

*І.В. Міщенко, к.т.н., доцент, НУЦЗУ,  
О.М. Кондратенко, к.т.н., доцент каф., НУЦЗУ*

## **ОСОБЛИВОСТІ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТУ ОПОРУ ПОВІТРЯ РУХУ СТРУМЕНЯ ВОДИ З РУЧНОГО ПОЖЕЖНОГО СТВОЛА**

(представлено д-ром техн. наук Андроновим В.А.)

Наведено методику, обґрунтовано і оцінено вплив точності визначення діаметру вихідного отвору ручного пожежного ствола на значення коефіцієнта опору повітря при експериментальному дослідженні закону руху струменя води. Запропоновано застосування бета-розподілу для опису цих величин з врахуванням нелінійності їх взаємного впливу.

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

**Постановка проблеми.** Наукова дисципліна «Гідравліка» у своєму застосуванні до пожежних струменів містить наступне положення: геометричні параметри траєкторії струменя води з ручного пожежного ствола (РПС), залежать від діаметру вихідного отвору ствола  $d_0$  [1]. Номінальне значення цього параметру використовується у розрахунках геометричних характеристик траєкторії струменя при різних ступенях наближення [2]. Наукова дисципліна «Метрологія» містить положення про те, що будь-яка фізична величина не може бути визначена абсолютно точно, а лише з деякою похибкою [3]. РПС є продуктом масового виробництва, вимоги до точності виготовлення якого законодавчо закріплено у ДСТУ 2112-92 [4]. При експериментальному визначенні значення коефіцієнту опору повітря руху пожежного струменя за методикою, наведеною у [5], виявлено наступну проблему: використання у розрахунках номінального значення  $d_0$  замість реального і, відповідно, неврахування похибки його виготовлення чи визначення, призводить до негативного результату. Цей результат виявляється або у формі зведення шуканого ефекту нанівець (отримання значення коефіцієнту, що незначно відрізняється від нуля), або у формі отримання результату, що позбавлений фізичного змісту (отримання від'ємного значення коефіцієнту). Тому дослідження впливу точності виготовлення РПС на значення коефіцієнту опору повітря руху 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 [1]. Методика експериментального визначення значення коефіцієнту опору повітря руху пожежного струменя міститься у [5]. Нормативні вимоги до точності виготовлення РПС наведено у [4]. Довідкові дані щодо точності виготовлення деталей наведено у [6]. У дослідженнях [7, 8] проаналізовано вплив реальних розмірів вихідного отвору ручного пожежного ствола на геометричні характеристики траєкторії пожежного струменя з РПС, зокрема на його дальність польоту.

**Постановка завдання та його вирішення.** Метою дослідження є обґрунтування необхідності врахування реальних розмірів вихідного отвору ручного пожежного ствола у розрахунку значення коефіцієнта опору повітря руху пожежного струменя за експериментально отриманими даними та оцінка величини цього впливу.

Дослідження виконується на дослідній установці лабораторії гідравліки кафедри прикладної механіки факультету техногенно-екологічної безпеки Національного університету цивільного захисту України, схема і склад якої наведені на рис. 1 [5].

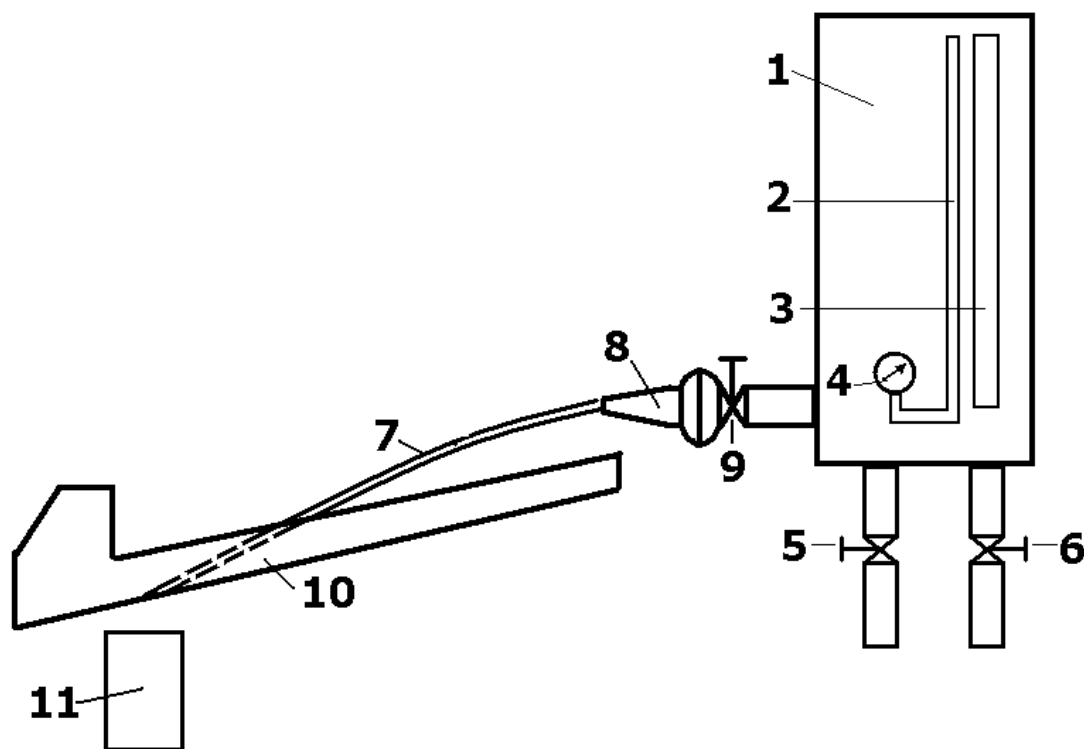


Рис. 1. Схема лабораторної установки: 1 – напірний резервуар, 2 – п'єзометр, 3 – мірна шкала п'єзометра, 4 – стрілковий манометр, 5 – наповнювальний трубопровід з вентилем, 6 – зливний трубопровід з вентилем, 7 – досліджуваний струмінь, 8 – конічний збіжний насадок (РС-50А), 9 – регулювальний вентиль, 10 – приймальний лоток, 11 – мірна ємність

Методика проведення такого експериментального дослідження передбачає наступне. При не має значення якому, однак постійному впродовж експерименту і якомога більшому значенні висоти рівня вільної по-

верхні рідини (води) у напірному резервуарі установки (геометричному напорі) генерується струмінь з РС-50А (вісь якого розміщено у горизонтальній площині, тобто під кутом  $0^\circ$  до горизонту), що вочевидь за даних умов має довжину, що близька до максимально можливої. Струмінь падає у прийомний лоток, пласке дно якого розміщене під кутом  $\Theta$  до горизонту. Значення довжини польоту струменя до контакту з дном лотка  $L_{\max}$  (у м) для всіх експериментів встановлюють однаковим, чого досягають підбором значення геометричного напору співвідношенням налаштувань вентилів 5 і 9 (див. рис. 1). При цьому вимірюються параметри, що наведені на рис. 2 [5], а саме:

– висота розміщення центру перетину вихідного отвору РПС над дном лотку  $h_n$  (у м);

– нівелірна висота точки дна лотка під отвором у РПС  $h_1$  (у м);

– нівелірна висота точки у місці падіння струменя  $h_2$  (у м);

Додатково визначають середню швидкість руху рідини у живому перетині струменя на його початку  $V$  (у м/с) непрямыми вимірюваннями наступних величин:

– об'ємної витрати рідини  $Q$  (у м<sup>3</sup>/с) шляхом усереднення даних прямих трикратних вимірювань часу наповнення  $\tau$  (у с) мірної ємності сталого об'єму ( $W=1$  дм<sup>3</sup>) електронним секундоміром Casio G-9200;

– площі поперечного перетину вихідного отвору РПС  $\omega$  (у м<sup>2</sup>) шляхом восьмикратного прямого вимірювання діаметр вихідного отвору  $d_0$  (у м) штангенциркулем ШЦ-I-150-0,02 [9] у площинах, рівномірно розміщених по периметру отвору й розрахунок за відомою формулою.

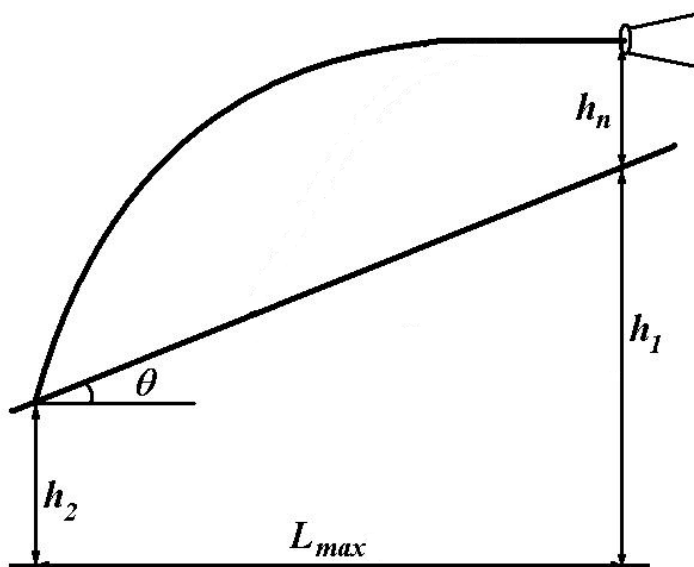


Рис. 2. Схема вимірювань

Розрахунок значення коефіцієнта опору повітря руху пожежного струменя  $k$  (безрозмірна величина) за наявності вищенаведених даних проводиться за наступною залежністю [1, 2, 5]:

$$k = 4 \cdot d_0 \cdot \left( \frac{h_n + L_{\max} \cdot \operatorname{tg}\Theta}{(L_{\max})^2} - \frac{g}{2 \cdot V^2} \right), \quad (1)$$

де  $\operatorname{tg}\Theta = (h_1 - h_2)/L_{\max}$ ;  $V = Q/\omega$ ;  $Q = W/\tau$ ;  $\omega = \pi \cdot d_0^2/4$ .

Типовим значенням шуканого коефіцієнта, виходячи з його фізичного змісту та умов проведення експерименту, є 0,02...0,03 [1, 2].

При цьому типовими значеннями експериментально отримуваних величин, що входять у вищенаведені формули є наступні:  $L_{\max} = 0,750$  м;  $h_n = 0,180$  м;  $h_1 = 1,210$  м;  $h_2 = 1,050$  м;  $\tau = 2,7$  с і, відповідно,  $\operatorname{tg}\Theta = 0,2126$ ,  $\Theta = 12^\circ$ .

Якщо у розрахунках застосувати номінальне значення діаметра вихідного отвору РС-50А  $d_0 = 13,0$  мм [4], то маємо наступне:

$\omega = 1,327 \cdot 10^{-4}$  м<sup>2</sup>;  $Q = 3,70 \cdot 10^{-4}$  м<sup>3</sup>/с;  $V = 2,790$  м/с та, в решті решт,  $k = -0,0138$ . Таке значення  $k$ , вочевидь, суперечить фізичному змісту цієї величини.

За нормативними документами (наприклад, за ДСТУ 2112-92) для РС-50А значення  $d_0$  на кресленнях позначається як  $\varnothing 13\text{H}11^{+0,11}$  [4], тобто ця величина може змінюватись у межах 13,0...13,11 мм [6]. Якщо висунути припущення, що на установці встановлено РПС з максимально можливим за ДСТУ значенням  $d_0 = 13,11$  мм, то результати вищенаведених розрахунків будуть наступні:  $\omega = 1,350 \cdot 10^{-4}$  м<sup>2</sup>;  $V = 2,744$  м/с та  $k = -0,0252$ . Тобто, адекватність значення  $k$  фізичній реальності погіршилась.

З результатів дослідження [7] стає зрозумілим, що у експлуатації знаходиться деяка кількість одиниць РПС, що з різних причин не відповідають вимогам нормативним за значенням  $d_0$ . Так, РС-50А, яким обладнано саме цю дослідну установку, характеризується усередненим за результатами восьмикратного вимірювання за допомогою штангенциркуля ШЦ-I-150-0,02 значенням  $d_0 = 12,6$  мм, що лише на 3,1 % відрізняється від нормативно встановленого значення. У цьому випадку результати розрахунку наступні:  $\omega = 1,247 \cdot 10^{-4}$  м<sup>2</sup>;  $V = 2,970$  м/с та  $k = 0,0240$ . Таке значення  $k$  адекватно відображає наявні фізичні умови проведення експерименту.

Вищенаведені міркування та розрахунки свідчать, що використання у розрахунках коефіцієнта  $k$  номінального значення діаметру РПС не є допустимим, оскільки зміна значення цього параметру навіть у межах поля допуску чинить суттєвий вплив на отримувані результати чи нівелює їх, а у випадку невідповідності РПС нормативним вимогам, результат може втратити фізичний зміст.

Результати оцінки впливу на отримувану величину коефіцієнта  $k$  реальних значень діаметра  $d_0$  за типових значень довжини польоту струменя  $L_{\max}$  та часу наповнення мірної ємності  $\tau$  проілюстровано на рис. 3. На тому ж рисунку відмічено експериментально отримані дані.

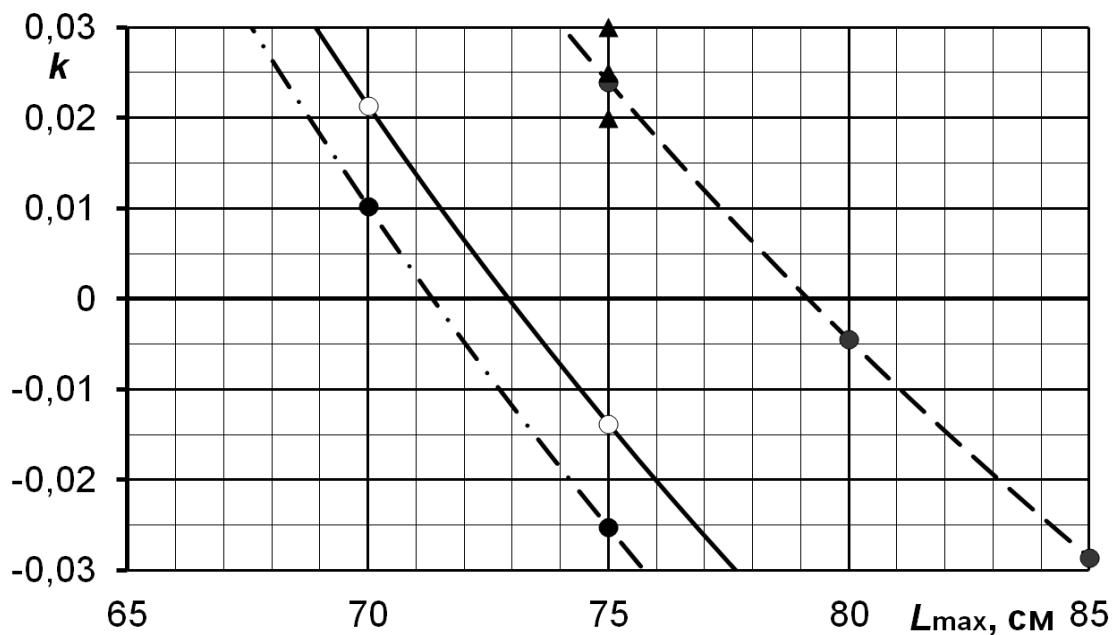


Рис. 3. Залежності значень коефіцієнту  $k$  від величини  $L_{\max}$  при  $\tau = 2,7$  с для різних значень  $d_0$ : ● –  $d_0 = 13,11$  мм; ○ –  $d_0 = 13,0$  мм; ◐ –  $d_0 = 12,6$  мм; ▲ – експериментальні дані

З наведеного на рис. 3 зрозуміло, що за умови забезпечення задовільного значення точності вимірювання довжини польоту струменя  $L_{\max}$  та часу наповнення мірної ємності  $\tau$  діаметр вихідного отвору РПС  $d_0$  чинить суттєвий вплив на отримувані значення коефіцієнту  $k$ . Так, змінюючись у межах, задовольняючих нормативні вимоги, діаметр  $d_0$  змінюється на 0,846 % від свого номінального значення, при цьому коефіцієнт  $k$  змінюється на 45,8 % відносно експериментально отримуваних значень. У випадку РПС, діаметр  $d_0$  якого відрізняється від номінального нормативно встановленого на 3,1 %, цей вплив сягає значення 158,3 %.

Не менш важливим є те, що вищенаведене, як і результати дослідження [7], 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, 10 – 12].

**Висновки.** Таким чином, наведено методику, обґрунтовано і оцінено вплив реальної точності виготовлення чи визначення діаметру вихідного отвору ручного пожежного ствола у розрахунку значення коефіцієнта опору повітря руху пожежного струменя.

Встановлено, що у випадку, коли ствол задовольняє нормативні вимоги, такий вплив є суттєвим і може знецінити отриманий результат. У випадку, коли ствол з яких-небудь причин не задовольняє цим вимогам, такий вплив може позбавити отриманий результат фізичного змісту.

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

## ЛІТЕРАТУРА

1. 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. – 224 с.
2. Ольшанский В.П. Приближенные методы расчета гидравлических пожарных струй / В.П. Ольшанский, В.М. Халыпа, О.А. Дубовик. – Харьков: Митець, 2004. – 116 с.
3. Метрологія та стандартизація. Конспект лекцій / Уклад. І.В. Міщенко, С.О. Вамболь, Т.М. Курська. – Х.: АЦЗУ, 2006. – 137 с.
4. ДСТУ 2112-92 «Стволи пожежні ручні. Технічні умови». – Затв. 25.12.1992, діє з: 01.01.1994. – К.: Держстандарт України. – 11 с.
5. Технічна механіка рідини і газу. Робочий зошит. Лабораторні роботи [Текст] / Уклад. І.В. Міщенко, Н.В. Дейнеко, О.М. Кондратенко. – Х.: НУЦЗУ, 2015. – 28 с.
6. ГОСТ 25347–2013 «Основные нормы взаимозаменяемости. Характеристики изделий геометрические. Система допусков на линейные размеры. Ряд допусков, предельные отклонения отверстий и валов». – разработ. и утв. 14.11.2013, введ. в действ. 01.07.2015. – М.: Стандартинформ, 2015. – 54 с.
7. Міщенко І.В. Вплив точності визначення діаметру вихідного отвору пожежного ствола на геометричні характеристики траєкторії струменя [Текст] / І.В. Міщенко, О.М. Кондратенко, О.А. Бурменко // Проблеми пожежної безпеки. – Х.: НУЦЗУ, 2015. – Вип. 38. – С. 123-129. – Режим доступу: <http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfFireSafety/vol38/MischenkoKondratenkoBurmenko.pdf>.
8. 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.
9. ГОСТ 166-89. Штангенциркули. Технические условия. – М.: Издательство стандартов, 1989. – 11 с.
10. 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.

11. Вамболь С.О. Апроксимація закону розподілу експериментальних даних за допомогою бета-розподілу. Частина 2 [Текст] / С.О. Вамболь, І.В. Міщенко, В.В. Вамболь, О.М. Кондратенко // Вісник Національного технічного університету "ХПІ". Збірник наукових праць. Серія: Математичне моделювання в техніці та технологіях. – Х.: НТУ «ХПІ», 2015. – № 41 (1150). – С. 11-16.

12. Вамболь С.О. Апроксимація закону розподілу експериментальних даних за допомогою бета-розподілу. Частина 3 [Текст] / С.О. Вамболь, І.В. Міщенко, В.В. Вамболь, О.М. Кондратенко // Вісник Національного технічного університету "ХПІ". Збірник наукових праць. Серія: Математичне моделювання в техніці та технологіях. – Х.: НТУ «ХПІ», 2015. – № 41 (1150). – С. 16-21.

И.В. Мищенко, А.Н. Кондратенко

**Особенности экспериментального определения коэффициента сопротивления воздуха движению струи воды из ручного пожарного ствола**

Приведена методика, обосновано и оценено влияние точности определения диаметра выходного отверстия ручного пожарного ствола на значение коэффициента сопротивления воздуха при экспериментальном исследовании закона движения струи воды. Предложено использования бета-распределения для описания этих величин с учетом нелинейности их взаимного влияния.

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

I.V. Mishchenko, O.M. Kondratenko

**Features of experimental determination of the coefficient of air resistance of a water jet movement from a manual fire barrel**

In present paper describes the methodology, grounded and evaluated the influence of determining accuracy of the fire barrel outlet hole diameter on the value of the air resistance coefficient in the experimental study of the water jet law of motion. Expedience of beta distribution using for describe these variables taking into account the non-linearity of their dependence on each other was proposed.

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