

**АСПЕКТИ ПОДАЛЬШОГО РОЗВИТКУ ГІДРОЕНЕРГЕТИКИ
ЗА МАТЕРІАЛАМИ НАУКОВО-ПРАКТИЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ
«ВІДНОВЛЮВАНА ЕНЕРГЕТИКА ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ У ХХІ СТОЛІТТІ» 2023**

Отримано 31 трав. 2023; рекомендовано до публікації 22 чер. 2023
Доступно онлайн 30 чер. 2023

П. Ф. Васько

Автор для кореспонденції: Петро Васько,
e-mail: ivevasko@gmail.com

² д-р техн. наук, доцент.

<https://orcid.org/0000-0001-8807-7173>

Інститут відновлюваної енергетики НАН України,
м. Київ, Україна.

Розглянуто та узагальнено основні результати доповідей на секції гідроенергетики, в роботі якої взяли участь спеціалісти з України та Республіки Узбекистан. Всього було представлено 12 доповідей, 3 з яких стосувались питань великої гідроенергетики, та 9 доповідей – відносно малої гідроенергетики. Основний тренд змісту доповідей полягав у висвітленні питань створення та функціонування гідроелектростанцій з мінімальним впливом на довкілля.

Ключові слова: водотік, гідроелектростанція, гідротурбіна, довкілля, екологія, енергія, імовірність, надійність, потужність.

**ASPECTS OF FURTHER DEVELOPMENT OF HYDROENERGY ACCORDING TO THE MATERIALS
OF THE SCIENTIFIC AND PRACTICAL CONFERENCE
«RENEWABLE ENERGY AND ENERGY EFFICIENCY IN THE XXI CENTURY» 2023**

Received 31 May. 2023; accepted 22 Jun. 2023
Available online 30 Jun. 2023

P. Vasko

Author for correspondence: Vasyl Budko,
e-mail: ivevasko@gmail.com

Doctor of Tech. Science, assistant professor.

<https://orcid.org/0000-0001-8807-7173>

Institute of Renewable Energy NAS of Ukraine, Kyiv,
Ukraine.

The main results of reports at the hydropower section, in which specialists from Ukraine and the Republic of Uzbekistan took part, were considered and summarized. A total of 12 reports were presented, 3 of which related to issues of large hydropower, and 9 reports related to small hydropower. The main trend of the content of the reports was to cover the issues of creation and operation of hydroelectric power plants with minimal impact on the environment.

Keywords: watercourse, hydroelectric power station, hydroturbine, environment, ecology, energy, probability, reliability, power.

Вступ. У процесі роботи XXIV Міжнародної науково-практичної конференції «Відновлювана енергетика та енергоефективність у ХХІ столітті» (Україна. Київ. 18–19 травня 2023 року) висвітлювались аспекти подальшого розвитку як великої, так і малої гідроенергетики на територіях нашої країни та Республіки Узбекистан [1]. Усього було представлено 12 доповідей, 3 з яких стосувались питань великої гідроенергетики, та 9 доповідей – відносно малої гідроенергетики. Основний тренд змісту доповідей полягав у висвітленні питань створення та

функціонування гідроелектростанцій з мінімальним впливом на довкілля.

Мета публікації полягає в узагальненні матеріалів досліджень, представлених у доповідях, та у висвітленні особливостей подальшого розвитку гідроенергетики як одного з напрямів відновлюваної енергетики.

Аналіз змісту доповідей. Інтенсивне використання природних енергетичних ресурсів вже сьогодні викликає негативні наслідки, що полягають у їх виснаженні та

зміні клімату місцевого й глобального масштабу. На національному та міжнародному рівнях особлива увага приділяється питанням енергозбереження, екологічності та надійності енергетики. У довгостроковій політиці розвитку енергетичної галузі провідних країн світу пріоритетним напрямом є використання відновлюваних джерел енергії, до яких належить і гідроенергетика (велика та мала).

Гідроенергетика – перевірена часом надійна технологія виробництва електроенергії без використання викопного органічного та ядерного палива. Вона характеризується досить гарантованим відновлюваним енергоресурсом, значним терміном служби та високою надійністю експлуатації, передбачуваністю та забезпеченістю режимів роботи, високою маневреністю і коефіцієнтом готовності та надає можливості вирішення інших важливих господарських задач, таких як водопостачання, ведення рибного господарства, керованого захисту прилеглих територій від повеней, перевезення земель з категорії негарантованого землеробства в гарантоване, зокрема завдяки зрошенню. Необхідно окремо зазначити, що виробництво електроенергії на гідроелектростанції (ГЕС) відбувається без споживання робочого тіла, тобто води. Вода з верхнього водосховища тече через гідротурбіну до русла річки без зміни свого об'єму. Технологічні втрати води в процесі виробництва електроенергії на ГЕС відсутні.

Гідроенергетика використовує природне відновлюване джерело енергії, тому виробництво кожної кіловат-години заощаджує в нинішніх умовах України близько 420 г умовного палива. Завдяки використанню гідроелектроенергії зменшуються обсяги викидів в атмосферу шкідливих речовин у результаті заміщення викопного органічного палива, зокрема парникових газів, найбільшу частку яких складає вуглекислий газ.

Однак слід зазначити, що створення потужних гідроенергетичних об'єктів з великими водосховищами є серйозним втручанням у функціонування природних екосистем і може призвести до негативних наслідків для навколишнього середовища, оскільки значною мірою змінюються природні умови цілих регіонів. Водосховища ГЕС впливають на природний режим річок, тому що змінюють їхній гідрологічний і температурний режим, затоплюють значні території, викликають зсувні процеси берегів. Будівництво гребель і водосховищ перешкоджає міграції риб, погіршується якість води внаслідок зменшення проточності, дефіциту кисню, збільшення азоту і фосфору, появи синьо-зелених водоростей. Створення потужних гідроенергетичних об'єктів з великими водосховищами є серйозним втручанням у функціонування природних екосистем.

Сучасний етап розвитку вітчизняної великої гідроенергетики характеризувався реалізацією реконструкції Дніпровського каскаду ГЕС та розробленням проекту побудови каскаду ГЕС на річці Дністер. Будівництво нових ГЕС у верхній течії Дністра зачіпає інтереси не лише України, але й Молдови, оскільки Дністер є транскордонною річкою. Тому цей проект має відповідати положенням Конвенції про оцінку впливу на навколишнє середовище у транскордонному контексті й не суперечити принципам Протоколу про

стратегічну екологічну оцінку. Проте перш ніж розглядати транскордонні аспекти, зазначимо, що проект на сьогодні не відповідає положенням чинної законодавчої бази України в природоохоронній сфері. З енергетичної точки зору доцільність спорудження цього каскаду в складі об'єднаної електроенергетичної системи потребує додаткового обґрунтування.

Уже після проведення конференції агресор (Росія) здійснив акт екоциду шляхом підризу і руйнування Каховської ГЕС Дніпровського каскаду, що зумовило необхідність корегувати подальші плани функціонування великої гідроенергетики в післявоєнний період. Можливо, актуалізується і питання спорудження Дністровського каскаду ГЕС з мінімізацією його впливу на довкілля з урахуванням висвітлених на конференції пропозицій [2]: основні споруди кожного гідровузла мають забезпечувати ефективні промивання водосховищ та пропуск наносів, максимальний період часу ГЕС повинні працювати на природному стоці, напірний фронт кожного гідровузла має брати участь у пропуску паводків, проєктні рівні води (НПР, ФПР) у верхніх б'єфах гідровузлів слід узгоджувати з рівнями води під час природних паводків, що зумовлюють максимальні ризики збитків. Розглядалися на конференції також питання забезпечення підвищеної технічної надійності експлуатації потужних гідроагрегатів ГЕС шляхом використання систем контролю, моніторингу та діагностики параметрів биття валу [3, 4]. Аналізувались можливості побудови та застосування ємнісних первинних вимірювальних перетворювачів (сенсорів) контролю параметрів биття валу для забезпечення високої точності й роздільної здатності вимірювання, довготривалої стабільності характеристик, а також функціонування в умовах дії електромагнітних полів. Було запропоновано конструкцію та місця монтажу 4–6 сенсорів на валу поряд з напрямними підшипниками генератора і турбіни.

Післявоєнна відбудова енергетичної галузі України стосуватиметься й сектору малої гідроенергетики. Водосховища малих гідроелектростанцій забезпечують регулювання природного стоку річки з метою найповнішого використання водних ресурсів і діють на прилеглі території в межах зони впливу вже існуючих природних процесів паводкового затоплення, тому не вносять істотних змін у довкілля. Сфера їх впливу здебільшого не перевищує площ самих водосховищ. Незважаючи на значно меншу шкоду від водосховищ малих ГЕС, порівняно з великими об'єктами, питання охорони довкілля залишаються вкрай важливими. Вони повинні визначати екологічні обмеження на використання стоку річки з огляду на ключові проблеми, викликані експлуатацією малих ГЕС: зміна природного режиму річки в зоні водосховища і в нижньому б'єфі, умов здійснення процесів природного самоочищення і формування якості води, перекриття шляхів міграції риб, вплив на рослинний і тваринний світ тощо. Проект сучасної малої ГЕС має відповідати й не суперечити екологічним принципам і умовам, які регламентовані в чинних вітчизняних законах щодо охорони, збереження та розумного використання природних ресурсів, а також міжнародним договорам, конвенціям і протоколам до них: Рамкова конвенція про охорону та сталий розвиток Карпат (2004) та Протокол

до Рамкової конвенції про збереження і стале використання біологічного та ландшафтного різноманіття (2009); Бернська конвенція (1979); Європейська ландшафтна конвенція (2006); Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища»; Водний кодекс; Земельний кодекс; Лісовий кодекс. Кожний з цих документів має свої цілі та шляхи їх досягнення, але всі вони поєднані однією метою – це охорона, збереження і стале використання природних ресурсів. Аналогічні концепції озеленення малої гідроенергетики розглядаються різними інституціями в таких країнах як США, Канада, Швейцарія, Велика Британія.

Гідроенергетичний потенціал малих ГЕС України з урахуванням природоохоронних обмежень на використання території для будівництва станцій та витрат води для виробництва електроенергії становить близько 1270 млн кВт-год за рік. Досягне значення встановленої потужності малих ГЕС оцінюється на рівні 375 МВт [5, 6]. Станом на 2022 рік в експлуатації перебували станції загальною встановленою потужністю близько 120 МВт [7]. Проекти нових станцій повинні передбачати максимально можливе збереження природного середовища річки, відповідати сучасному світовому рівню та Цілям сталого розвитку України, представленим в Національній доповіді КМ України від 15 вересня 2017 року, зокрема «забезпечення наявності та раціонального використання водних ресурсів і санітарії для всіх» та «забезпечення доступу всіх людей до прийнятних за ціною, надійних, сталих і сучасних джерел енергії» [8]. Значення номінальної потужності, структура побудови та раціональні режими роботи гідроагрегатів мають забезпечувати досягнення найбільшої енергетичної ефективності функціонування станції протягом року з урахуванням природоохоронних обмежень на використання стоку води річки для виробництва електроенергії з метою збереження біологічних, геоморфологічних та гідрохімічних процесів у руслі й долині, згідно з природоохоронними положеннями міжнародного документа «Керівні принципи розвитку гідроенергетики», затвердженого 18–19 червня 2013 року в м. Сараєво (Боснія і Герцеговина) на зустрічі високого рівня Міжнародної комісії з захисту річки Дунай [9]. Експлуатаційні режими функціонування малих ГЕС повинні забезпечувати природний стік води річки, безперешкодну міграцію риб та характеризуватись високими енергетичними показниками за різних гідрологічних умов у місцях спорудження.

Способи досягнення максимальної енергетичної ефективності низьконапірних малих ГЕС з урахуванням природоохоронних обмежень на використання води в межах та повільного, повільного забезпечення санітарного попуску води й безперервного функціонування рибоходів розглядались у доповідях [10–13]. Аналізувались експлуатаційні режими ГЕС, які працюють по природному водотоку річки. Урахування природоохоронних обмежень на використання стоку води річки для виробництва електроенергії ґрунтувалось на застосуванні функції ймовірного розподілу витрат води впродовж року, що було започатковано авторами в попередніх дослідженнях [14, 15] і надало можливості для визначення надходження води до створу станції за рівнем ймовірності забезпеченості. Досліджувались навантажувальні режими роботи гідроагрегатів малих ГЕС

при змінних витратах та напорах води на основі застосування двовимірних сплайнів універсальної характеристики гідротурбін при одночасній зміні двох параметрів керування. Використовувались функціональні залежності витрат води гідротурбіни від частоти обертання та положення лопатей гідроагрегату, отримані за результатами експериментальних досліджень фізичної моделі турбіни на спеціальних випробувальних стендах. Встановлено шляхом розрахункового експерименту, що при номінальній частоті обертання пропелерна гідротурбіна може розвивати потужність у діапазоні зміни витрат води (1,0–0,65) номінального значення, а застосування змінного оптимального значення частоти обертання (відповідно до максимуму ККД) суттєво розширює діапазон можливої зміни витрат води від 1,0 до 0,35 номінального значення. Радіально-осьова гідротурбіна може розвивати потужність в діапазоні зміни витрат води (1,0–0,22) номінального значення. Отримані властивості засвідчили перспективність застосування низьконапірних радіально-осьових турбін у складі малих ГЕС за наявності природоохоронних обмежень на використання витрат води стоку річки для виробництва електроенергії.

Запропоновано застосування питомих величин потужності та обсягу виробництва електроенергії (гідроагрегата і станції відповідно) на одиницю витрат води та напору для проведення порівняльного аналізу енергетичних показників станцій з різними гідрологічними параметрами за наявності природоохоронних обмежень на використання води малою ГЕС. Зазначені питомі величини не залежать від напору та фактичних витрат створу, а визначаються їх ймовірнісним розподілом та кількістю агрегатів у складі станції. При виконанні розрахунків у міжнародній системі одиниць вимірювання їхні кількісні значення дорівнюють потужності та обсягу виробництва електроенергії гідроагрегатами та станцією при напорі 1 м та витратами води у створі річки також 1 м³/с.

На конференції в доповідях [16–20] було висвітлено сучасний стан та перспективи подальшого розвитку малої гідроенергетики в Республіці Узбекистан. Автори аналізували можливості застосування різних типів гідротурбін у місцевих гідрологічних умовах. Розглядались конструктивні схеми великонапірних та низьконапірних турбін малої потужності.

Висновок. Основний результат дискусій на секції гідроенергетики можна сформулювати так: подальший етап розвитку гідроенергетики потребує реалізації організаційних та технологічних заходів з мінімізації впливу ГЕС на довкілля та мінімізації екологічних ризиків.

ПОСИЛАННЯ

1. Відновлювана енергетика та енергоефективність у XXI столітті: Матеріали XXIV міжнародної науково-практичної конференції (Київ, 18–19 травня 2023 р.). К.: Інститут відновлюваної енергетики НАН України. 2023. 516 с. (С. 320–321). <https://doi.org/10.36296/renewable.conf.18-19.05.2023>

2. Стефанишин Д. В. Про деякі виклики будівництва каскаду верхньодністровських гідроелектростанцій. С. 514–515¹.
3. Зайцев Є. О., Левицький А. С., Березниченко В. О., Закусило С. А. Ємнісні вимірювачі параметрів биття валів для контролю технічного стану гідроагрегатів. С. 313–314¹.
4. Левицький А. С., Зайцев Є. О., Рассовский В. Л., Березниченко В. О. Ємнісний сенсор повітряного зазору в гідрогенераторі, стійкий до впливу магнітного поля машини. С. 328–329¹.
5. Васько П. Ф., Мороз А. В., Бриль А. О., Ібрагімова М. Р. Екологічні аспекти розвитку гідроенергетики в Україні. Відновлювана енергетика. 2018. № 2. С. 57–69.
6. Бриль А. О., Васько П. Ф., Мороз А. В. Технічний потенціал гідроенергетичних ресурсів малих річок України з урахуванням природоохоронних обмежень. Гідроенергетика України. 2019. № 3-4. С. 47–51. URL: <https://uhe.gov.ua/sites/default/files/2019-12/13.pdf>. (дата звернення – 17.06.2023).
7. Шафаренко Ю. Net Energy Metering – нові можливості для відновлюваної енергетики. Матеріали конференції ім. Адама Сміта. 16 липня 2021. Київ. URL: https://saee.gov.ua/sites/default/files/blocks/Net_Metering_Adam_Smith_Shafarenko_16.07.2021_0.pdf. [Дата звернення – 17.06.2023].
8. Національна доповідь. Цілі сталого розвитку: Україна. Київ: Міністерство економічного розвитку та торгівлі України. 2017. 176 с.
9. Guiding Principles. Sustainable Hydropower Development in the Danube Basin. International Commission for the Protection of the Danube River. 2013. <http://www.icpdr.org/main/activities-projects/hydropower> (дата звернення – 17.06.2023).
10. Бриль А. О. Потужність низьконапірних гідротурбін пропелерного та радіально-осьового типу при змінних витратах води. С. 318–319¹.
11. Васько П. Ф. Питомі показники потужності та обсягу виробництва електроенергії малих гідроелектростанцій. С. 315–317¹.
12. Кромплас Б. А., Васько П. Ф. Експертна оцінка енергетичних показників малої гідроелектростанції за регулювання потужності по водотоку. С. 320–321¹.
13. Пазич С. Т., Васько П. Ф. Вплив витрат води рибиходу на проектні значення потужності та обсягу виробництва електроенергії малої гідроелектростанції. С. 322–323¹.
14. Васько П. Ф., Бриль А. О., Мороз А. В., Озорин Д. Ф. Расчёт теоретического значения гидроэнергетического потенциала малых рек с учётом обеспеченности стока воды. Альтернативная энергетика и экология (ISJAE). 2012. № 7. С. 126–132.
15. Васько П. Ф., Ибрагимова М. Р. Энергетическая эффективность малой гидроэлектростанции при экологических ограничениях на использование стока воды реки для производства электроэнергии. Альтернативная энергетика и экология (ISJAE). 2017. № 04–06. С. 103–115.
16. Begmatova M. The Role and Relevance of Water Wheels of low Pressure micro-hydroelectric Power Plants in Renewable Energy in Uzbekistan. С. 340–341¹.
17. Uzbekov M., Begmatov E. Geometric Shape and Characteristics of the Nozzle of a Jet-Jet Turbine. С. 330–332¹.
18. Saydullaeva S., Kiriigitov B. Application of active water Wheel. С. 324–325¹.
19. Aliyev R., Bozarov O. Application of anti-rotor Technology in low Pressure Water. С. 326–327¹.
20. Bozarov O., Kuchkarov A., Egamberdiyev X. Micro-hydroelectric Power Plants working on low Pressure Water Sources are reactive micro-hydroelectric Hydro-turbines. С. 312).

REFERENCE

1. Vidnovliuvana enerhetyka ta enerhoefektyvnist u XXI stolitti: Materialy XXIV mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii (Kyiv, 18–19 travnia 2023 r.). K.: Instytut vidnovliuvanoi enerhetyky NAN Ukrainy. 2023. 516 s. (S. 320–321).
2. Stefanyshyn D. V. Pro deiaki vyklyky budivnytstva kaskadu verkhnodnistrovskykh hidroelektrostantsii. P. 514–515¹.
3. Zaitsev Ye. O., Levytskyi A. S., Berznychenko V. O., Zakusylo S. A. Yemnisni vymiruvachi parametriv byttia valiv dlia kontroliu tekhnichnoho stanu hidroahrehativ. P. 313–314¹.
4. Levytskyi A. S., Zaitsev Ye. O., Rassovskyi V. L., Berznychenko V. O. Yemnisnyi sensor povitrianoho zazoru v hidroheneratori, stiiki do vplyvu mahnitnoho polia mashyny. P. 328–329¹.
5. Vasko P. F., Moroz A. V., Bryl A. O., Ibrahimova M.R. Ekolohichni aspekty rozvytku hidroenerhetyky v Ukraini. Vidnovliuvana enerhetyka. 2018. № 2. S. 57–69.
6. Bryl A. O., Vasko P. F., Moroz A. V. Tekhnichniy potensial hidroenerhetychnykh resursiv malykh richok Ukrainy z urakhuvanniam pryrodookhoronnykh obmezen. Hidroenerhetyka Ukrainy. 2019. № 3-4. S. 47–51. URL: <https://uhe.gov.ua/sites/default/files/2019-12/13.pdf>. (data zvernennia – 17.06.2023).
7. Shafarenko Yu. Net Energy Metering – novi mozhlyvosti dlia vidnovliuvanoi enerhetyky. Materialy konferentsii im. Adama Smita. 16 lypnia 2021. Kyiv. URL:

¹ Відновлювана енергетика та енергоефективність у XXI столітті: Матеріали XXIV міжнародної науково-практичної конференції (Київ, 18–19 травня 2023 р.). К.: Інститут відновлюваної енергетики НАН України. 2023. 520 с.

За посиланням: https://www.ive.org.ua/wp-content/uploads/Tezy_Conferencii_2023_13_06.pdf.

DOI: <https://doi.org/10.36296/renewable.conf.18-19.05.2023>.

¹ Vidnovliuvana enerhetyka ta enerhoefektyvnist u XXI stolitti: Materialy XXIV mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii (Kyiv, 18–19 travnia 2023 r.). K.: Instytut vidnovliuvanoi enerhetyky NAN Ukrainy. 2023. 516 p.

By link: https://www.ive.org.ua/wp-content/uploads/Tezy_Conferencii_2023_13_06.pdf.

DOI: <https://doi.org/10.36296/renewable.conf.18-19.05.2023>.

- https://saee.gov.ua/sites/default/files/blocks/Net_Metering_Adam_Smith_Shafarenko_16.07.2021_0.pdf. [Data zvernennia – 17.06.2023].
8. Natsionalna dopovid. Tsili staloho rozvytku: Ukraina. Kyiv: Ministerstvo ekonomichnoho rozvytku ta torhivli Ukrainy. 2017. 176 s.
 9. Guiding Principles. Sustainable Hydropower Development in the Danube Basin. International Commission for the Protection of the Danube River. 2013. <http://www.icpdr.org/main/activities-projects/hydropower> (дата звернення – 17.06.2023).
 10. Bryl A. O. Potuzhnist nyzkonapirnykh hidroturbin propelernoho ta radialno-osvoho typu pry zminnykh vytratakh vody. P. 318–319¹.
 11. Vasko P. Pytomi pokaznyky potuzhnosti ta obsiahu vyrobnytstva elektroenerhii malykh hidroelektrostantsii. P. 315–317¹.
 12. Kromplias B. A., Vasko P. F. Ekspertna otsinka enerhetychnykh pokaznykiv maloi hidroelektrostantsii za rehuliuвання potuzhnosti po vodotoku. P. 320–321¹.
 13. Pazych S. T., Vasko P. F. Vplyv vytrat vody rybokhodu na proektni znachennia potuzhnosti ta obsiahu vyrobnytstva elektroenerhii maloi hidroelektrostantsii. P. 322–323¹.
 14. Vasko P. F., Bryl A. O., Moroz A. V., Ozoryn D. F. Raschët teoreticheskoho znacheniia hydroenerheticheskoho potentsyala malikh rek s uchëtom obespechennosti stoka vodi. Alternatyvnaia enerhetyka i ekolohyia (IS-JAEE). 2012. № 7. S. 126–132.
 15. Vasko P. F., Ybrahymova M. R. Enerheticheskaia effektivnost maloi hidroelektrostantsyï pry ekolohicheskyykh ohranycheniyakh na yspolzovanye stoka vodi reky dlia proyzvodstva elektroenerhyi. Alternatyvnaia enerhetyka i ekolohyia (ISJAEE). 2017. № 04–06. S. 103–115.
 16. Begmatova M. The Role and Relevance of Water Wheels of low Pressure micro-hydroelectric Power Plants in Renewable Energy in Uzbekistan. P. 340–341¹.
 17. Uzbekov M., Begmatov E. Geometric Shape and Characteristics of the Nozzle of a Jet-Jet Turbine. P. 330–332¹.
 18. Saydullaeva S., Kiriigitov B. Application of active water Wheel. P. 324–325¹.
 19. Aliyev R., Bozarov O. Application of anti-rotor Technology in low Pressure Water. C. 326–327¹.
 20. Bozarov O., Kuchkarov A., Egamberdiyev X. Micro-hydroelectric Power Plants working on low Pressure Water Sources are reactive micro-hydroelectric Hydro-turbines. P. 312¹.