

УДК 621.311.21:556.16:681.2

COMPREHENSIVE APPROACH TO ASSESSING THE HYDROPOWER POTENTIAL OF SMALL RIVERS

КОМПЛЕКСНИЙ ПІДХІД ДО ОЦІНКИ ГІДРОЕНЕРГЕТИЧНОГО ПОТЕНЦІАЛУ МАЛИХ РІЧОК

Vashchyshak I. R. / Ващишак І.Р.*s.t.s., as.prof. / к.т.н., доц.*

ORCID: 0000-0002-9078-6726

*Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas,**Karpatska Street, 15, Ivano-Frankivsk, Ukraine, 76019**Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,**вул. Карпатська, 15 м. Івано-Франківськ, Україна, 76019***Chernetska I.V. / Чернецька І.В.***s.t.s., as.prof. / к.т.н., доц.*

ORCID: 0009-0006-7643-2565

*National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic»,**Vitaliia Hrytsaienka, 24, Poltava, Ukraine, 36011**Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»,**просп. В. Грицаєнка, 24, Полтава, Україна, 36011*

Анотація. У роботі розглянуто проблему оцінювання гідроенергетичного потенціалу малих річок України в умовах розвитку відновлюваної енергетики та децентралізації енергосистем. Обґрунтовано доцільність використання малих водотоків, зокрема гірських річок Карпатського регіону, які характеризуються значними ухилами русла та стабільними гідрологічними режимами. Запропоновано комплексний підхід до оцінювання гідроенергетичного потенціалу, що поєднує сучасні гідрометричні методи вимірювання витрати води та напору, метрологічний аналіз похибок і застосування автоматизованих систем збору даних. Розглянуто прямі та непрямі методи визначення гідрологічних параметрів, зокрема гідрометричний, поплавковий, об'ємний та акустичний методи. Показано, що похибки вимірювання витрати та напору мають вирішальний вплив на точність розрахунку потужності та прогнозування енерговиробітку малих гідроелектростанцій. Застосування міжнародних стандартів ISO 748 та ISO 6416 забезпечує достовірність результатів оцінювання. Отримані результати можуть бути використані під час проектування, модернізації та оптимізації режимів роботи малих гідроелектростанцій у річкових системах України.

Ключові слова: гідроенергетика, енергетична ефективність, мала ГЕС, витрата води, напір.

Abstract. The paper addresses the problem of assessing the hydropower potential of small rivers in Ukraine in the context of renewable energy development and the decentralization of power systems. The feasibility of utilizing small watercourses, particularly mountain rivers of the Carpathian region, characterized by significant channel slopes and stable hydrological regimes, is substantiated. A comprehensive approach to hydropower potential assessment is proposed, combining modern hydrometric methods for measuring water discharge and hydraulic head, metrological analysis of measurement errors, and the use of automated data acquisition systems. Both direct and indirect methods for determining hydrological parameters are considered, including hydrometric, float, volumetric, and acoustic methods. It is shown that measurement errors in discharge and head have a decisive impact on the accuracy of power calculation and energy yield forecasting for small hydropower plants. The application of international standards ISO 748 and ISO

6416 ensures the reliability of assessment results. The obtained findings can be used in the design, modernization, and optimization of operating modes of small hydropower plants within the river systems of Ukraine.

Key words: *hydropower, efficiency, energy performance, small HPP, water discharge, head*

Вступ.

Мала гідроенергетика є одним із перспективних напрямів розвитку відновлюваної енергетики України в умовах трансформації енергетичного сектору, децентралізації систем електропостачання та зростання потреби у підвищенні енергетичної стійкості регіонів. На відміну від великих гідроенергетичних об'єктів, малі гідроелектростанції (ГЕС) дозволяють ефективно використовувати локальні водні ресурси з мінімальним техногенним навантаженням на навколишнє середовище, що робить їх привабливими з точки зору сталого розвитку. Водночас потенціал малих річок України залишається реалізованим лише частково, що зумовлено як економічними, так і науково-технічними чинниками.

Особливої уваги заслуговують малі гірські та передгірські річки Карпатського регіону, які характеризуються значними ухилами русла, високою швидкістю течії, сезонною, але відносно передбачуваною мінливістю витрат води та наявністю значного перепаду висот на коротких ділянках. Саме ці фактори формують передумови для ефективного гідроенергетичного використання. Однак специфіка гідрологічного режиму малих річок зумовлює підвищені вимоги до точності визначення їхніх параметрів, оскільки навіть незначні похибки вимірювання можуть призвести до суттєвих помилок у прогнозуванні енерговиробітку та техніко-економічній оцінці проєктів.

Практика показує, що у багатьох випадках оцінка гідроенергетичного потенціалу здійснюється на основі усереднених або архівних гідрологічних даних, які не відображають реальний просторово-часовий розподіл параметрів потоку. Це особливо критично для малих водотоків, де гідрологічний режим може істотно змінюватися впродовж коротких проміжків часу. У зв'язку з цим актуальним є впровадження комплексного підходу, що поєднує сучасні вимірювальні технології, автоматизовані системи збору даних і метрологічно обґрунтовані методи їх оброблення.

Метою дослідження є обґрунтування комплексного підходу до оцінювання гідроенергетичного потенціалу малих річок, який базується на поєднанні сучасних гідрометричних методів, аналізі похибок вимірювань та використанні математичних моделей для підвищення достовірності енергетичних розрахунків. Для досягнення поставленої мети у роботі застосовано аналітичні, експериментальні та метрологічні методи дослідження, а також елементи математичного моделювання водних потоків.

Висвітлення основного матеріалу дослідження.

Основним гідрологічним параметром, що визначає можливості вироблення електричної енергії на малих гідроелектростанціях, є витрата води. У роботі детально розглянуто прямі та непрямі методи її визначення, зокрема гідрометричний, поплавковий, об'ємний та акустичний. Показано, що гідрометричний метод, який ґрунтується на визначенні швидкісного поля у поперечному перерізі русла та інтегруванні локальних витрат, залишається базовим для більшості гідрологічних досліджень. Його точність значною мірою залежить від кількості вимірювальних точок, правильності вибору створу та метрологічних характеристик застосовуваних приладів.

Особливу увагу приділено використанню акустичних доплерівських профілометрів (ADCP), які дозволяють отримувати детальну інформацію про просторову структуру потоку, включно з розподілом швидкостей по глибині та ширині русла. Поєднання ADCP із електромагнітними витратомірами та автоматизованими гідрологічними станціями створює можливості для організації безперервного моніторингу витрат води в режимі реального часу. Такий підхід є особливо ефективним для малих річок, де традиційні періодичні вимірювання не забезпечують необхідної репрезентативності даних.

Для початкових етапів досліджень або орієнтовних оцінок у роботі розглянуто можливість застосування поплавкового та об'ємного методів. Водночас підкреслено, що ці методи мають суттєві обмеження щодо точності та чутливі до зовнішніх факторів, таких як вітер, стан водної поверхні або геометрія русла. Тому їх використання доцільне лише у поєднанні з іншими методами або

для попереднього аналізу.

Важливим елементом оцінки гідроенергетичного потенціалу є визначення величини гідравлічного напору. У роботі розглянуто гідростатичні методи вимірювання напору із застосуванням сучасних датчиків тиску, зокрема п'єзоелектричних і тензорезистивних. Показано, що похибки у визначенні напору мають прямий лінійний вплив на результат розрахунку потужності гідроенергетичної установки, а отже потребують особливо ретельного метрологічного контролю.

Температурний режим водного середовища, хоча й не є визначальним параметром, опосередковано впливає на результати енергетичних розрахунків через зміну густини води. У роботі обґрунтовано необхідність урахування температурних поправок, особливо у випадках високоточного енергетичного моделювання або порівняльного аналізу різних варіантів гідроустановок.

Окрему увагу приділено аналізу похибок вимірювання гідрологічних параметрів і формуванню сумарної невизначеності результатів оцінювання гідроенергетичного потенціалу. Показано, що похибки визначення витрати води та напору є домінуючими та безпосередньо впливають на точність розрахунку потужності й прогнозування енерговиробітку. Запропоновано використання узагальненого підходу до оцінювання відносної похибки, який відповідає вимогам міжнародних стандартів ISO 748 та ISO 6416.

Висновки.

Запропонований комплексний підхід базується на інтеграції вимірювальних приладів, автоматизованих систем збору даних і математичних моделей, що дозволяє адаптувати енергетичні розрахунки до реальних гідрологічних умов конкретної річки. Такий підхід забезпечує підвищення достовірності оцінювання гідроенергетичного потенціалу та створює науково обґрунтовану основу для прийняття інженерних рішень щодо проектування, реконструкції та оптимізації режимів роботи малих гідроелектростанцій.

Отримані результати мають практичне значення для фахівців у галузі малої гідроенергетики, проектних організацій та наукових установ. Запропонований

підхід може бути використаний під час оцінки доцільності будівництва нових МГЕС, модернізації існуючих об'єктів, а також у процесі створення цифрових моделей і систем енергомоніторингу для річкових систем України.

Література:

1. Державне агентство водних ресурсів України: офіційний сайт. URL: <https://www.davr.gov.ua> (дата звернення: 01.11.2025).
2. Iozzi Sperandelli, D., & Zenker Gireli, T. Discharge measurements field validation using remote-controlled boat with ADCP. *Journal of Applied Water Engineering and Research*, 2022, №11(3), p. 345–356.
3. Яров Я.С., Гращенкова Т.В., Пилипюк В.В. Геодезичне забезпечення моніторингу водних екосистем: конспект лекцій. Одеса: ОДЕКУ, 2024. 185 с.
4. Шакірзанова Ж. Р., Бурлуцька М. Є. Гідрологічні розрахунки і прогнози: конспект лекцій. Одеса: ОДЕКУ, 2016. 158 с.
5. European Small Hydropower Association (ESHA). *Hydropower Technology Handbook*. Brussels: ESHA, 2020. 96 p.
6. ISO 748:2007. *Hydrometry – Measurement of liquid flow in open channels using current-meters or floats*.
7. ISO 6416:2017 *Hydrometry – Measurement of discharge by the ultrasonic transit time (time of flight) method*.

Статтю надіслано: 27.01.2026 р.

© Ващишак І.Р., Чернецька І.В.