



ГІДРОТЕХНІЧНЕ БУДІВНИЦТВО, ВОДНА ІНЖЕНЕРІЯ ТА ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 621.438

<https://doi.org/10.31713/vt420231>

Герба О. В., аспірант (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне, o.v.herba@nuwm.edu.ua)

ВИКОРИСТАННЯ ТУРБІН ЗІ СПІРАЛЕПОДІБНИМИ ЛОПАТЯМИ

На основі аналізу конструкцій відомих турбін, реалізовано рішення в трьох модифікаціях турбін зі спіралеподібними лопатями, для подальшої постановки експериментів. В запропонованих агрегатах додано компоненти та внесені конструкційні зміни, які використовують фізичні можливості природного завихрення водяного середовища з максимальною ефективністю при малих швидкостях водяного потоку.

Ключові слова: турбіна; лопать; енергоефективність; МГЕС; гідроенергетика.

Стан проблеми. Характерною тенденцією сучасного етапу розвитку світової енергетики є масове будівництво малих гідроелектростанцій. За даними Міжнародного центру малої гідроенергетики наразі малі ГЕС ефективно використовують у 148 країнах світу. Загальна встановлена потужність таких станцій дорівнює біля 79 ГВт, що становить 1,9% від сумарної встановленої потужності електростанцій світу [1]. Так в Австрії частка виробництва електроенергії на МГЕС досягла – 10%, у Швейцарії – 8,3%, в Швеції – майже 3%, а в Іспанії – 2,8%. Лідерство за сумарними генеруючими потужностями малих ГЕС займає Китай (47 ГВт), на другому місці – Японія (4 ГВт), на третьому – США (3,4 ГВт) [2].

Актуальність. Використання гідроенергетичного потенціалу малих річок України з допомогою перспективних видів гідротурбін суттєво підвищить рівень енергозабезпечення галузей економіки та населення, зменшить обсяг необхідного імпорту органічних видів палива, покращить соціальну та екологічну обстановку в регіонах країни. Збільшення виробництва електроенергії на МГЕС сприятиме

поліпшенню паливно-енергетичного балансу, водночас знизиться енергоємність ВВП [3].

В Україні налічується понад 63 тис. малих річок і водотоків загальною довжиною 135,8 тис. км, з них близько 60 тис. (95%) дуже маленькі (довжиною менше 10 км), їх сумарна довжина – 112 тис. км (середня довжина такого водотоку – 1,9 км). Більшість (87%) малих річок довжиною менше 10 км мають площу водозбору від 20,1 до 500 км² [3].

За різними оцінками технічний потенціал гідроенергетичних ресурсів малих річок України становить 375–600 МВт. За свідченнями обласних органів державної влади у 2016 р. в Україні працювало 115 малих ГЕС загальною потужністю 85,2 МВт. В результаті застосування ряду пільгових заходів, у тому числі і «зеленого тарифу», щодо використання відновлювальних джерел енергії кількість працюючих українських малих ГЕС у 2023 р. зросла до 150, при сумарній потужності 180,0 МВт [4].

Метою досліджень є удосконалення конструкції турбін, які з підвищеним ККД перетворюватимуть енергію водяного потоку в обертову при відносно малих напорах води.

Принцип роботи турбіни зі спіралеподібними лопатями

На основі аналізу відомих конструкцій шнекових турбін [5] та ротора Оніпка [6] виник задум створити таку турбіну, яка буде використовувати можливості природного завихрення водяного середовища з максимальною ефективністю при малих швидкостях водяного потоку.

В основу такого рішення, було поставлено завдання вдосконалити шнекову турбіну, в якій шляхом конструкційних змін та додавання нових компонентів збільшується ККД через створення поступового відведення від центру потоку з концентрацією рушійних сил потоку ближче до корпусу (більшого діаметра) турбіни, та їх максимальний обмін механічною енергією зі спіралеподібною лопаттю за рахунок створення розрідження на виході. Також поставлено завдання зменшення розміру конструкції порівняно з уже відомими аналогічної потужності турбінами. Також додатково поставлено завдання на зменшення втрат кінетичної енергії (накопичення та збереження кінетичної енергії – ефект маховика).

Поставлене завдання вирішується у запропонованому рішенні турбіни з лопатями, які розташовані концентрично та спіралевидно вздовж осі обертання турбіни і нерухомо з'єднують корпус з валом,

що розташований вздовж осі обертання турбіни. Лопать скомпонована із можливістю максимального перекидання простору для руху потоку, при цьому кут розміщення лопаті до корпусу поступово зменшується від входу до виходу з нього. Турбіна конструктивно виконана із поступовим зменшенням площі каналів потоку від входу до виходу корпусу.

Запропоноване рішення турбіни зі спіралеподібними лопатями передбачає розміщення на валу 1 порожнистого циліндричного корпусу турбіни 2, який нерухомо з'єднаний з спіралеподібною лопаттю 3 (рис. 1, 2, 3).

Лопаті розташовані так, що максимально перекидають простір для безперешкодного руху потоку тим самим значно збільшуючи тиск на них, відповідно і ККД всієї установки. В залежності від призначення та умов використання, конструкційна модель будови турбіни може змінюватись, при цьому незмінною залишиться заявлена концепція технічних умов.

Технічний результат досягається шляхом утворення площі каналів всередині турбіни з поступовим зменшенням площі проходження потоку до виходу $\Delta S > \Delta S_1$ (рис. 1, 2, 3), що дозволяє збільшити потужність запропонованого рішення турбіни, використовуючи додатковий перепад тиску в гідротурбіні, фізично посилюючи гідродинамічну взаємодію, яка відбувається як за рахунок збільшення кількості і швидкості рідини, яка проходить крізь гідротурбіну, так і за рахунок збільшення перепаду статичного тиску як в гідротурбіні, так і за нею. Крім того, за рахунок будови лопатей зі змінним кутом атаки (α поступово зменшується до виходу стаючи β – рис. 1, 2, 3) дозволяє покращити розподіл потоку від центру (де його ефективність найменша) в область корпусу – до більшого діаметра, де ефективність найвища. Така зміна кута дозволяє створити природне фізичне завихрення потоку, що зменшить зайве тертя (згідно теорії Шаубергера). Залежність зміни початкового кута атаки α з кінцевим β залежить від умов та сфери застосування. Також додатково при запропонованому конструкційному виконанні, корпус турбіни виконує роль маховика, оскільки при обертанні акумулює кінетичну енергію, підсилюючи енергію потоку.

Відтак, заявлена будова лопатей гідротурбіни дозволяє максимально використовувати кінетичну енергію потоку та зменшує

кінцеві втрати від мінімальних завихрень, що сходять з кінців лопатей збільшуючи його ККД.

Також, розміщення лопатей перекриваючими сусідню лопать дозволяє отримати додатковий реактивний момент, оскільки в утворених каналах, які звужуються, відбувається падіння тиску з одночасним зростанням швидкості потоку на виході з нього.

В залежності від призначення та умов використання гідротурбін розроблено 3 варіанти конструкції їх виконання згідно запропонованих технічних вимог [7].

Турбіна з будовою лопатей по принципу спіралі Фібоначчі

На рис. 1 зображено спіралеподібні лопаті 3 турбіни побудовані за принципом наближеним до золотого січення (або дзеркальна спіраль Фібоначчі) з поступовим перекриттям безперешкодного руху рідини, що дасть змогу максимально перетворити кінетичну енергію в обертovu. Також зменшена площа ΔS_1 виходу потоку утворюється за рахунок поступового збільшення об'єму лопаті, що спричинить розрідження, та, як відомо, додасть більшого прискорення середовища [7].

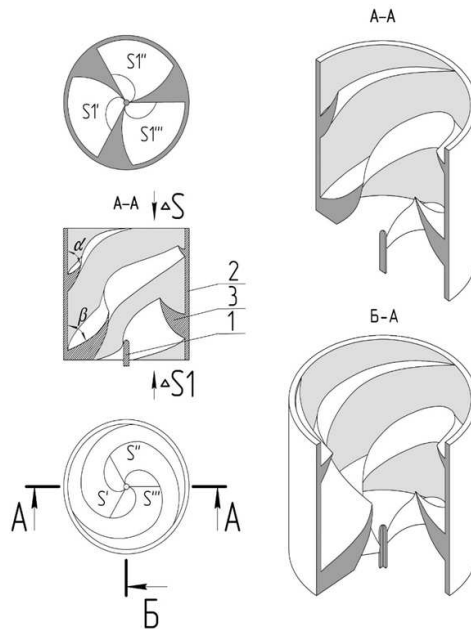


Рис. 1. Схема турбіни з будовою лопатей за принципом спіралі Фібоначчі
(1 – вал, 2 – порожнистий циліндричний корпус,
3 – спіралеподібна лопать)

На рис. 1 показано встановлення лопатей турбіни складної будови з початковим кутом відносно корпусу (α поступово зменшується до виходу стаючи β) до вхідного потоку, що створює обертальний момент, відносно осі обертання (валу 1), та одночасно перенаправляє рушійну силу ближче до корпусу 2 турбіни. А завдяки будові складної лопаті по принципу схожому до спіралі Фібоначчі, вхідний потік буде використовуватись на 100%, що забезпечує найбільший обертальний момент, та дозволяє значно знизити необхідну для запуску гідроустановки швидкість потоку (швидкість плинного середовища для страгування) [7].

Турбіна з прямими спіралевидними лопатями, із збільшенням їх в об'ємі

Побудова складних лопатей, так як на рис. 1 не завжди економічно доцільна, або для застосування технічного рішення не потрібна дороговартісна (складна у виконанні) конструкція. Для таких випадків на рис. 2 та рис. 3 наведені більш простіші варіанти будови лопатей зі збереженням всіх концепційних особливостей.

На рис. 2 прямі спіралеподібні лопаті 3 з'єднують корпус 2 з валом 1 по всій висоті турбіни та збільшуються в площі/об'ємі (аналогічно як в лопатях зображених на рис. 1) тим самим зменшуючи площу ΔS_1 для виходу потоку.

На рис. 2 показано встановлення лопатей турбіни з початковим кутом (α поступово зменшується до виходу β) до вхідного потоку створює обертальний момент, відносно осі обертання, та одночасно перенаправляє потік до корпусу турбіни. А завдяки будові лопаті з поступовим зростанням в об'ємі до виходу потоку, за рахунок створення додаткової реактивної тяги при розрідженні та 100% використанні потоку буде забезпечуватись найбільший обертальний момент, що також дозволяє значно знизити необхідну для страгування турбіни швидкість водяного потоку [7].

Турбіна з прямими спіралеподібними лопатями зі звуженням корпусу

Якщо турбіна буде використовуватись в рідкому плинному середовищі з невеликим діаметром (мається на увазі такий діаметр через робочий сегмент якого проходить найбільша риба, черепаха чи інша живність, яка живе в річці), то для збереження живих організмів, які потраплятимуть в гідротурбіну, потрібно використовувати варіант розміщення лопатей зображених на рис. 3,

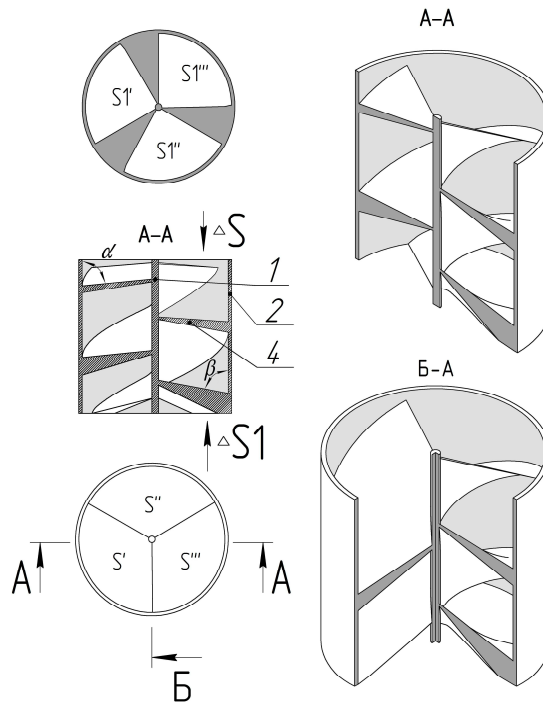


Рис. 2. Схема турбіни з прямими спіралевидними лопатями, із збільшенням їх в об'ємі (1 – вал, 2 – порожнистий циліндричний корпус, 3 – спіралеподібна лопать)

але з мінімальним зменшенням площі проходження рідини на виході з турбіни ΔS_1 . Так ККД використання турбіни буде менший, але безпечний для риб та іншої живності [7].

Якщо ж діаметр турбіни буде такий що при зменшенні площі виходу рідини робочий сегмент буде достатнім для проходження найбільшої живності, яка населяє водойму, тоді можливе застосування іншого варіанту гідротурбіни (рис. 1, 2) зі збільшеним ККД та зменшеною площею на виході рідини $\Delta S > \Delta S_1$.

На рис. 3 як і на рис. 2 показано встановлення лопатей турбіни з початковим кутом (α поступово зменшується до виходу β) до набігаючого потоку. Такий кут створює обертальний момент, відносно осі обертання на валу, та одночасно перенаправляє потік до корпусу 2 турбіни при конусоподібному виконанні. Прямі спіралеподібні лопаті 3 без збільшення в об'ємі також з'єднують корпус 2 з валом 1 по всій висоті турбіни. При такому виконанні

товщина лопатей залишається однаковою, а зменшення площі ΔS_1 на виході забезпечується за рахунок зменшення діаметру корпусу 2, що аналогічно створює додаткову реактивну тягу при розрідженні, і також дозволяє значно знизити необхідну для запуску турбіни швидкість потоку. Усі зазначені конструктивні особливості в запропонованих варіантах свідчать про досягнення технічного результату – збільшення ККД запропонованого технічного рішення [7].

Розроблену турбіну зі спіралеподібними лопатями потрібно протестувати на практиці. Для проведення дослідів буде надруковано запропоновані моделі на 3д принтері зі стійкого пластику PET-G. Для визначення найбільш ефективної моделі, серед запропонованих турбін зі спіралеподібними лопатями потрібно зняти та порівняти показники при експериментальному випробовуванні. Можливо виявиться, що ефективність турбін може змінюватись в залежності від середовища застосування. Також можна провести досліді ефективності турбін в помповому (нагнітальному) гідро та аерорежимі.

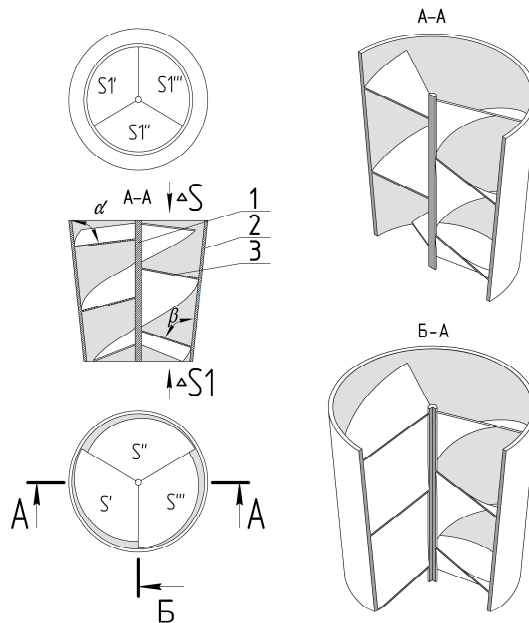


Рис. 3. Схема турбіни з прямими спіралеподібними лопатями зі звуженням корпусу: 1 – вал, 2 – порожнистий циліндричний корпус, 3 – спіралеподібна лопать

Висновки

1. На основі аналізу відомих конструкцій турбін та запропонованої, описаної у патенті конструкції розроблено три варіанти турбін, в яких враховані позитивні риси існуючих турбін та усунуті їх недоліки.

2. Для вибору оптимального варіанту серед описаних типів турбін необхідна постановка фізичного експерименту.

1. Акимов А., Карамушка А., Ландау Ю. Мала гидроэнергетика на защите Украины. *Зеркало недели*. 06.03.2023. URL: <https://zn.ua/energetics/bolshoj-potentsial-maloy-vody.html> (дата звернення: 12.11.2023). 2. International Hydropower Association, Hydropower Status Report, 12.2022, 48 pages. URL: <https://www.hydropower.org/publications/2022-hydropower-status-report> (дата звернення: 12.11.2023). 3. Карамушка О. М. Гидроэнергетика Украины. Мала гидроэнергетика – основа подальшого соціально-економічного розвитку західної України. 1-2/2021, 80 с. 4. Касіч Ю. Розвиток малої гидроенергетики підніме промисловість та зміцнить безпеку України. *Енергобізнес*. 13.02.2023. № 5–6 (1270/71). URL: <https://e-b.com.ua/rozvitok-maloyi-gidroenergetiki-pidnime-promislovist-ta-zmicnit-bezpeku-ukrayini-5272> (дата звернення: 12.11.2023). 5. Вовчак В., Тесленко О., Самченко О. Мала гидроенергетика України. *Технологічні особливості малих ГЕС*. Київ, 2018. Том II. URL: <https://energyukraine.org/wp-content/uploads/2018/05/Otchet-MGES2.pdf> (дата звернення: 12.11.2023). 6. Ротор Оніпка. Матеріал з Вікіпедії. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D0%BE%D1%82%D0%BE%D1%80_%D0%9E%D0%BD%D1%96%D0%BF%D0%BA%D0%B0 (дата звернення: 12.11.2023). 7. Турбіна зі спіралеподібними лопатями : пат. № 150304 на корисну модель Герба О. В.; опубл. 26.01.2022.

REFERENCES:

1. Akymov A., Karamushka A., Landau Yu. Malaia hydroenerhetyka na zashchyte Ukrainy. *Zerkalo nedeli*. 06.03.2023. URL: <https://zn.ua/energetics/bolshoj-potentsial-maloy-vody.html> (data zvernennia: 12.11.2023). 2. International Hydropower Association, Hydropower Status Report, 12.2022, 48 pages. URL: <https://www.hydropower.org/publications/2022-hydropower-status-report> (data zvernennia: 12.11.2023). 3. Karamushka O. M. Hidroenerhetyka Ukrainy. Mala hidroenerhetyka – osnova podalshoho sotsialno-ekonomichnoho rozvytku zakhidnoi Ukrainy. 1-2/2021, 80 s. 4. Kasich Yu. Rozvytok maloi hidroenerhetyky pidnime promyslovist ta zmitsnyt bezpeku Ukrainy.

Enerhobiznes. 13.02.2023. № 5–6 (1270/71). URL: <https://e-b.com.ua/rozvitok-maloyi-gidroenergetiki-pidnime-promislovist-ta-zmicnit-bezpeku-ukrayini-5272> (data zvernennia: 12.11.2023). **5.** Vovchak V., Teslenko O., Samchenko O. Mala hidroenerhetyka Ukrainy. *Tekhnolohichni osoblyvosti malykh HES*. Kyiv, 2018. Tom II. URL: <https://energyukraine.org/wp-content/uploads/2018/05/Otchet-MGES2.pdf> (data zvernennia: 12.11.2023). **6.** Rotor Onipka. Material z Vikipedii. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D0%BE%D1%82%D0%BE%D1%80_%D0%9E%D0%BD%D1%96%D0%BF%D0%BA%D0%B0 (data zvernennia: 12.11.2023). **7.** Turbina zi spiralepodibnymy lopatiamy : pat. № 150304 na korysnu model Herba O. V.; opubl. 26.01.2022.

Herba O. V., Post-graduate Student (National University of Water and Environmental Engineering, Rivne, o.v.herba@nuwm.edu.ua)

USE OF TURBINES WITH SPIRAL BLADES

In recent years, small hydropower plants have been widely using screw turbines are widely used in small hydropower plants. To improve their design, a turbine with spiral blades was proposed.

The basis of this solution was to improve a screw turbine, in which, through structural changes and the addition of new components, the efficiency is increased by creating a gradual diversion from the flow center with the concentration of the driving forces of the flow closer to the turbine casing (larger diameter), and their maximum exchange of mechanical energy with the spiral blade by creating a vacuum at the outlet.

The task was also set to reduce the size of the structure compared to the already known turbines of similar power. An additional task was also set to reduce kinetic energy losses (accumulation and conservation of kinetic energy – the flywheel effect).

The tasks are solved in the proposed solution of a turbine with blades arranged concentrically and spirally along the axis of rotation of the turbine and fixedly connecting the casing to the shaft located along the axis of rotation of the turbine. The blade is designed to maximize the overlap of the flow path, with the blade to casing angle gradually decreasing from the inlet to the outlet. The turbine is constructed with a gradual decrease in the area of the flow channels

from the inlet to the outlet of the casing. The proposed solution of a turbine with spiral blades provides for the placement of a hollow cylindrical turbine casing on the shaft, which is fixedly connected to the spiral blade.

The technical result is achieved by forming a channel area inside the turbine with a gradual decrease in the flow area to the outlet, which allows increasing the power of the proposed turbine solution using an additional pressure drop in the hydraulic turbine, physically enhancing the hydrodynamic interaction, which occurs both by increasing the amount and speed of the fluid passing through the hydraulic turbine and by increasing the static pressure drop both in and behind the hydraulic turbine.

***Keywords:* turbine; blade; energy efficiency; hydropower.**