

<https://doi.org/10.31891/2307-5732-2026-367-8>

УДК 621.224-225.12; 621.311.2.21

КОВАЛЬ ВАДИМ

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

<https://orcid.org/0000-0002-7427-6507>

e-mail: koval_vadym@tntu.edu.ua

КОЛОДІЙЧУК ЛЮБОМИР

Відокремлений підрозділ Національного університету біоресурсів та природокористування України

«Бережанський агротехнічний інститут»

<https://orcid.org/0000-0003-1172-8972>

e-mail: kollub@ukr.net

ЗІНЬ ПАВЛО

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

<https://orcid.org/0009-0000-5415-9111>

e-mail: ooswac@gmail.com

СТВОРЕННЯ ДІЮЧОГО МАКЕТУ ГЕС ДЛЯ ВИПРОБУВАННЯ ГІДРОЕНЕРГЕТИЧНОГО ОБЛАДНАННЯ НА СТАДІЇ ПРОЄКТУВАННЯ

У роботі спроектовано діючий макет малої гідроелектростанції і виконано розрахунок його елементів та технічних характеристик на основі принципу геометричної подібності. Сформульовано основні завдання і методику експериментальних досліджень на базі цього макету.

Ключові слова: випробування, підвищення ефективності, технологія гідротурбобудування, діючий макет, розрахунок.

KOVAL VADYM

Ternopil Ivan Puluj National Technical University

KOLODIYCHUK LUBOMYR

Separate Division of the National University of Life Resources and Environmental Sciences of Ukraine

«Berezhany Agricultural Technical Institute»

ZIN PAVLO

Ternopil Ivan Puluj National Technical University

CREATION OF A WORKING MODEL OF A HYDROPOWER PLANT FOR TESTING HYDROPOWER EQUIPMENT AT THE DESIGN STAGE

The work designs a working model of a small hydroelectric power station and calculates the technical characteristics of the hydroturbine and the hydroelectric power station as a whole. The electric power of the model of the station is 15 W, the water pressure is 0.7 m. The model consists of two cubic plastic tanks with a capacity of 0.04 m³ each, which are located one above the other. The distance between the tanks is 0.35 m. Water from the upper tank is supplied to the hydroturbine using a plastic pipeline with a diameter of 50 mm. This pipeline is laid in the form of a siphon, that is, one of its sections is located above the upper tank. Filling the siphon with water is manual, using three ball valves located on the pipeline (one is on top, the other two are on different branches of the water supply, but below the water level in the upper tank). The hydraulic unit is located between the two tanks, the axis of the hydroturbine is vertically arranged. The hydroturbine is a tubular propeller type, the impeller diameter is 41.8 mm, the number of blades on the impeller is 4. In the hydroturbine, the water flow makes a 90° turn. A suction pipe is used to drain water from the hydroturbine to the lower reservoir. A centrifugal circulation pump with an electric drive pumps water from the lower reservoir to the upper one. The calculation of the parameters and technical characteristics of the hydroturbine of the HPP model was performed based on the principle of geometric similarity. The T90 hydroturbine manufactured by «Minihydro» LLC (Kharkiv) was taken as the "standard". The calculation results are as follows: water flow rate – 0.003 m³/s, shaft rotation speed – 3119 rpm, mechanical power – 23 W. The state of readiness of the operating HPP model is 90%. In case of full readiness (100%), it will be used to perform experiments. The purpose of the experiments is to verify technical solutions and theoretical developments aimed at increasing the energy efficiency of tubular propeller hydroturbines. We are striving to improve the turbine impeller and the parts of the turbine housing close to it. We believe that this will result in the efficiency of turbines with impellers of even small diameters (from 250 mm to 1200 mm) being at least 90%.

Keywords: testing, efficiency improvement, hydroturbine technology, working model, calculation.

Стаття надійшла до редакції / Received 11.02.2026

Прийнята до друку / Accepted 17.07.2026

Опубліковано / Published 31.07.2026



This is an Open Access article distributed under the terms of the [Creative Commons CC-BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

© Коваль Вадим, Колодійчук Любомир, Зінь Павло

Постановка проблеми у загальному вигляді

та її зв'язок з важливими науковими чи практичними завданнями

На сьогоднішній день відновлювана енергетика (ВЕ) розвивається дуже швидкими темпами, забезпечуючи при цьому заміщення енергогенерувальних потужностей, що працюють на викопних видах палива і забруднюють довкілля викидами шкідливих для нашої планети парникових газів. Однією з галузей ВЕ є гідроенергетика, яку поділяють на велику і малу. Згідно з діючою в Україні класифікацією до малої гідроенергетики відносять електростанції потужності до 10 МВт включно. Розвиток малої гідроенергетики у нашій країні користується всебічною підтримкою – зокрема, виробники електроенергії за допомогою малих ГЕС можуть продавати всю генеровану енергію за пільговим «зеленим» тарифом. ГЕС потужності більше 10 МВт відносять до великої гідроенергетики.

МікроГЕС – це малі гідроелектростанції потужності до 200 кВт включно. В Україні успішно функціонує

досить велика їх кількість – декілька сотень, а процес проектування і спорудження нових енергетичних об'єктів зазначеного типу триває. При цьому з урахуванням того, що рельєф України є переважно рівнинним, діючі та перспективні мікроГЕС України майже всі є низьконапірними – з напорами до 10 метрів. Дуже поширений їх недолік – низькі ККД гідротурбін (65 – 75 %), внаслідок чого має місце недовиробництво ними значних обсягів електроенергії й відповідні економічні втрати. Особливо це стосується сучасних трубних пропелерних гідротурбін. Подальше підвищення енергетичної ефективності гідротурбін низьконапірних мікроГЕС можливе у випадку удосконалення лопатевого апарату їх робочих коліс і розроблення більш раціональних конструкцій їх протічних трактів.

Аналіз досліджень та публікацій

У роботі [1] наведено результати модернізації лабораторної установки для дослідження гвинтових турбін шнекового типу, які застосовуються у малій гідроенергетиці. Розроблено направляючу систему потоку, впроваджено SCADA-контроль, блок регульованого генератора навантажень і двоканальну систему вимірювання основних параметрів. Нововведення дозволили підвищити стабільність гідравлічного режиму на 20 % і знизити сумарну похибку вимірювань до 3 %. Про можливість застосування цієї лабораторної установки для випробування трубних пропелерних гідротурбін у роботі не зазначено.

У статті [2] проведено дослідження проблем спорудження в Україні нових і експлуатації діючих мережових низьконапірних малих ГЕС потужності до 100 кВт на базі осьових пропелерних турбін. Велика увага приділяється екологічним питанням, а саме стабільності водотоку на виході ГЕС і його максимальній відповідності водотоку на вході до електростанції. Питання енергоефективності трубних пропелерних гідротурбін не розглядалися.

У праці [3] розроблено матрицю трубних гвинтових гідротурбін із жорстко закріпленими робочими та напрямними лопатями, які застосовуються переважно для малих ГЕС. Робота має науково-практичну цінність з огляду полегшення підбору типорозмірів основного обладнання для гідроелектростанцій цього типу, а також спрямована на мінімізацію негативного впливу ГЕС на річкову флору та фауну в нижньому басейні. У зазначеному дослідженні питання мінімізації об'ємних втрат у гідротурбінах не вивчалися.

У роботі [4] підкреслюється вичерпність традиційних енергоресурсів (згідно з офіційними даними, кам'яного вугілля вистарчить на 150 років, нафти – на 50 років, природного газу – на 49 років), інтенсивність приросту населення на Землі (чисельність населення планети вже перевищує 8 млрд. осіб) та забруднення навколишнього середовища (насамперед викидами енергетичних об'єктів й установок) і як наслідок цих та інших чинників неминучість повного і відносно швидкого (протягом декількох наступних десятиліть) переходу до використання відновлюваних джерел енергії замість традиційних паливно-енергетичних ресурсів викопного походження. Зазначено, що одним з перспективних відновлюваних джерел енергії є гідроенергія малих річок. Однак більш детальних розробок у сфері малої гідроенергетики у цій роботі не наведено.

У статті [5] розглядаються питання моделювання електротехнічних установок з використанням програмного забезпечення Cisco Packet Tracer та інших смарт-технологій. Настали важкі та тривожні часи випробувань. В Україні (і не тільки) діє військовий стан і тривають невпинні атаки на об'єкти енергетики. За таких умов для енергозабезпечення аграрного бізнесу доцільно застосовувати енергетичні об'єкти на базі відновлюваних джерел енергії, зокрема малі ГЕС. Застосування сучасних смарт-технологій є перспективним і на об'єктах малої гідроенергетики, проте у цьому дослідженні зазначене питання не розроблялося.

У праці [6] обґрунтовано те, що на сьогоднішній день мала гідроенергетика України є високоприбутковим, високорентабельним і швидкоокупним приватним малим бізнесом з великими можливостями та перспективами. Але є певні умови: потрібно правильно спроектувати малу ГЕС, правильно підібрати гідроенергетичне та інше обладнання. Дослідження гідротурбін і їх енергетична ефективність не розглядалися.

У роботі [7] мова йде про інтенсифікацію розвитку малої гідроенергетики. Незважаючи на здобутки, темпи переходу на відновлювану енергетику явно недостатні і тому громадянське суспільство бажає більшого. Ми хочемо бачити (на різних рівнях: держави, громад тощо) чіткі плани цього переходу і результати їх виконання (так само чіткі, можна навіть дострокові). Як це зробити, у зазначеній праці частково вирішено. Наприклад, існують потенційні місця для спорудження малих ГЕС, їх потрібно зібрати до одного «енергетичного хабу». Для кожного такого потенційного місця під ГЕС автори пропонують розробити базу даних, що буде складатися з п'яти інформаційних блоків – залежно від кількості представленої інформації: стисла інформація про об'єкт; розширена інформація про об'єкт; передпроектна пропозиція; ескізний проект; робочий проект. Однак у цьому дослідженні енергоефективність гідротурбін для малих ГЕС не вивчається.

У статті [8] автори відзначають організаційні, технічні, правові та фінансові проблеми відновлення та будівництва малих ГЕС в Україні. Тобто вони не торкаються технічних питань. Але на сьогоднішньому етапі розвитку важливими є всі питання. Якщо ж говорити сучасною мовою, то енергоефективність – це тренд нашої епохи. У цій роботі технічні засоби підвищення енергоефективності гідротурбін малих ГЕС не бралися до уваги.

У праці [9] автор висвітлює досвід ТОВ «Мінігідро» (м. Харків) з проектування гідротурбін для малих ГЕС. Гідротурбінне обладнання, яке виробляє це підприємство, широко застосовується в Україні та за кордоном. Однак автор не зазначив, чи ведуться на підприємстві розробки, що спрямовані на підвищення енергоефективності турбін. Тому що такі розробки повинні проводитися завжди: досконалість, як відомо не має меж. ККД гідротурбін ТОВ «Мінігідро» становить у середньому 90 % – високий показник, але якщо його ще

хочуть підвищити і щось реально роблять у цьому напрямку, то це б тільки сприяло успіху зазначеного підприємства (на ринку і загалом).

У роботі [10] виконано порівняння екологічних наслідків роботи 27 малих ГЕС з аналогічними наслідками роботи 3 великих ГЕС у Норвегії (загальна потужність обох зазначених груп ГЕС – приблизно однакова). Екологія має дуже велике значення, ми це розуміємо. Якщо енергетика – то тільки відновлювана. Якщо який небудь об'єкт (що генерує, перетворює, транспортує чи споживає енергію) – тільки енергетично ефективний (тут завжди є над чим працювати) і екологічно чистий. Автори статті дійшли висновку, що деяка кількість малих ГЕС з огляду екології наносить меншу шкоду довкіллю, ніж одна велика ГЕС аналогічної потужності. Якщо ж розглядати питання в цілому, то екологи дозволяють споруджувати ГЕС лише на стічних каналах промислових підприємств. Ми розуміємо, що тут потрібно знаходити якусь «золоту середину». Що ж стосується питання енергоефективності гідротурбін, автори зазначеної праці його не розглядали.

У статті [11] автори зазначають, що вирішення проблем енергоефективності низьконапірної гідроенергетики з генерувальними об'єктами потужності до 100 кВт дозволить суттєво підвищити рівень енергетичної безпеки України під час військового стану і пов'язаних з ним регулярних ворожих бомбових атак на об'єкти енергетичної інфраструктури. У праці [12] відзначається значний технічно-досяжний потенціал України щодо вироблення енергоносіїв з відновлюваних джерел енергії та альтернативних видів палива, який становить понад 98,0 млн. т у. п. на рік (797,818 млрд кВт·год/рік). З них 3,0 млн. т у. п. (24,423 млрд кВт·год/рік) припадає на малу гідроенергетику (МГЕ). Тобто на МГЕ припадає відносно небагато – трохи більше 3 %, але якщо брати до уваги можливу кількість генерованої енергії малими ГЕС – це дуже пристойна величина (яка ще не є остаточною межею). У роботі [13] розглядається поточний розвиток відновлюваної енергетики і малої гідроенергетики в тому числі (зокрема, у Тернопільській області). Йдеться саме про одну з найновіших мікроГЕС (на річці Іква між селами Куликів і Савчинці (Кременецький р-н)) та проблеми її функціонування. Проте у працях [11 – 13] питанням енергоефективності гідротурбін малих ГЕС детальна увага не приділяється.

Аналіз цих та багатьох інших досліджень і публікацій за темою статті показав, що енергетична ефективність гідравлічних турбін малих ГЕС (особливо низьконапірних потужності до 100 кВт) дуже часто є невиправдано низькою і тому зазначене питання вимагає подальшого вивчення і вирішення як на теоретичному, так і на експериментальному рівнях.

Формулювання цілей статті

Метою роботи є проектування та розрахунок діючого макету мікроГЕС з можливістю подальшого його виготовлення і наступного використання у якості експериментальної установки для дослідження різних типів гідротурбін з різними конструкціями лопаткового апарату та протічного тракту робочого колеса і виявлення у результаті тестувань найбільш раціональних варіантів виконання, які забезпечують найвищі коефіцієнти корисної дії гідроагрегатів.

Виклад основного матеріалу

Діючий макет мікроГЕС потужності 15 Вт (рис. 1, а, б) складається з металевої рами 1 висотою 1207 мм, верхнього 2 і нижнього 3 кубоподібних резервуарів з органічного скла (довжина сторони куба – 350 мм), гідроагрегату у складі гідротурбіни 4, мультиплікатора (зубчастої передачі) 5 й електрогенератора 6, вхідного і вихідного трактів, а також турбінного водогону з запірною й іншою арматурою. Гідротурбіна 4 складається з робочого колеса 18, напрямного апарату 17, валу 16, сальникового ущільнювального вузла 15 і підшипникового вузла 14. Вхідний тракт виконаний у вигляді конусоподібного водозабірної конфузора 7. Турбінний водогін побудований на базі прозорих поліпропіленових трубок 8 різної довжини (зовнішній діаметр – 50 мм, товщина стінки – 4 мм) та запірної й іншої арматури (кулькових кранів 9, трійника перехідного 10, відводів 90° («колін») 11). Верхня частина турбінного водогону виконана у вигляді сифону. Для наповнення сифонної частини трубопроводу водою передбачено кульковий кран 12. На виході гідротурбіни встановлено відсмоктувальну трубу 13, нижня частина якої занурена у воду нижнього резервуару 3 на глибину приблизно 150 мм. Для з'єднання гідротурбіни з відсмоктувальною трубою використано муфту 19.

Принцип роботи макету мікроГЕС наступний. Насамперед відкриваємо обидва крани 9 і кран 12. Після цього у резервуари 2 і 3 наливаємо по 20 л води (приблизно половину від їхнього об'єму). За рахунок цього у зазначених резервуарах сформується перепад рівнів води $H_2=0,7$ м. Потім закриваємо крани 9, відкриваємо кран 12 і наповнюємо верхню ділянку трубопроводу (сифон) водою. Після максимального заповнення сифону кран 12 потрібно закрити. Далі відкриваємо крани 9 (спочатку той, який знаходиться усередині резервуару 2, а потім другий (повільно)), внаслідок чого вода розпочне перетікання з верхнього резервуару до нижнього і приведе у дію гідроагрегат. Для підтримки стабільних рівнів води в обох резервуарах використовується відцентрова помпа з електроприводом, яка перекачує воду (у необхідній кількості за одиницю часу) з нижнього резервуару до верхнього (на рис. 1 не показано).

У макеті використовується чотирилопатова трубна пропелерна гідротурбіна. Вал 16 гідротурбіни (рис. 1, б) має вертикальне розташування. Корпус гідротурбіни виконаний з прозорої поліпропіленової трубки (зовнішній діаметр – 50 мм, товщина стінки – 4 мм), яка за допомогою клейового з'єднання сполучена з відводом 90° («коліном») аналогічного діаметру (матеріал – поліпропілен сірого кольору). Між лопатками робочого колеса і внутрішньою поверхнею корпусу гідротурбіни має місце проміжок 0,1 мм. Відтак діаметр робочого колеса гідротурбіни становить 41,8 мм. Надалі гідротурбіну макету мікроГЕС будемо позначати маркуванням Т4.

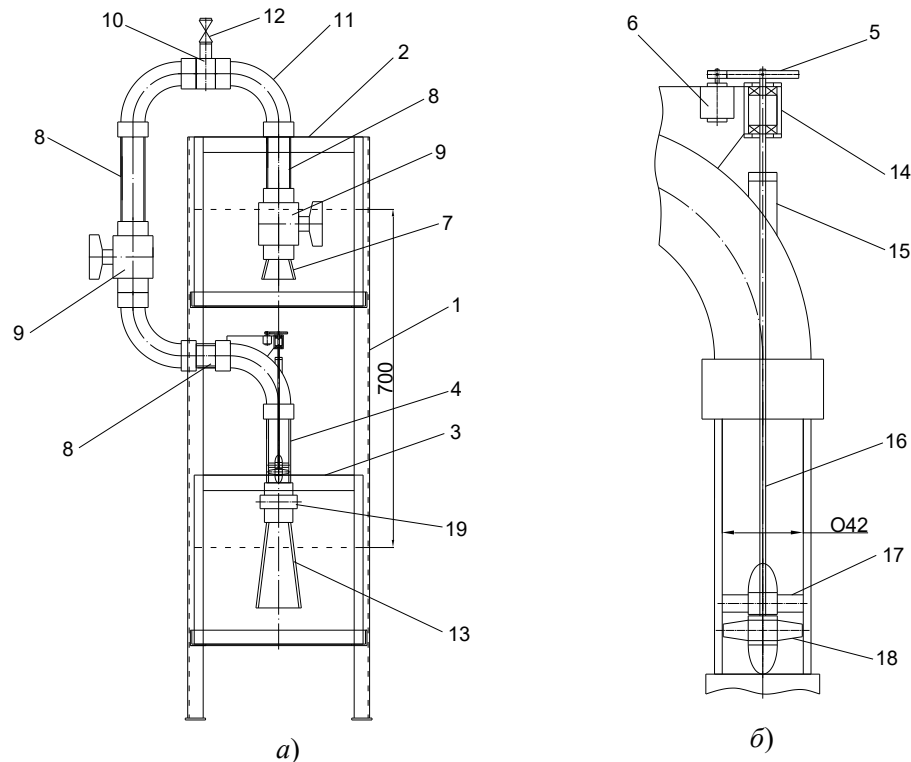


Рис. 1. Схема дослідної установки (діючого макету) мікроГЕС потужності 15 Вт: а) – загальний вигляд; б) – схема гідроагрегату

Використання сифонного трубопроводу для підведення води до турбіни не є випадковим. На практиці сифон дозволяє використовувати спрощені схеми монтажу обладнання малих ГЕС у місцях, де вже наявні перепади рівнів води. У нашому випадку конструкція верхнього басейну (резервуару 2) не зазнає жодного механічного впливу (наприклад, у ньому не потрібно виконувати отвір для прокладання труби) завдяки наявності у турбінному водогоні ділянки у вигляді сифонну.

Розрахунок макету мікроГЕС виконуємо за допомогою методу геометричної подібності. У якості «еталону» використовуємо чотирьохлопатеву геометрично подібну гідротурбіну Т90 виробництва ТОВ «Мінігідро» (м. Харків) (випуску 2014 року), яку встановлено на Бережанській мікроГЕС (річка Золота Липа, м. Бережани, Тернопільська обл.).

У табл. 1 наведено параметри «еталонної» гідротурбіни Т90 (вони позначені нижніми індексами «1») і геометрично подібної до неї гідротурбіни Т4 макету мікроГЕС (параметри цієї турбіни позначені нижніми індексами «2»). Інші умовні позначення розшифровуються так:

D – діаметр робочого колеса гідротурбіни, м;

H – напір нетто, м;

Q – витрата води гідротурбіною, м³/с;

N – механічна потужність на валу гідротурбіни, кВт;

n – робоча частота обертання валу гідротурбіни, об/хв;

η_t – ККД гідротурбіни, %;

z – кількість лопатей на робочому колесі гідротурбіни, шт.

Таблиця 1

Параметри геометрично подібних трубних пропелерних гідротурбін Т90 («еталон») і Т4 («копії», яка встановлена у діючому макеті мікроГЕС)

Параметри геометрично подібної гідротурбіни Т90, яку прийнято у якості «еталону»								
№ з/п	Марка гідротурбіни	D_1 , м	H_1 , м	Q_1 , м ³ /с	N_1 , кВт	n_1 , об/хв	η_{t1} , %	z_1 , шт.
1	Т90	0,9	3,7	3,24	108	333–375*	91,8	4
Параметри геометрично подібної гідротурбіни Т4 діючого макету мікроГЕС, яку прийнято у якості «копії»								
		D_2 , м (мм)	H_2 , м	Q_2 , м ³ /с (л/с)	N_2 , кВт (Вт)	n_2 , об/хв	η_{t2} , %	z_2 , шт.
2	Т4	0,0418 (41,8)	0,7	0,003099 (3,099)	0,023 (23)	3119–3512*	91,8	4

Примітка: *З наведених діапазонів швидкостей обертання (з міркувань забезпечення максимальних потужності й енергоефективності гідротурбін у реальних умовах експлуатації ГЕС) краще обирати найменші або близькі до них числа (згідно з інформацією, яку надали підприємства, що мають значний досвід використання зазначеного типу гідротурбін)

Розрахуємо параметри гідротурбіни Т4 макету мікроГЕС. У загальному випадку аналітичні залежності параметрів геометрично подібних гідротурбін мають наступний вигляд:

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{D_2^2}{D_1^2} \cdot \frac{\sqrt{H_2}}{\sqrt{H_1}}; \quad (1)$$

$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{D_2}{D_1} \cdot \frac{\sqrt{H_1}}{\sqrt{H_2}}; \quad (2)$$

$$\frac{N_2}{N_1} = \frac{D_2^2}{D_1^2} \cdot \frac{H_2^{1,5}}{H_1^{1,5}}. \quad (3)$$

Перетворимо формули (1), (2) і (3) до більш зручного вигляду для знаходження параметрів Q_2 , n_2 і N_2 :

$$Q_2 = Q_1 \cdot \frac{D_2^2}{D_1^2} \cdot \frac{\sqrt{H_2}}{\sqrt{H_1}}; \quad (4)$$

$$n_2 = n_1 \cdot \frac{D_1}{D_2} \cdot \frac{\sqrt{H_2}}{\sqrt{H_1}}; \quad (5)$$

$$N_2 = N_1 \cdot \frac{D_2^2}{D_1^2} \cdot \frac{H_2^{1,5}}{H_1^{1,5}}. \quad (6)$$

Використовуючи формули (4) – (6), розрахуємо витрату води Q_2 , робочу частоту обертання валу n_2 та механічну потужність N_2 на валу гідротурбіни Т4 діючого макету мікроГЕС:

$$Q_2 = Q_1 \cdot \frac{D_2^2}{D_1^2} \cdot \frac{\sqrt{H_2}}{\sqrt{H_1}} = 3,24 \cdot \frac{0,0418^2}{0,9^2} \cdot \frac{\sqrt{0,7}}{\sqrt{3,7}} \approx 0,003099 \text{ м}^3/\text{с} = 3,099 \text{ л/с}; \quad (7)$$

$$n_2 = n_1 \cdot \frac{D_1}{D_2} \cdot \frac{\sqrt{H_2}}{\sqrt{H_1}} = 333 \cdot \frac{0,9}{0,0418} \cdot \frac{\sqrt{0,7}}{\sqrt{3,7}} \approx 3119 \text{ об/хв}; \quad (8)$$

$$N_2 = N_1 \cdot \frac{D_2^2}{D_1^2} \cdot \frac{H_2^{1,5}}{H_1^{1,5}} = 108 \cdot \frac{0,0418^2}{0,9^2} \cdot \frac{0,7^{1,5}}{3,7^{1,5}} \approx 0,023 \text{ кВт} = 23 \text{ Вт}. \quad (9)$$

Результати розрахунків за формулами (7) – (9) заносимо у табл. 1.

Розрахуємо електричну потужність гідроагрегату діючого макету мікроГЕС:

$$N_e = H_2 \cdot Q_2 \cdot \rho \cdot g \cdot \eta_{т2} \cdot \eta_n \cdot \eta_r = 0,7 \cdot 0,003099 \cdot 1000 \cdot 9,81 \cdot 0,918 \cdot 0,9 \cdot 0,85 \approx 15 \text{ Вт}. \quad (10)$$

У формулі (10) прийняті такі умовні позначення (крім тих, які описані вище):

ρ – густина води, кг/м³;

g – прискорення вільного падіння, м/с²;

η_n – коефіцієнт корисної дії підвищувальної (мультиплікатора) чи знижувальної (редуктора) механічної передачі (зубчастої, клиноременевої, плоскоремевої тощо);

η_r – коефіцієнт корисної дії електрогенератора.

За наведеною на рис. 1 схемою триває виготовлення натурального взірця діючого макету мікроГЕС у металі (в часі написання цих рядків стан готовності макету рівний 90%). Макет стане базою для виконання експериментальних досліджень гідротурбіни, гідроагрегату та ГЕС в цілому, насамперед з огляду на наявність у її конструкції турбінного водогону у вигляді сифону.

Мета експериментальних досліджень – підтвердити чи спростувати достовірність теоретичних положень, розрахунків і конструкторських рішень, які спрямовані на підвищення енергоефективності малих ГЕС. Завдання експерименту: Перший етап: 1) виконати тестування декількох спроектованих робочих коліс гідротурбіни у лабораторних умовах на предмет енергетичної ефективності; 2) за результатами тестування вибрати робоче колесо, яке під час роботи у гідротурбіні забезпечує її максимальну енергоефективність; 3) одержані результати узагальнити на робоче колесо діючої гідротурбіни, тобто спроектувати та виготовити робоче колесо діаметру, наприклад, 500 мм, встановити його на гідротурбіні однієї з діючих мікроГЕС і провести експериментальні дослідження «модернізованої» гідротурбіни вже у виробничих, реальних умовах експлуатації; Другий етап: 1) Виконати тестування спроектованої конструкції протічного тракту робочого колеса гідротурбіни, яка забезпечує зменшення об'ємних втрат і підвищення ККД турбіни; 2) Порівняти результати тестувань гідротурбін з різними протічними трактами – спроектованим і звичайним, за результатами чого зробити висновки щодо енергоефективності спроектованої конструкції.

Висновки з дослідження

і перспективи подальших розвідок у цьому напрямку

З використанням методу геометричної подібності виконано розрахунок і спроектовано конструкцію діючого макету мікроГЕС. Електрична потужність макету станції – 15 Вт, напір води – 700 мм, витрата води – 0,003 м³/с. Гідротурбіна – трубна пропелерна вертикальноосьова, діаметр робочого колеса – 41,8 мм, кількість

лопатею на робочому колесі – 4. Сформульовано мету майбутніх експериментальних досліджень на базі цього макету – визначення найбільш раціональних параметрів протічного тракту гідротурбіни з огляду забезпечення максимально можливої енергетичної ефективності останньої. Спроектований макет мікроГЕС можна буде використовувати для експериментальних досліджень не одного, а різних типів гідротурбін з різними конструкціями лопатевого апарату та протічного тракту робочого колеса.

Перспективи подальших розвідок полягають у завершенні виготовлення спроектованого макету мікроГЕС (наразі рівень готовності – 90 %) та у виконанні низки експериментальних досліджень на його базі з метою підтвердження теоретичних напрацювань у цьому напрямку й у виборі на основі результатів тестувань найбільш раціональних (з огляду енергоефективності) параметрів протічного тракту робочого колеса гідротурбіни.

Література

1. Герба О. Удосконалення лабораторної установки для досліджень гвинтових турбін шнекового типу в малій гідроенергетиці // Моделювання, управління та інформаційні технології. МСІТ: Матеріали VIII Міжнародної науково-практичної конф., розділ «Енергетика та відновлювані джерела енергії», Національний університет водної техніки та екологічної інженерії (м. Рівне). – 2025. – №8. – С. 84–87.
2. Зінь М. Технічне й екологічне обґрунтування вибору типорозмірів гідротурбін для низьконапірних малих ГЕС // Енергетика: економіка, технології, екологія. – 2022. – № 4. – С. 94–101.
3. Zin M., Koval V., Tarasenko M., Sysak I. Creation and substantiation of the matrix for model series of tubular propeller turbines for small hydropower plants // Scientific Journal of TNTU. — Ternopil: TNTU, 2023. — Vol 109. — No 1. — P. 24–32.
4. Тарасенко М., Козак К., Лукман О., Зінь М. Аналіз ефективності використання типових та не типових вітроенергетичних установок // Вісник Хмельницького національного університету. – 2023. – №2 (319). – С. 391–400.
5. Колодійчук Л., Коваль В., Зінь М. Моделювання процесу підготовки фахівців з електричної інженерії за допомогою смарт-технологій // Науковий вісник Ужгородського університету. Серія: «Педагогіка. Соціальна робота». – 2025. – Том 1. – № 56. – С. 81–85.
6. Тарасенко М.Г., Зінь М.М., Підгайний Ю.Б. Переваги і проблеми кількісного розвитку малої гідроенергетики та шляхи їх розв'язання // Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. – 2014. – Вип. 2 (85). С. 31–40.
7. Тарасенко М.Г., Зінь М.М., Підгайний Ю.Б. Шляхи прискорення темпів розвитку малої гідроенергетики в Україні // Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. – 2014. Вип. 4 (87). – С. 56–61.
8. Дегтяренко О.Г., Шашков С.В. Доцільність та перспективи розвитку малої гідроенергетики в Україні // Вісник Сумського державного університету. Серія «Економіка». – 2010. – № 1. – С. 89–96.
9. Бумарсков С.А. Про досвід проектування гідротурбін для низьконапірних і високонапірних малих ГЕС // Вісник Національного університету водного господарства та природокористування (м. Рівне). – 2013. – Вип. 2 (62). – С. 309–313.
10. Bakken T.H., Sundt H., Ruud A., Harby A. Development of small versus large hydropower in Norway comparison of environmental impacts, Energy Procedia, 2012, No. 20, pp. 185 – 199.
11. Зінь П. Гідроенергетичний потенціал Тернопільської області // Матеріали Міжнародної науково-технічної конф. «Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій», присвяченої 180-річчю з дня народження Івана Пулюя та 65-річчю з дня заснування Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя (Тернопіль, 28–29 травня 2025 р.). – Тернопіль: ТНТУ, 2025. – С. 29, 30.
12. Коваль В., Зінь П. Підвищення енергоефективності низьконапірних мікроГЕС невеликої потужності з трубними осьовими гідротурбінами // Актуальні задачі сучасних технологій: збірник тез доповідей XIII Міжнародної науково-технічної конф. молодих учених та студентів (Тернопіль, 11–12 грудня 2024 р.). – Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2024. – С. 285, 286.
13. Коваль В., Стасів А., Зінь П. Актуальні аспекти розвитку відновлюваної енергетики // Матеріали XIV Міжнародної науково-технічної конф. молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій» (Тернопіль, 11–12 грудня 2025 р.). – Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2025. – С. 401–403.

References

1. Herba O. Udoskonalennia laboratornoi ustanovky dlia doslidzen hvyntovykh turbin shnekovoho typu v malii hidroenerhetytsi // Modeliuvannia, upravlinnia ta informatsiini tekhnolohii. MSIT: Materialy VIII Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konf., rozdil «Enerhetyka ta vidnovliuvani dzherela enerhii», Natsionalnyi universytet vodnoi tekhniki ta ekolohichnoi inzhenerii (m. Rivne). – 2025. – №8. – S. 84–87.
2. Zin M. Tekhnichne y ekolohichne obgruntuvannia vyboru typorozmiriv hidroturbin dlia nyzkonapirnykh malykh HES // Enerhetyka: ekonomika, tekhnolohii, ekolohiia. – 2022. – № 4. – S. 94–101.
3. Zin M., Koval V., Tarasenko M., Sysak I. Creation and substantiation of the matrix for model series of tubular propeller turbines for small hydropower plants // Scientific Journal of TNTU. — Ternopil: TNTU, 2023. — Vol 109. — No 1. — P. 24–32.
4. Tarasenko M., Kozak K., Lukman O., Zin M. Analiz efektyvnosti vykorystannia typovykh ta ne typovykh vitroenerhetychnykh ustanovok // Herald of Khmelnytskyi National University. Technical sciences. – 2023. – №2 (319). – S. 391–400.
5. Kolodiichuk L., Koval V., Zin M. Modeliuvannia protsesu pidhotovky fakhivtsiv z elektrychnoi inzhenerii za dopomohoiu smart-tekhnologii // Naukovyi visnyk Uzhhorodskoho universytetu. Serii: «Pedahohika. Sotsialna robota». – 2025. – Tom 1. – № 56. – S. 81–85.

6. Tarasenko M.H., Zin M.M., Pidhainyi Yu.B. Perevahy i problemy kilkisnoho rozvytku maloi hidroenerhetyky ta shliakhy yikh rozviazannia // Visnyk Kremenchutskoho natsionalnoho universytetu imeni Mykhaila Ostrohradskoho. – 2014. – Vyp. 2 (85). S. 31–40.
7. Tarasenko M.H., Zin M.M., Pidhainyi Yu.B. Shliakhy pryskorennia tempiv rozvytku maloi hidroenerhetyky v Ukraini // Visnyk Kremenchutskoho natsionalnoho universytetu imeni Mykhaila Ostrohradskoho. – 2014. Vyp. 4 (87). – S. 56–61.
8. Dehtiarenko O.H., Shashkov S.V. Dotsilnist ta perspektyvy rozvytku maloi hidroenerhetyky v Ukraini // Visnyk Sumskoho derzhavnoho universytetu. Seriia «Ekonomika». – 2010. – № 1. – S. 89–96.
9. Bumarikov S.A. Pro dosvid proiektuvannia hidroturbin dlia nyzkonapirnykh i vysokonapirnykh malykh HES // Visnyk Natsionalnoho universytetu vodnoho hospodarstva ta pryrodokorystuvannia (m. Rivne). – 2013. – Vyp. 2 (62). – S. 309–313.
10. Bakken T.H., Sundt H., Ruud A., Harby A. Development of small versus large hydropower in Norway comparison of environmental impacts, Energy Procedia, 2012, No. 20, pp. 185 – 199.
11. Zin P. Hidroenerhetychnyi potentsial Ternopilskoi oblasti // Materialy Mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi konf. «Fundamentalni ta prykladni problemy suchasnykh tekhnolohii», prysviachenoi 180-richchiu z dnia narodzhennia Ivana Puliua ta 65-richchiu z dnia zasnuvannia Ternopilskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu imeni Ivana Puliua (Ternopil, 28–29 travnia 2025 r.). – Ternopil: TNTU, 2025. – S. 29, 30.
12. Koval V., Zin P. Pidvyshchennia enerhoefektyvnosti nyzkonapirnykh mikroHES nevelykoi potuzhnosti z trubnymi osovymy hidroturbinamy // Aktualni zadachi suchasnykh tekhnolohii: zbirnyk tez dopovidei XIII Mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi konf. molodykh uchenykh ta studentiv (Ternopil, 11–12 hrudnia 2024 r.). – Ternopil: FOP Palianytsia V.A., 2024. – S. 285, 286.
13. Koval V., Stasiv A., Zin P. Aktualni aspekty rozvytku vidnovliuvanoi enerhetyky // Materialy XIV Mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi konf. molodykh uchenykh ta studentiv «Aktualni zadachi suchasnykh tekhnolohii» (Ternopil, 11–12 hrudnia 2025 r.). – Ternopil: FOP Palianytsia V.A., 2025. – S. 401–403.