pdf.
4. Мищенко И. В. Взаимосвязь нормативной точности изготовления пожарного ствола и высоты подъема выходящей из него струи / И. В. Мищенко, А. Н. Кондратенко : сб. статей по материалам науч.-практ. конф. Часть 1 (Воронеж, 28 – 29 апр. 2016 г.). – Воронеж : ФГБОУ ВПО Воронежский институт ГПС МЧС России, 2016. – С. 254 – 258. – Режим доступа : http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/Articles/vambol/Mischenko_IV_KondratenkoOM_VIGPS_Voronezh_2016.pdf.
5. Міщенко І. В. Особливості експериментального визначення коефіцієнту опору повітря руху струменя води з ручного пожежного ствола [Електронний ресурс] / І. В. Міщенко, О. М. Кондратенко // Проблеми пожежної безпеки. – 2016. – Вип. 39. – С. 183 – 189. – Режим доступу: <http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfFireSafety/vol39/Mishchenko.pdf>.
6. Ствол пожарный ручной. Технические условия : ГОСТ 9923-93 [Действ. 10.03. 1980]. – М. : Издательство стандартов. – 11 с.
7. Основные нормы взаимозаменяемости. Характеристики изделий геометрические. Система допусков на линейные размеры. Ряд допусков, предельные отклонения отверстий и валов : ГОСТ 25347-2013 [Действ. 01. 07.2015]. – М. : Стандартинформ, 2015. – 54 с.

8. Ольшанский В. П. Приближенные методы расчета гидравлических пожарных струй / В. П. Ольшанский, В. М. Халыпа, О. А. Дубовик. – Харьков : Митець, 2004. – 116 с.

9. Метрологія та стандартизація. Конспект лекцій / Уклад. І. В. Міщенко, С. О. Вамболь, Т. М. Курська. – Х. : АЦЗУ, 2006. – 137 с.

10. Вамболь С. А. Системы управления экологической безопасностью, которые используют многофазные дисперсные структуры : монография [Электронный ресурс] / С. А. Вамболь. – Х. : НАКУ им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», 2013. – 204 с. – Режим доступа : http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/Articles/vambol/VambolSO_monograph_2013.pdf.

11. Сучасні способи підвищення екологічної безпеки експлуатації енергетичних установок: монографія [Електронний ресурс] / С. О. Вамболь, О. П. Строков, В. В. Вамболь, О. М. Кондратенко. – Х. : Стиль-Издат (ФОП Бровін О.В.), 2015. – 212 с. – Режим доступа: http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/Articles/vambol/VambolSO_StrokovOP_VambolVV_KondratenkoOM_mono_graph_2015.pdf.

12. Вамболь С. О. Врахування зміни напору при визначенні впливу нормативної точності виготовлення пожежного ствола на дальність польоту струменя води [Електронний ресурс] / С. О. Вамболь, І. В. Міщенко, О. М. Кондратенко, О. В. Метельов // Проблеми пожежної безпеки. – 2016. – Вип. 40. – С. 57 – 65. – Режим доступу : <http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfFireSafety/vol40/vambol,mishchenko.pdf>.

Стаття надійшла до редакції 06.04.2017

А. Н. Кондратенко, И. В. Мищенко, Г. А. Чернобай

УЧЕТ ИЗМЕНЕНИЯ НАПОРА ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ВЛИЯНИЯ НОРМАТИВНОЙ ТОЧНОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПОЖАРНОГО СТВОЛА НА ВЫСОТУ ПОДЪЕМА СТРУИ ВОДЫ ПРИ ОБЕСПЕЧЕНИИ ТЕХНОГЕННО-ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Учтены изменения пьезометрического напора на входе в ручной пожарный ствол в методике оценки воздействия нормативной точности изготовления диаметра его выходного отверстия на геометрические характеристики траектории струи воды, а именно высоты ее подъема. Используются основные положения научных дисциплин «Техническая механика жидкости и газа», «Метрология и стандартизация» и «Техногенно-экологическая безопасность». Разработана соответствующая методика и осуществлена расчетная оценка таких аспектов, в чем и заключается научная новизна проведенного исследования. Результаты исследования, проиллюстрированные в табличном, графическом и формульном виде, возможно использовать для прогнозирования геометрических характеристик траектории струи воды из ручного пожарного ствола, в чем и заключается практическая ценность проведенного исследования.

Ключевые слова: техногенно-экологическая безопасность, пожарная безопасность, ручной пожарный ствол, траектория струи, дальность полета, погрешности измерений, напор.

O. Kondratenko, I. Mischenko, G. Chernobay

ACCOUNTING FOR PRESSURE CHANGE IN THE IMPACT DETERMINATION OF REGULATORY MANUFACTURING PRECISION OF FIRE NOZZLE ON THE ITS WATER JET HEIGHT OF LIFTING DURING THE ENSURING OF TECHNOGENIC AND ECOLOGICAL SAFETY

In the present paper the changes in pressure at the manual fire nozzle inlet hole in assess procedure for impact of the regulatory manufacturing precision of its outlet hole diameter on its water jet trajectory geometric characteristics, namely on its height of lifting have been taken into account. The main provisions of the scientific disciplines, "Technical mechanics of liquid and gas", "Metrology and standardization", "Technogenic and environmental safety" have been used. The appropriate methodology has been developed, the estimated evaluation has been conducted, and that is the scientific novelty of the research. The results of the study are illustrated in tabular, graphical, and equation form and may be used to predict geometric characteristics of the trajectory of the spray water from the manual fire barrel, and that is the practical value of the study.

Keywords: technogenic and ecological safety, fire safety, manual fire nozzle, jet trajectory, flight range, measurement errors, pressure.