

різних умовах. Нейронна мережа навчається за допомогою методу зворотного поширення помилки для мінімізації функції втрат, це метод навчання багатопарового перцептронну [4].

### **Висновки.**

У роботі проаналізовано сучасні підходи до використання поршневих двигунів у складі гібридних енергоустановок, особливо в контексті транспорту та енергетичних систем, що є перспективним напрямком для підвищення енергоефективності транспорту та генераційних систем. Подальші дослідження у цій галузі дозволять вирішити технологічні виклики та забезпечити сталий розвиток енергетичних і транспортних систем.

### **Література**

1. Транспортні енергетичні установки : навч. посіб. / О. М. Артюх, О. В. Дударенко, В. В. Кузьмін та ін. Запоріжжя : НУ «Запорізька політехніка», 2021. – 264 с.
2. Brownlee, Jason (8 January 2019). "[A Gentle Introduction to the Rectified Linear Unit \(ReLU\)](#)". *Machine Learning Mastery*. Retrieved 8 April 2021.
3. Han, Jun; Morag, Claudio (1995). "[The influence of the sigmoid function parameters on the speed of backpropagation learning](#)". In Mira, José; Sandoval, Francisco (eds.). *From Natural to Artificial Neural Computation. Lecture Notes in Computer Science*. Vol. 930. pp. [195–201](#). doi:[10.1007/3-540-59497-3\\_175](#). ISBN [978-3-540-59497-0](#).
4. Werbos P. J., Beyond regression: New tools for prediction and analysis in the behavioral sciences. Ph.D. thesis, Harvard University, Cambridge, MA, 1974.

**УДК 532.5:628.174**

## **ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТУ ОПОРУ ПОВІТРЯ ПРИ ВИМІРЮВАННІ ДАЛЬНОСТІ ПОЛЬОТУ ГІДРАВЛІЧНОГО СТРУМЕНЯ**

**Міщенко Ігор Вікторович**, канд. техн. наук, доцент кафедра ДМ і ТМ, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, e-mail: [ivmishch@gmail.com](mailto:ivmishch@gmail.com), ORCID : 0000-0003-3752-4986  
**Чернов Вячеслав Миколайович**, студент гр. А-33-22, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, e-mail: [a322cvm@stud.khadi.kharkov.ua](mailto:a322cvm@stud.khadi.kharkov.ua)

В сучасній техніці, зокрема, у приладах протипожежного водопостачання широко використовуються вільні (незатоплені) гідравлічні струменя, які поділяються на вертикальні, нахилені та горизонтальні.

Струмені горизонтального початкового витікання часто зустрічаються на практиці. Вони виникають при контрольовану зливі рідини з резервуару, аварійному утворенні отворів у стінках судин, заповнених рідиною, при гасінні пожеж, мийці вулиць і доріг рухливими засобами тощо. Тому їхній розрахунок

становить практичний інтерес. Для відносно малих початкових швидкостей витікання струменя розглядались варіанти лінійного та квадратичного опору [1], аналізуючи які був зроблений висновок про наближеність сили опору повітря до лінійної залежності.

При аналізі траєкторії польоту гідравлічного струменя в класичному варіанті опір повітря не враховується. В цьому випадку, використовуючи методи теоретичної механіки, отримують траєкторію руху струменя у вигляді параболи. Якщо струмінь вилітає паралельно поверхні Землі, рівняння її траєкторії, за умови пропорціональності сили опору повітря першому ступеню швидкості руху, в декартовій системі координат записується у вигляді [1] при спрямуванні вертикальної осі донизу:

$$y = \frac{1}{2} \left( \frac{g}{V^2} + \frac{k}{2d_H} \right) x^2, \quad (1)$$

де  $k$  – коефіцієнт опору повітря,  $d_H$  – діаметр насадки,  $V$  – швидкість витікання струменя з насадки,  $g$  – прискорення вільного падіння.

Задачу визначення коефіцієнту опору повітря  $k$ , наближеного до істинного в певних умовах, необхідно вирішувати за допомогою експерименту, що складається з серії вимірювань дальності польоту гідравлічного струменя в реальних умовах. Це зумовлено тим, що паспортні значення діаметру насадки задаються згідно зі стандартом з певними допусками, а протягом часу експлуатації реальні значення істотно відрізняються від наданих спочатку. Використання невідповідних до реальності діаметрів насадки може привести до від'ємних значень коефіцієнту опору повітря, що є фізично неможливим.

Шуканий коефіцієнт представляється у вигляді функції декількох змінних і визначається за формулою:

$$k = 4d_H \left( \frac{h_{\Pi} + L_{max} \cdot \operatorname{tg}\theta}{L_{max}^2} - \frac{g}{2V^2} \right) = f(d_H, L_{max}, V, h_{\Pi}, \theta, g), \quad (2)$$

в якій  $h_{\Pi}$  – відстань по вертикалі від осі насадки до похилого лотка,  $\theta$  – кут нахилу лотка,  $L_{max}$  – дальність польоту струменя (рис. 1, на якому цифрами позначені: 1 – бак з водою, 2 – вентиль, 3 – похилий лоток, 4 – насадка, 5 – гідравлічний струмінь).

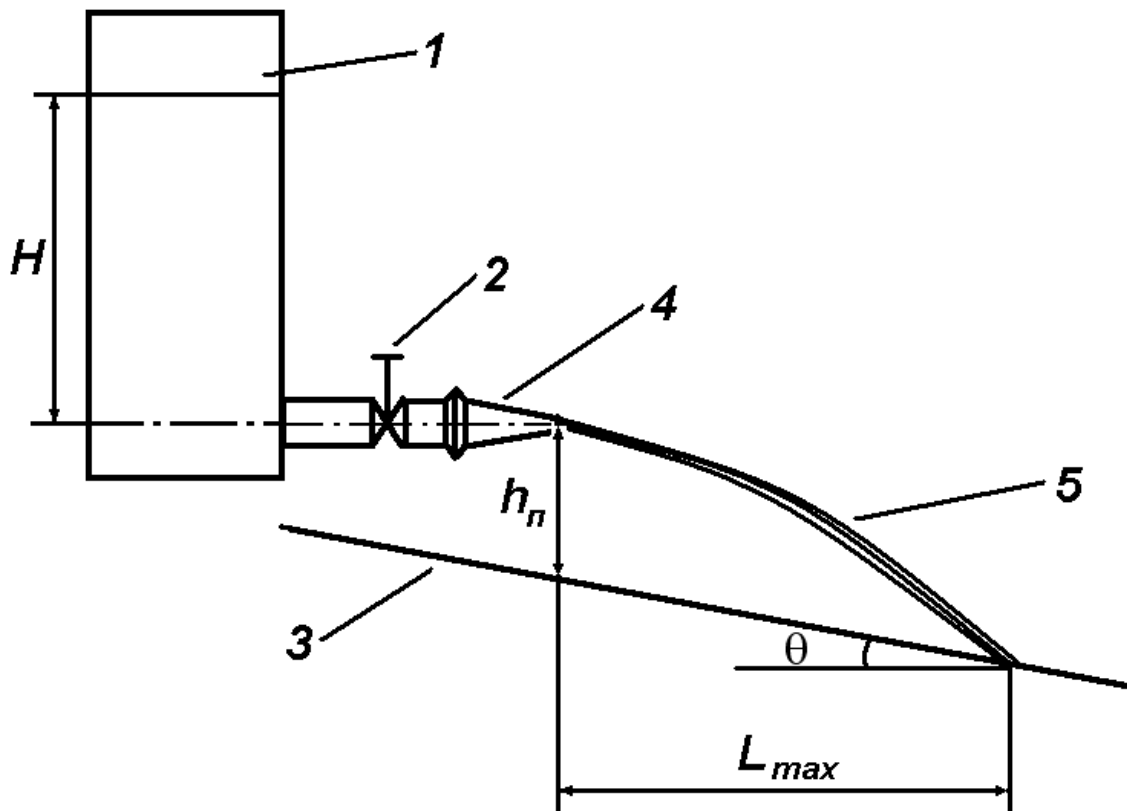


Рисунок 1.

Проте, як і при будь-якому експериментальному дослідженні, виникає проблема, що ніколи не втрачає своєї актуальності і важливості, – проблема точності та достовірності отриманих результатів. Неминучі похибки вимірювань (як систематичного, так і випадкового характеру) шуканих параметрів приводять у разі непрямих вимірювань до великих похибок. Для складних функціональних залежностей внесок похибок при вимірюванні окремих параметрів в загальну похибку є неочевидним і точніший її розрахунок вимагає залучення математичного апарату теорії похибок [2]. При цьому слід розрізняти підхід до цієї проблеми при проведенні одноразових і багаторазових вимірювань.

Отримані результати вимірювань містять систематичну і випадкову похибку. Перша з них в роботі не розглядається, оскільки може бути оцінена при аналізі засобів вимірювань, використовуваних при проведенні необхідних вимірювань. Оцінка другої є складнішим завданням і вимагає залучення математичного апарату теорії похибок. У цій роботі ставиться задача оцінки випадкової складової похибки непрямих вимірювань, аналізу вказаної похибки при проведенні одноразових і багаторазових вимірювань, а також побудови довірчого інтервалу для оцінки коефіцієнта опору повітря при розрахунках гідравлічних струменів.

Для визначення похибок вимірювань на експериментальній установці при деякому постійному напорі  $H$  проведено  $N=10$  дослідів, в ході яких проводилися прямі вимірювання діаметру насадки  $d_n$ , дальності польоту струменя  $L_{max}$ , і непрямі вимірювання швидкості  $V$  (за результатами прямих

вимірювань об'єму рідини  $W$ , що витікає за час  $t$ , а, отже, і об'ємної витрати  $Q$ ) витікання струменя.

Вказані параметри є випадковими, на відміну від геометричних характеристик лотка (відстань по вертикалі від осі насадки до похилого лотка  $h_{\text{П}}=23,5$  см, тангенс кута нахилу лотка до горизонту  $\text{tg}\theta=0,121$ ), що приймаються постійними. Прискорення вільного падіння  $g=9,81$  м/с<sup>2</sup>. Обсяг вибірки при кількості проведених вимірювань  $N$  відповідно до критерію багаторазових вимірювань вважаємо дуже малим.

Під час проведення експерименту було отримано результати безпосередніх вимірювань і результати розрахунків вказаних параметрів. Вимірювання діаметру насадки проводилися в різних напрямках, що через деяку деформацію форми (овальності) вихідного отвору і привело до розкиду результатів. Значення швидкості  $V$  отримано з рівняння нерозривності потоку

$$Q = \frac{W}{t} = V\omega = V \frac{\pi d_{\text{Н}}^2}{4}. \quad \text{Всі необхідні базові співвідношення між}$$

гідравлічними величинами можна знайти в будь-якому посібнику або підручнику з гідравліки або технічної механіки рідини та газу [3]. Отримані експериментальні та розрахункові величини зведено до Таблиці 1.

Таблиця 1 – Експериментальні та розрахункові дані

	$W, \text{ л}$	$t, \text{ с}$	$d_{\text{Н}}, \text{ мм}$	$L_{\text{max}}, \text{ см}$	$Q, \text{ л/с}$	$V, \text{ м/с}$
1	1,04	3,57	13,2	46,0	0,291	2,12
2	1,02	3,33	13,8	44,3	0,306	2,01
3	0,97	3,43	13,3	44,0	0,283	2,02
4	1,07	3,73	12,6	46,5	0,287	2,33
5	1,05	3,33	12,65	47,0	0,315	2,55
6	0,95	3,42	13,5	44,1	0,278	1,94
7	1,03	3,18	13,45	45,5	0,324	2,25
8	1,06	3,73	12,4	45,2	0,284	2,49
9	1,07	3,49	13,8	46,7	0,307	2,11
10	1,01	3,30	13,7	46,2	0,306	2,11

Для різної довірчої імовірності  $\beta$  і  $N-1=9$  були отримані величини лівої і правої границь довірчого інтервалу для оцінки  $\bar{k}$  коефіцієнту опору повітря, які зведено до Таблиці 2.

Таблиця 2 – Довірчі інтервали для оцінки коефіцієнта опору повітря

$\beta$	$t_{\beta}$	$\varepsilon_{\beta}$	$\bar{k} - \varepsilon_{\beta}$	$\bar{k} + \varepsilon_{\beta}$
0,1	0,129	0,00044	0,01956	0,02044
0,2	0,261	0,00088	0,01912	0,02088
0,3	0,398	0,00134	0,01866	0,02134
0,4	0,543	0,00183	0,01817	0,02183
0,5	0,703	0,00237	0,01763	0,02237
0,6	0,883	0,00298	0,01702	0,02298
0,7	1,100	0,00371	0,01629	0,02371
0,8	1,383	0,00466	0,01534	0,02466
0,9	1,833	0,00618	0,01382	0,02618
0,95	2,260	0,00762	0,01238	0,02762
0,98	2,820	0,00950	0,1050	0,02950
0,99	3,250	0,01095	0,00905	0,03095
0,999	4,780	0,01611	0,00389	0,03611

### Висновки

В роботі розглянута задача оцінки випадкової складової похибки непрямих вимірювань, аналізу вказаної похибки при проведенні одноразових і багаторазових вимірювань, а також побудови довірчого інтервалу для оцінки коефіцієнта опору повітря. Поставлена задача розв'язана з використанням математичного апарату, що дозволяє оцінити похибки при одноразових і багаторазових вимірюваннях. Побудовано довірчі інтервали для оцінки коефіцієнта опору повітря при визначенні дальності польоту гідравлічного струменя.

### Література

1. Єременко, С.А. Розрахунок пожежних гідравлічних струменів [Текст] : навчальний посібник / С.А. Єременко, В.П. Ольшанський, В.М. Халипа та ін. – К.: 2005. – 124 с.
2. Прокопов, О.В. Метрологія, стандартизація та сертифікація [Текст] : курс лекцій / О.В. Прокопов, С.О. Вамболь, І.В. Міщенко. – Х.: НУЦЗУ, 2013. – 274 с.
3. Вамболь, С. О. Технічна механіка рідини і газу [Текст]: підручник / С. О. Вамболь, І. В. Міщенко, О. М. Кондратенко. – Х. : НУЦЗУ, 2016. – 300 с.