

Тарування трапецієвидного водоміру за допомогою HEC-RAS

<https://doi.org/10.31713/MCIT.2025.023>

Оксана Галич

Національний університет водного господарства
та природокористування
Рівне, Україна
o.o.halych@nuwm.edu.ua

Роман Данильчук

Національний університет водного господарства
та природокористування
Рівне, Україна
danylchuk_vg24@nuwm.edu.ua

Abstract—Описується важливість проведення тарування трапецієвидних водомірів, методи тарування та складність їх проведення. На противагу лабораторному таруванню розглядається можливість отримання тарувальної кривої за допомогою програми HEC-RAS.

Keywords—моделювання, тарування, HEC-RAS, 1D модель, трапецієвидний водомір

I. INTRODUCTION

В умовах сучасного водогосподарської та гідроенергетичної діяльності точне вимірювання витрат відкритого каналу становить одну з важливих задач. Один із ефективних засобів – використання трапецієвидних водозливів (вимірювальних водомірів) – це водозлив в тонкій стінці з трапецієвидним поперечним перерізом, призначений для вимірювання витрат у відкритому каналі [1]. Серед переваг таких водомірів – можливість роботи на різному діапазоні витрат, порівняно низький гідравлічний опір тощо. Проте, щоб отримати дійсно точні показники витрати, необхідне тарування (калібрування) трапецієвидного водоміру, тобто встановлення емпіричної або наперед заданої залежності між вимірюваним напором на порозі водозливу (Н) і витратою води (Q). Недостатне чи відсутнє тарування може призвести до значних помилок, що неприпустимо для лабораторних досліджень, гідроенергетичних систем або контролю витрат.

Метою цієї статті є вивчення традиційних методів тарування трапецієвидного водоміру та за допомогою програмного забезпечення HEC-RAS.

II. НЕОБХІДНІСТЬ ТАРУВАННЯ ТРАПЕЦІЄВИДНИХ ВОДОМІРІВ

Трапецієвидний водомір працює за принципом критичного потоку. Він звужує поперечний переріз каналу, створюючи контрольну ділянку, де потік переходить від спокійного до бурхливого потоку. Витрата через отвір залежить головним чином від напору води на порозі водоміру (рис. 1). Теоретична залежність витрати води від напору зазвичай виражається як:

$$Q = 1,86BH^{3/2}, \quad (1)$$

де В – ширина трапецієвидного водозливу, Н – напір на трапецієвидному водозливі, 1,86 – коефіцієнт, який враховує форму та гідравлічні умови водоміру.



Рисунок 1. Фото трапецієвидного водоміру

Хоча теоретичні коефіцієнти водозливу можна оцінити за допомогою різних розрахункових рівнянь [1-4], реальні фактори, такі як шорсткість, будівельні допуски та неоднорідність потоку на підході, вимагають емпіричного тарування.

Основні причини для тарування водомірів [4]:

1. Геометричні відхилення: навіть невеликі помилки виробництва або монтажу (наприклад, кути стін, ширина отвору або похил дна установки) змінюють ефективну площу та енергетичний напір, змінюючи коефіцієнт витрати.
2. Гідравлічні умови: наближення потоку, турбулентність, ефект підпору або спаду та накопичення осаду впливають на вимірний напір.
3. Вимоги до точності: у лабораторних дослідженнях похибка вимірювання понад $\pm 5\%$ може бути неприйнятною; таровані лотки можуть досягати точності в межах $\pm 2\%$.
4. Емпіричне підтвердження: тарування гарантує, що теоретичне співвідношення між витратою та напором відображає фактичну водопропускну здатність водозливу.

III. МЕТОДИКА ТАРУВАННЯ В ЛАБОРАТОРНИХ УМОВАХ

A. Підготовка установки:

Встановлення водозливу у лоток чи канал з достатньою прямолінійністю підходу: довжина підходу за рекомендаціями для зменшення вихрових ефектів.

Встановлюють датчики рівня та еталонний вимірювальний пристрій витрати (наприклад, бак або пропуск через еталонний витратомір).

B. Проведення серії випробувань:

Пропускають серію дискретних витрат через водомір, встановлюючи на кожному витраті стаціонарний режим (постійний напір H).

Після стабілізації потоку вимірюють напір на порозі водозливу

Повторюють описані дії для кількох значень витрат (наприклад, 8–12 або більше) від мінімального до максимального очікуваного діапазону витрати.

C. Побудова кривої зв'язку:

На графік наносять отримані точки та зазвичай апроксимують у вигляді вітки параболі.

Визначають емпіричні коефіцієнти (наприклад через метод найменших квадратів) та оцінюють похибку. Аналізують ділянки, де кривизна або зміна чутливості змінилась, можуть вводити табличні коефіцієнти.

IV. ОТРИМАННЯ ТАРУВАЛЬНОЇ КРИВОЇ ТРАПЕЦІЄВИДНОГО ВОДОМІРУ ЗА ДОПОМОГОЮ ПРОГРАМИ HEC-RAS

При таруванні трапецієвидного водоміру лабораторних умов слід враховувати такі фактори:

Нерівномірність підходу потоку: вихрові або нерівні профілі швидкості можуть спотворити вири.

Осад або наліпання на дні каналу: змінюють ефективний переріз, впливають на глибину та швидкість потоку.

Підтоплення: при підвищеному рівні в НБ контроль критичної ділянки може бути втрачений, і залежність $Q=f(H)$ зміниться.

Монтаж і геометрія: відхилення від проектної геометрії (наприклад, похил дна, кривизна стінок можуть потребувати нового тарування або застосування корекцій.

Враховуючи перераховані складнощі, в умовах широкого використання комп'ютерного моделювання була виконана спроба отримати тарувальну криву трапецієвидного водоміру в середовищі HEC-RAS [5]. Для цього було створено геометрію існуючої лабораторної установки, довжиною 10 м, висотою робочої області 1,2 м та шириною 1,0 м (рис. 2 та 3).

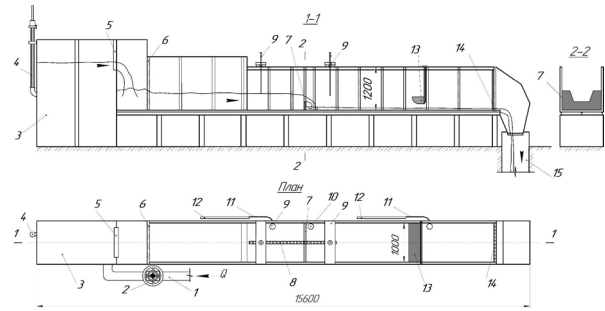


Рисунок 2. Схема експериментальної установки: 1 – підвідний трубопровід, 2 – засувка, 3 – голова лотка, 4 – п'єзометр для визначення напору на водозливі, 5 – вимірювальний трикутний водозлив, 6 – заспокоїлива решітка, 7 – трапецевидний мірний водозлив, 8 – місце розташування отворів п'єзометрів, 9 – шпигуномасштаб, 10 – отвори для відводу гумових трубок від отворів п'єзометрів до щита, 11 – гумові трубки, 12 – щит з п'єзометрами, 13 – затвор для регулювання глибини в лотку, 14 – дерев'яні бруски, 15 – резервуар для відведення води

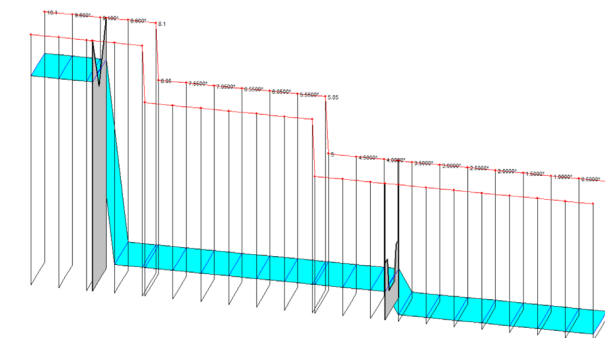


Рисунок 3. Модель установки створена в HEC-RAS

Задавалися значення витрати $Q = 2,0 \dots 60,0$ л/с та граничні умови.

Далі виконувався аналіз стаціонарного потоку.

В результаті була отримана тарувальна крива або крива зв'язку $Q=f(H)$ (рис. 4).

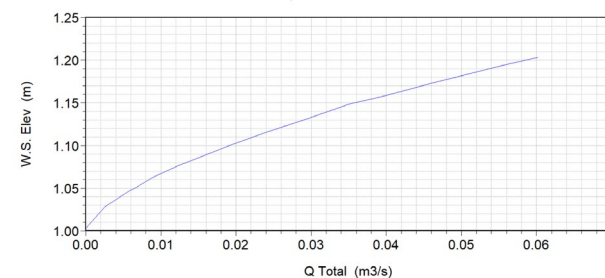


Рисунок 4. Тарувальна крива, отримана за допомогою комп'ютерного моделювання в програмі HEC-RAS

V. ВИСНОВКИ

1. Тарування трапецієвидного водоміру – це обов'язковий етап для забезпечення достовірного вимірювання витрати у відкритому каналі, особливо коли йдеться про лабораторні дослідження або критичні гідроенергетичні застосування.

2. Правильно виконане калібрування дозволяє зменшити систематичну похибку, впевнено використовувати водомір у заданому діапазоні витрат, врахувати вплив геометрії, монтажу та гідравлічних умов на вимірювання.

3. Недотримання процедури тарування або спроба користуватись водоміром без перевірки можуть призвести до значних помилок, що в подальшому вплинуть на результати досліджень чи облік витрат.

4. Можливості сучасних комп'ютерних програм дозволяють їх використовувати і для отримання тарувальних кривих трапецієвидних водомірів.

5. Тарувальна крива $Q=f(H)$, отримана шляхом комп'ютерного моделювання в програмі HEC-RAS має задовільний характер.

REFERENCES

- [1] Chow V.T. Open-channel hydraulics. 1959. 680 p.
- [2] ISO 4359:2022 Flow Measurement in Open Channels Using Flumes.
- [3] Hively W.D., McCarty G.W., Angier J.T., Geohring L.D. Weir design and calibration for stream monitoring in a riparian wetland. Hydrologic science and technology. 2006, v. 22, no. 1-4 p.71-82.
- [4] Hyat M.L. Design, Calibration, and Evaluation of a Trapezoidal Measuring Flume by Model Study. Reports 1965. 386 ps.
- [5] HEC-RAS. User's Manual.
<https://www.hec.usace.army.mil/confluence/rasdocs/rasum/latest>.