

*І.В. Міщенко, к.т.н., доцент, доцент каф., НУЦЗУ,  
О.М. Кондратенко, к.т.н., доцент каф., НУЦЗУ,  
О.А. Бурменко, ком. навч. взводу, НУЦЗУ*

## **ВПЛИВ ТОЧНОСТІ ВИЗНАЧЕННЯ ДІАМЕТРУ ВИХІДНОГО ОТВОРУ ПОЖЕЖНОГО СТВОЛА НА ГЕОМЕТРИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТРАЄКТОРІЇ СТРУМЕНЯ**

(представлено д-ром техн. наук Куценком Л.М.)

Наведено методику, обґрунтовано і оцінено вплив точності вимірювань діаметру вихідного отвору ручного пожежного ствола на геометричні параметри струменя води з нього. Обґрунтовано доцільність застосування бета-розподілу для опису цих величин з врахуванням нелінійності їх взаємного впливу.

**Ключові слова:** пожежна безпека, ручний пожежний ствол, струмінь, похибки вимірювань.

**Постановка проблеми.** З основних положень гідравліки відомо, що геометричні параметри траєкторії струменя води з конічного збіжного насадку, чим і є ручний пожежний ствол (РПС), залежать від діаметру вихідного отвору ствола. При наближених розрахунках цих параметрів використовують номінальне значення діаметру вихідного отвору РПС. Однак, цей параметр є умовним і характеризується певним значенням точності. Аналіз та оцінка точності виготовлення елементів пожежної техніки, як і будь-якого технічного об'єкту, є предметом дослідження метрології [1]. Оскільки РПС – це продукт масового виробництва, основні вимоги до яких відображено у ГОСТ, де встановлено вимоги до точності його виготовлення. З основних положень гідравліки також відомі й інші фактори, що впливають на геометричні характеристики струменя води з РПС. Тому дослідження впливу точності виготовлення РПС на геометричні параметри струменя води з нього вирізняється суттєвим науково-практичним інтересом.

**Аналіз останніх досягнень та публікацій.** Наближені способи розрахунку геометричних характеристик траєкторії пожежних струменів наведено у роботі [2]. Наближений метод оцінки впливу неточності визначення основних факторів на геометричні параметри струменя води з РПС наведено у роботі [3]. Неможливість застосування номінальних розмірів у розрахунках траєкторії струменя випливає зі змісту деяких робіт у [4]. Нормативні вимоги до точності виготовлення РПС наведено у [5]. Довідкові дані щодо точності виготовлення деталей наведено у [6].

**Постановка завдання та його вирішення.** Метою дослідження є обґрунтування необхідності врахування реальних розмірів вихідного отвору пожежного ствола на геометричні характеристики траєкторії струменя

отвору ручного пожежного ствола у розрахунку геометричних характеристик траєкторії струменя та оцінка величини цього впливу.

З описаного у [7] переліку геометричних характеристик вихідного отвору ГПС найпростішим (базовим) є його діаметр  $d_0$ . Для опису впливу діаметру вихідного отвору РПС на геометричні характеристики траєкторії струменя води з нього можна скористатися методикою наближеного розрахунку геометричних характеристик струменя води з РПС, наведеною у [2]. Також скористаємося методикою оцінки похибок вимірювання впливаючих факторів на геометричні характеристики струменя, наведені у [3].

Основними геометричними характеристиками траєкторії струменя води з РПС є довжина польоту струменя  $l$  і висота підйому струменя  $h$  (рис. 1), що у наближеному розрахунку (без врахування опору повітря) визначаються за формулами (1) і (2) у метрах.

$$l = \left( V_0^2 \cdot \cos \theta_0 / g \right) \cdot \left( \sin \theta_0 + \sqrt{\sin^2 \theta_0 + 2 \cdot g \cdot h_0 / V_0^2} \right), \quad (1)$$

$$h = V_0^2 \cdot \sin^2 \theta_0 / (2 \cdot g) + h_0. \quad (2)$$

де  $V_0$  – початкова середня швидкість руху потоку води у живому перерізі, що співпадає з вихідним отвором РПС, м/с;  $g$  – прискорення вільного падіння, м/с<sup>2</sup>;  $h_0$  – висота розміщення центру вихідного отвору РПС відносно довільної горизонтальної площини, вздовж якої направлено вісь  $x$ , м;  $\theta_0$  – кут нахилу вісі РПС до горизонту, град.

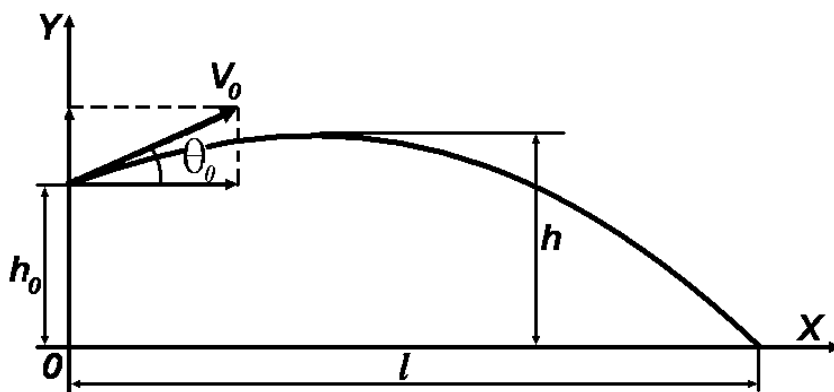


Рис. 1. Траєкторія руху струменя з пожежного ствола

У такій постановці на вищеперелічені геометричні характеристики траєкторії струменя води з РПС чинять вплив такі фактори: початкова середня швидкість руху потоку води у вихідному отворі РПС  $V_0$ , висота розміщення центру вихідного отвору РПС  $h_0$ , кут нахилу вісі РПС до горизонту  $\theta_0$ , град. З цих факторів з геометричними характеристиками вихідного отвору РПС безпосередньо пов'язана лише початкова середня швидкість  $V_0$ . Причому цей зв'язок може бути описаний рівнянням нерозривності потоку за формулою (3).

$$V_0 = Q_0 / \omega_0, \quad (3)$$

де  $Q_0$  – об’ємна витрата води крізь пожежний ствол, м<sup>3</sup>/с;  $\omega_0 = \pi \cdot d_0^2 / 4$  – площа вихідного отвору ствола, м<sup>2</sup>.

Довжина польоту струменя  $l$ , що визначається за формулою (1), за постійної величини  $h_0$  є функцією двох незалежних змінних – початкової швидкості  $V_0$  і кута нахилу вісі ствола до горизонту  $\Theta_0$ . Оскільки завдання абсолютно точних значень цих незалежних змінних є принципово неможливим, визначення впливу похибок вимірювання цих величин на довжину польоту струменя являє собою практичний інтерес. Такий вплив можливо описати за допомогою формули (4) [3].

$$\Delta l \approx \frac{\partial l}{\partial V_0} \cdot \Delta V_0 + \frac{\partial l}{\partial \theta_0} \cdot \Delta \theta_0, \quad (4)$$

де часткові похідні  $\partial l / \partial V_0$  і  $\partial l / \partial \theta_0$  визначаються наступним чином:

$$\frac{\partial l}{\partial V_0} = \frac{1}{g} \left( \sin(2\theta_0) \cdot V_0 + 2 \cdot \cos \theta_0 \frac{V_0^2 \cdot \sin^2 \theta_0 + g \cdot h_0}{\sqrt{V_0^2 \cdot \sin^2 \theta_0 + 2 \cdot g \cdot h_0}} \right), \quad (5)$$

$$\frac{\partial l}{\partial \theta_0} = \frac{V_0}{g} \left( \cos(2\theta_0) \cdot V_0 + \sin \theta_0 \frac{V_0^2 \cdot \cos^2 \theta_0 - 2 \cdot g \cdot h_0}{\sqrt{V_0^2 \cdot \sin^2 \theta_0 + 2 \cdot g \cdot h_0}} \right), \quad (6)$$

а  $\Delta V_0$  і  $\Delta \Theta_0$  – відповідно похибки вимірювання початкової середньої швидкості струменя і кута нахилу вісі ствола до горизонту у м і град.

Для визначення впливу на величину  $l$  лише геометричних характеристик вихідного отвору РПС слід прийняти  $\partial l / \partial \theta_0 = 0$  м/град., що також відповідає умовам роботи РПС, який не встановлений на лафеті, під час гасіння пожежі, тому у завданні точності кута нахилу його вісі немає жодного сенсу. Для типового випадку  $h_0 = 1$  м (при розміщенні РПС у руках рятівника), а  $V_0 = 20$  м/с. Під час гасіння пожежі кут нахилу вісі РПС динамічно і випадковим чином змінюється самим рятівником для регулювання точки падіння струменя на об’єкт, що горить, тобто  $\Theta_0 = 0 \dots 90^\circ$ .

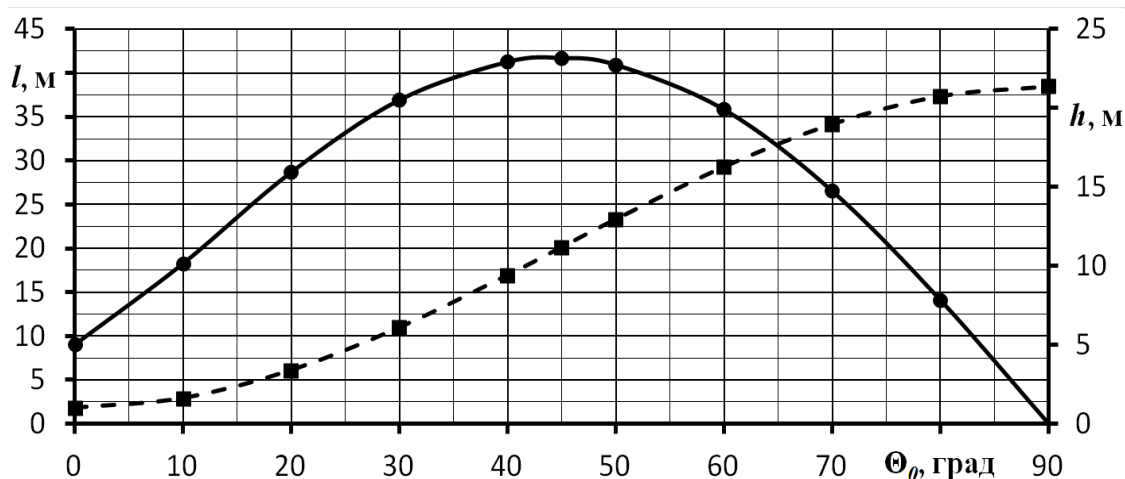
Нехай  $\Delta V_0 = \pm 1$  м/с ( $\pm 5\%$  від  $V_0$ ), тоді для різних значень  $\Theta_0$  маємо наступні результати застосування формул (1), (2), (4) – (6), що наведені у табл. 1 та проілюстровано на рис. 2 і 3.

Як видно з табл. 1, при  $\Theta_0 = 45^\circ$  величини  $l$ ,  $\partial l / \partial V_0$ ,  $\Delta l$  досягають максимумів – 41,751 м, 4,08 с,  $\pm 4,080$  м відповідно, а отже  $l =$

$= (41,751 \pm 4,08)$  м, або  $45,831 \leq l \leq 37,671$  м, а  $\Delta l$  складає  $\pm 9,77\%$  від  $l$ , а сама величина  $l$  у цьому випадку визначається з точністю до  $19,54\%$ .

**Табл. 1.** Параметри струменя у залежності від кута нахилу вісі ствола до горизонту

Параметр	од. вим.	Значення параметру при $h_0 = 1$ м, $\partial l / \partial \Theta_0 = 0$ , $V_0 = 20$ м/с і $\Delta V_0 = \pm 1$ м/с											
		$\Theta_0$ град.	0	10	20	30	40	45	50	60	70	80	90
$l$	м	9,030	18,274	28,717	36,967	41,314	41,751	40,977	35,880	26,568	14,120	0,000	
$h$	м	1,000	1,615	3,385	6,097	9,424	11,194	12,964	16,291	19,003	20,773	21,387	
$\partial l / \partial V_0$	с	0,452	1,477	2,641	3,538	4,019	4,080	4,017	3,532	2,621	1,395	0,000	
$\pm \Delta l$	м	0,452	1,477	2,641	3,538	4,019	4,080	4,017	3,532	2,621	1,395	0,000	
$\pm \Delta l$	%	5,000	8,085	9,197	9,572	9,727	9,771	9,803	9,844	9,867	9,878	9,882	



**Рис. 2.** Залежності довжини польоту і висоти підйому струменя від кута нахилу вісі ствола до горизонту

За ГОСТ 9923–80 [5] встановлено ряд номінальних діаметрів вихідних отворів РПС, а також точність і поля допусків для цього параметру. Так, для ствола РС-50А з номінальним діаметром отвору 13 мм встановлено точність Н11, що згідно до наведеного у [6], означає, що значення цього параметру має лежати у межах 13,00 ... 13,11 мм, сам діаметр позначатися на кресленнях  $\text{Ø}13\text{H}11^{+0,11}$ , а його середнє значення має становити 13,055 мм. Тобто цей параметр змінюється за нормативними вимогами на  $\pm 0,42\%$  відносно середнього значення.

Однак, такий ствол, встановлений на експериментальній установці лабораторії гідравліки кафедри прикладної механіки факультету техногенно-екологічної безпеки Національного університету цивільного захисту України, що перебував у помірній експлуатації понад 25 років, наприклад, має середній діаметр 12,6 мм (за результатами восьми вимірювань штангенциркулем ШЦ-I-150-0,02 у різних напрямках). Тобто цей параметр відрізняється від нормативно встановленого на  $3,49\%$ .

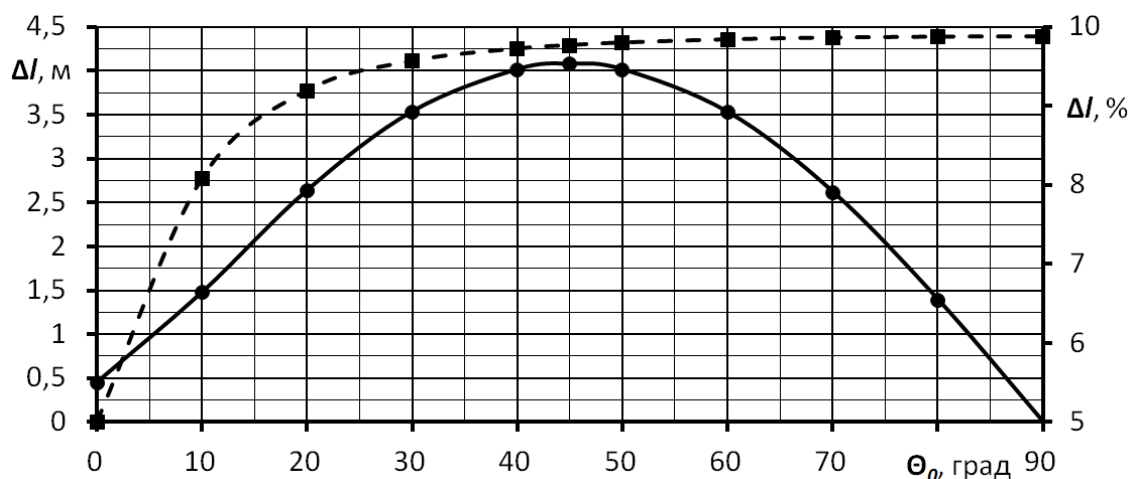


Рис. 3. Залежність абсолютної ті відносної зміни довжини польоту струменя від кута нахилу вісі ствола до горизонту

Вплив точності визначення діаметру вихідного отвору РПС на точність визначення площі цього отвору відображає формула (7), а похідну площі отвору за його діаметром – формула (8). Відповідно до цього, площа вихідного отвору РПС, що за номінальним діаметром становить  $132,733 \text{ мм}^2$ , за ГОСТ може змінюватися у на  $2,246 \text{ мм}^2$ , а на установці менша на  $9,246 \text{ мм}^2$ , або 1,69 та 6,97 % відповідно.

$$\Delta\omega \approx \frac{\partial\omega}{\partial d_0} \cdot \Delta d_0, \quad (7)$$

$$\partial\omega/\partial d_0 = \pi \cdot d_0 / 2. \quad (8)$$

Якщо у формулі (3) величину  $Q_0$  вважати незмінною (до її зміни у такій постановці призводить непрогнозована зміна параметрів насосу і рукавної лінії), тоді точність визначення величини  $V_0$  повністю визначається точністю визначення величини діаметра отвору  $d_0$ . Якщо для таких даних застосувати розрахунки, результати яких подано у табл. 1, це дає наступні результати.

1) Для стволу, що відповідає ГОСТ (для якого  $\Delta V_0 = \pm 0,084 \text{ м/с}$ ): при  $V_0 = 20 \text{ м/с}$  і  $\Theta_0 = 45^\circ$  величини  $l$ ,  $\partial l / \partial V_0$ ,  $\Delta l$  досягають максимумів – 41,751 м, 4,08 с,  $\pm 0,343 \text{ м}$  відповідно, а отже  $l = (41,751 \pm 0,343) \text{ м}$ , або  $42,094 \leq l \leq 41,408 \text{ м}$ , а  $\Delta l$  складає  $\pm 0,82 \%$  від  $l$ , а сама величина  $l$  у цьому випадку визначається з точністю до 0,686 м (або 1,64 %).

2) Для стволу установки лабораторії кафедри ПМ (для якого  $\Delta V_0 = \pm 0,349 \text{ м/с}$ ): при  $V_0 = 20 \text{ м/с}$  і  $\Theta_0 = 45^\circ$  величини  $l$ ,  $\partial l / \partial V_0$ ,  $\Delta l$  досягають максимумів – 41,751 м, 4,08 с,  $\pm 1,424 \text{ м}$  відповідно, а отже  $l = (41,751 \pm 1,424) \text{ м}$ , або  $43,175 \leq l \leq 40,327 \text{ м}$ , а  $\Delta l$  складає  $\pm 3,41 \%$  від  $l$ , а сама величина  $l$  у цьому випадку визначається з точністю до 2,848 м (або 6,82 %).

Отже, з аналізу наведених результатів оцінки випливає, що вплив зміни діаметру вихідного отвору РПС у межах поля допуску за ГОСТ чинить помітний, але помірний вплив на геометричні параметри траєкторії руху струменя води. На практиці, як виявилось, використовуються РПС, що з різних причин (виробничий брак, знос, корозія, відклади забрудників, деформації, викликані механічними пошкодженнями) можуть не відповідати вимогам ГОСТу для яких цей вплив є більш вираженим.

Не менш важливим є те, що вищенаведене підтверджує та ілюструє доцільність використання для опису закону розподілу фізичної величини, яка чинить нелінійний вплив на інші фізичні величини, математичного апарату бета-розподілу навіть за виконання умови точного описання емпіричного розподілу такої величини нормальним законом [8]. У даному випадку такою впливаючою величиною є вихідний діаметр РПС  $d_0$ , яка входить у вирази для: площі вихідного отвору РПС  $\omega_0$  у другому ступені, середньої швидкості руху потоку води у  $V_0$  у мінус другому ступені, довжини польоту струменя  $l$  та висоти підйому струменя  $h$  у четвертому ступені.

**Висновки.** Таким чином, наведено методичку, обґрунтовано і оцінено вплив точності вимірювань діаметру вихідного отвору ручного пожежного ствола на геометричні параметри його струменя для випадків ствола, що відповідає ГОСТу за точністю і ствола, що перебуває у тривалій експлуатації. Встановлено, що у першому випадку такий вплив є помітним, але помірним. У другому – вплив значно суттєвіший.

Обґрунтовано доцільність застосування бета-розподілу для опису цих величин з врахуванням нелінійності їх взаємного впливу.

## ЛІТЕРАТУРА

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

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

3. Технічна механіка рідини і газу. Курс лекцій. Друге видання, вип. та доп. / Уклад. В.М. Халипа, С.О. Вамболь, І.В. Міщенко, О.В. Прокопов. – Х.: НУЦЗУ, 2012. – 224с.

4. Технічна механіка рідини і газу. Робочий зошит. Лабораторні роботи / Уклад. І.В. Міщенко, О.В. Прокопов, В.М. Халипа. – Х.: НУЦЗУ, 2014. – 28с.

5. ГОСТ 9923–80 «Ствол пожарный ручной. Технические условия». – утв. и введ. в действ. 10.03.1980; переутв. 18.10.1985 до 01.01.1996. – М.: Издательство стандартов. – 11с.

6. ГОСТ 25347–2013 «Основные нормы взаимозаменяемости. Характеристики изделий геометрические. Система допусков на линейные размеры. Ряд допусков, предельные отклонения отверстий и валов». –

разраб. и утв. 14.11.2013, введ. в действ. 01.07.2015. – М.: Стандартиформ, 2015. – 54с.

7. Вамболь С.О. Алгоритм побудови емпіричного закону розподілу даних непрямого визначення нелінійних величин на прикладі геометричних характеристик вихідного отвору ручного пожежного ствола [Текст] / С.О. Вамболь, І.В. Міщенко, О.М. Кондратенко, О.А. Бурменко // Матеріали 17-ої Всеукраїнської науково-практичної конференції рятувальників «Сучасний стан цивільного захисту України: перспективи та шляхи до Європейського простору», що проведена в рамках XIV Міжнародного виставкового форуму „Технології захисту/ПожТех–2015” (22-23 вересня 2015 р.). – Київ: ІДУЗЦ, 2015. – С. 65-67.

8. Вамболь С.О. Апроксимація закону розподілу експериментальних даних за допомогою бета-розподілу. Частина 1 [Текст] / С.О. Вамболь, І.В. Міщенко, О.М. Кондратенко, О.А. Бурменко // Вісник Національного технічного університету "ХПІ". Збірник наукових праць. Серія: Математичне моделювання в техніці та технологіях. – Х.: НТУ «ХПІ», 2015. – № 18 (1127). – С. 36-44.

И.В. Мищенко, А.Н. Кондратенко, А.А. Бурменко

**Влияние точности определения диаметра выходного отверстия пожарного ствола на геометрические характеристики струи**

Приведена методика, обосновано и оценено влияние точности измерения диаметра выходного отверстия ручного пожарного ствола на геометрические параметры струи воды из него. Обоснована целесообразность использования бета-распределения для описания этих величин с учетом нелинейности их взаимного влияния.

**Ключевые слова:** пожарная безопасность, ручной пожарный ствол, струя, погрешности измерения.

I.V. Mischenko, O.M. Kondratenko, O.A. Burmenko

**Influence of definition accuracy of the fire barrel outlet hole diameter on the jet geometric characteristics**

In present paper describes the methodology, grounded and evaluated the influence of definition accuracy of the fire barrel outlet hole diameter on its water jet geometric characteristics. Expedience of beta distribution using for describe these variables taking into account the non-linearity of their dependence on each other was grounded.

**Keywords:** fire safety, fire barrel, jet, errors of measuring.