

*Є. С. КРУПА, Р. М. ДЕМЧУК, М. О. ГУЛЕВСЬКИЙ***РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ РАДІАЛЬНО-ДІАГОНАЛЬНОЇ ГІДРОТУРБИНИ ДЛЯ ЕФЕКТИВНОЇ РОБОТИ НА ВИСОКИХ НАПОРАХ**

Представлено розробку нової конструкції гідротурбіни, спрямовану на підвищення енергетичної та експлуатаційної ефективності для роботи на високих напорах. Здійснено комплексний аналіз проблем, характерних для традиційних високонапірних гідротурбін, зокрема радіально-осьових та поворотно-лопатевої турбін, які мають обмежений діапазон експлуатації та схильні до кавітаційних явищ при відхиленні від оптимальних режимів роботи. Основна увага приділена створенню високонапірної радіально-діагональної гідротурбіни, конструкція якої включає дворядну лопатеву систему та проміжний направляючий апарат для забезпечення широкого діапазону експлуатації та підвищення стійкості потоку. Прогнозна універсальна характеристика РОД 400 порівняно з традиційною турбіною РО 400 продемонструвала суттєві переваги нової конструкції, зокрема ширший діапазон ефективної роботи. Важливою перевагою розглянутої конструкції є здатність підтримувати високий коефіцієнт корисної дії в широкому діапазоні напорів та витрат води, що забезпечує універсальність застосування даної гідротурбіни для різних типів гідроелектростанцій. Запропонована турбіна демонструє підвищену стійкість до кавітації завдяки вдосконаленій формі лопатей та трьохелементній комбінаторній залежності. Розглянуто процес створення тривимірної моделі гідротурбіни в середовищі SolidWorks, що дозволяє здійснити точне відображення геометрії та підготувати модель до подальшого чисельного аналізу методами обчислювальної гідродинаміки. Для подальшого вдосконалення запропоновано використання чисельного моделювання в CFD-програмах (наприклад, Ansys CFX) для аналізу гідродинамічних процесів у проточній частині та оцінки енергокавітаційних показників. Перспективи дослідження включають створення фізичного прототипу та експериментальну валідацію результатів, що сприятиме впровадженню радіально-діагональних гідротурбін у реальні проекти ГЕС. Інтеграція інноваційних рішень у конструкцію гідротурбін дозволить забезпечити більш стійку та надійну роботу енергетичних систем.

Ключові слова: радіально-діагональна гідротурбіна, робоче колесо, направляючий апарат, комбінаторна залежність, коефіцієнт корисної дії, чисельне моделювання.

*Ye. KRUPA, R. DEMCHUK, M. HULEVSKYI***DEVELOPMENT OF A RADIAL-DIAGONAL HYDROTURBINE DESIGN FOR EFFICIENT OPERATION AT HIGH HEADS**

The development of a new hydroturbine design aimed at improving energy and operational efficiency for operation at high heads is presented. A comprehensive analysis of the problems typical for traditional high-head hydroturbines, in particular Francis and Kaplan turbines, which have a limited operating range and are prone to cavitation phenomena when deviating from optimal operating conditions, has been carried out. The main focus is on the creation of a high-head radial-diagonal hydroturbine, the design of which includes a two-row blade system and an intermediate guide vane to ensure a wide operating range and increase flow stability. The predicted universal characteristic of the RD 400 compared to the traditional Fr 400 turbine demonstrated significant advantages of the new design, in particular a wider range of efficient operation. An important advantage of the considered design is the ability to maintain a high efficiency coefficient over a wide range of heads and water flows, which ensures the versatility of this hydroturbine for various types of hydroelectric power plants. The proposed turbine demonstrates increased resistance to cavitation due to the improved blade shape and three-element combinatorial dependence. The process of creating a three-dimensional model of the hydroturbine in the SolidWorks environment is considered, which allows for accurate representation of the geometry and preparation of the model for further numerical analysis using computational fluid dynamics methods. For further improvement, the use of numerical modeling in CFD programs (for example, Ansys CFX) is proposed to analyze hydrodynamic processes in the flow part and evaluate energy-cavitation indicators. The research prospects include the creation of a physical prototype and experimental validation of the results, which will contribute to the implementation of radial-diagonal hydroturbines in real hydroelectric power plant projects. The integration of innovative solutions into the design of hydroturbines will ensure more stable and reliable operation of energy systems.

Keywords: radial-diagonal hydroturbine, runner, wicket gate, gate-blade relationship, efficiency, numerical modelling.

Вступ. Гідроенергетика є одним із найважливіших джерел відновлюваної енергії у світі, забезпечуючи стабільне постачання електроенергії для мільйонів споживачів. Її ефективність значною мірою залежить від конструктивних особливостей гідротурбін [1].

У сучасних умовах зростання попиту на електроенергію, а також необхідності адаптації гідроелектростанцій (ГЕС) і гідроакмулюючих станцій (ГАЕС) до змінних режимів роботи, розробка нових типів гідротурбін набуває особливої актуальності. Особливу увагу привертають високонапірні турбіни, призначені для роботи в діапазоні напорів від 200 до 600 м, оскільки саме в цьому сегменті проявляються значні технічні обмеження, що знижують продуктивність і надійність обладнання [2–5].

Існуючі конструкції, такі як радіально-осьові

гідротурбіни, хоч і є стандартом для високих напорів, мають суттєві недоліки. Їхній вузький діапазон експлуатації за напорами та витратами призводить до того, що відхилення від оптимального режиму спричиняє різке падіння коефіцієнта корисної дії (ККД), зростання нестабільності потоку в проточній частині, а також появу пульсацій тиску, кавітації та вібрацій, які скорочують термін служби агрегатів. З іншого боку, поворотно-лопатевої турбіни, що вирізняються гнучкістю регулювання, виявляються непридатними для напорів понад 200 м через обмеження міцності лопатей і високий ризик кавітаційного руйнування. Ці проблеми ускладнюють використання традиційних гідротурбін у сучасних проєктах, де потрібна висока адаптивність, ефективність і економічна вигода, що підкреслює необхідність пошуку нових конструктивних рішень для високонапірних умов [6].

Метою дослідження є розробка високонапірної радіально-діагональної гідротурбіни (РОД), яка усуває зазначені проблеми шляхом розширення діапазону експлуатації, підвищення енергокавітаційних показників, надійності та пропускної здатності. У статті розглянуто конструкцію РОД і процес створення її тривимірної моделі в SolidWorks.

Огляд існуючих технологій. Типи гідротурбін та їхні обмеження. Гідротурбіни класифікуються за принципом роботи та діапазоном напорів, що визначає їхнє застосування на ГЕС і ГАЕС. Поворотно-лопатеві турбіни осьового типу оптимально функціонують на низьких напорах від 3 до 100 м [4]. Їхньою перевагою є можливість регулювання кутів лопатей робочого колеса, що забезпечує стабільну роботу при змінних витратах води. Діагональні поворотно-лопатеві турбіни, які є модифікацією осьових, розширюють діапазон до 40–170 м, зберігаючи гнучкість завдяки комбінованому регулюванню направляючого апарата та лопатей. Проте їхня конструкція не дозволяє витримувати напори понад 200 м, оскільки зростання гідралічного тиску перевищує межі міцності матеріалів і призводить до деформацій [4]. Радіально-осьові турбіни, навпаки, є основним рішенням для високонапірних умов (200–600 м). Вони мають фіксовані лопаті робочого колеса, що забезпечує високу ефективність у вузькому діапазоні режимів, але робить їх чутливими до відхилень від проектних умов [4].

Високонапірні турбіни: проблеми та недоліки. Радіально-осьові турбіни, попри свою поширеність, мають низку технічних обмежень. Їхня проточна частина спроектована для конкретного співвідношення напору та витрати, що ускладнює адаптацію до сезонних коливань водного ресурсу чи потреб енергосистеми. При зниженні або підвищенні витрати ефективність різко падає, а турбулентність у потоці спричиняє локальні зони низького тиску, де утворюються кавітаційні бульбашки. Ці бульбашки, руйнуючись, пошкоджують поверхню лопатей, що призводить до ерозії та зниження ресурсу агрегату. Крім того, низька пропускна здатність проточної частини обмежує можливість збільшення потужності без значного розширення розмірів турбіни, що підвищує капітальні витрати на будівництво машинного залу. Віб्राції та пульсації тиску, які виникають через нестабільність потоку, також ускладнюють інтеграцію таких турбін у системи з частими змінами навантаження.

Необхідність нових конструктивних рішень. Сучасна гідроенергетика потребує технологій, які б відповідали викликам часу: підвищенню енергоефективності, зниженню експлуатаційних витрат і адаптації до широкого спектра умов. Існуючі конструкції не повною мірою задовольняють ці вимоги, особливо в сегменті високих напорів, де гнучкість і довговічність стають критичними. Нові рішення мають поєднувати високу пропускну здатність із можливістю регулювання, зменшувати гідралічні втрати та протистояти кавітації. Такі інновації дозволять оптимізувати роботу ГЕС,

скоротити витрати на обслуговування та підвищити конкурентоспроможність гідроенергії порівняно з іншими джерелами енергії.

Конструкція високонапірної радіально-діагональної гідротурбіни, створена під керівництвом професора кафедри гідромашин Потетенка О. В., являє собою новаторське рішення, яке усуває обмеження традиційних гідротурбін. Ця турбіна розроблена для забезпечення стабільної та ефективної роботи в діапазоні високих напорів (200–600 м), де існуючі моделі часто не відповідають вимогам сучасних ГЕС і ГАЕС. Її конструкція спрямована на подолання таких критичних проблем, як нестабільність потоку, низька адаптивність до змін умов і недостатня пропускна здатність, що характерні для стандартних високонапірних турбін [6; 7].

Конструкція радіально-діагональної гідротурбіни. На рис. 1 показаний розріз високонапірної гідротурбіни.

Високонапірна гідротурбіна включає спіральну камеру 1, статор 2, направляючий апарат 3, а також проміжний направляючий апарат 4, який може містити лопаті з фіксованим або регульованим положенням, відсмоктуючу трубу 5 і робоче колесо. Останнє складається з втулки 6, нижнього ободу 7, розташованих між ними нерухомих лопатей 8 першого ряду лопатевої системи, механізму повороту 9 і рухомих лопатей другого ряду 10 [6; 7].

Принцип дії високонапірної гідротурбіни наступний. Потік рідини, проходячи через входні елементи турбіни, спрямовується на робоче колесо. До підвідних органів належать спіральна камера 1, статорні колони 2, а також лопатки направляючого апарата 3. Вони забезпечують рівномірне підведення потоку з необхідним моментом кількості руху, що дає змогу досягти максимального ККД турбіни в оптимальному режимі.

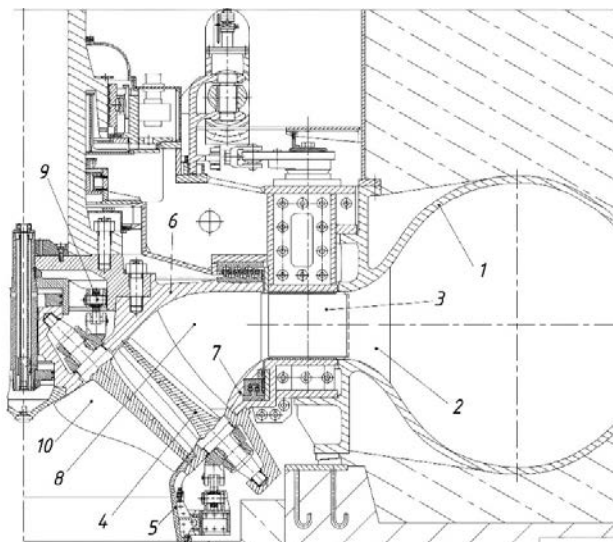


Рис. 1. Радіально-діагональна гідротурбіна

Після проходження через направляючий апарат 3 потік спрямовується на лопаті 8 першого ряду робочого колеса. У цій зоні відбувається ефективне використання частини напору турбіни (моменту

кількості руху) завдяки підпору, що створюється лопатевими системами 10 і 4. Це сприяє підвищенню пропускної здатності гідротурбіни.

Друга частина напору, сформована направляючим апаратом 4, використовується поворотно-лопатевою системою 10, що працює в комбінаторній залежності з кутами установки направляючих апаратів 3 і 4.

Завдяки потрібній комбінаторній залежності між кутами направляючих апаратів 3, 4 і лопатей 10 забезпечується висока енергокавітаційна ефективність гідротурбіни, а також надійність її роботи в умовах, відмінних від оптимальних. Спрацьований на робочому колесі потік виводиться через відсмоктуючу трубу 5 [7; 8].

На рис. 2 приведено прогнозну універсальну характеристику гідротурбіни РОД 400, побудовану по методиці, приведеній у роботі [7].

Представлена, як приклад, прогнозна універсальна характеристика (рис. 2) пропонованої гідротурбіни (позначена РОД 400) і звичайної гідротурбіни на напорі 400 м (позначена РО 400) наочно демонструє перевагу пропонованої гідротурбіни (рис. 3).

Для побудови характеристики РОД 400 використані універсальні характеристики робочих коліс: РО 310/1107-В-38, № 3439 і ПЛД 90/2556 № 2581. Для порівняння було використане колесо РО 400/3515-В-80 № 2514 [7]. Ізолінії ККД на рис. 3 являють собою $\eta = \frac{\eta}{\eta_{\max}} \cdot 100 \%$.

Створення 3D-моделі в CAD-програмі SolidWorks. Розробка тривимірної моделі радіально-діагональної гідротурбіни у середовищі SolidWorks є

складним інженерним завданням, що потребує значних обчислювальних ресурсів та ретельного опрацювання деталей конструкції. Основною причиною такої складності є велика кількість елементів, які необхідно враховувати під час створення геометричної моделі, а також специфічні вимоги до точності відображення проточних частин.

Серед основних викликів під час моделювання можна виділити наступні:

Складна геометрія робочого колеса. Робоче колесо турбіни складається з двох рядів лопатей: перший ряд має жорстко закріплені лопаті, а другий – поворотні, що ускладнює процес параметризації та побудови моделі [9].

Взаємодія елементів конструкції. Для забезпечення коректної роботи всієї системи необхідно було точно узгодити геометрію направляючого апарата, проміжного направляючого апарата та робочого колеса [10].

Високі вимоги до точності. Геометрія гідротурбіни повинна відповідати реальним умовам експлуатації, оскільки навіть незначні відхилення можуть впливати на результати чисельного розрахунку.

Обмеження програмного забезпечення. Високий рівень деталізації призводить до збільшення розміру файлів і вимог до обчислювальних ресурсів, що ускладнює обробку моделі.

В процесі моделювання використовувались засоби твердотілого моделювання SolidWorks [11], а також функціонал параметризації для коригування конструктивних елементів відповідно до інженерних розрахунків.

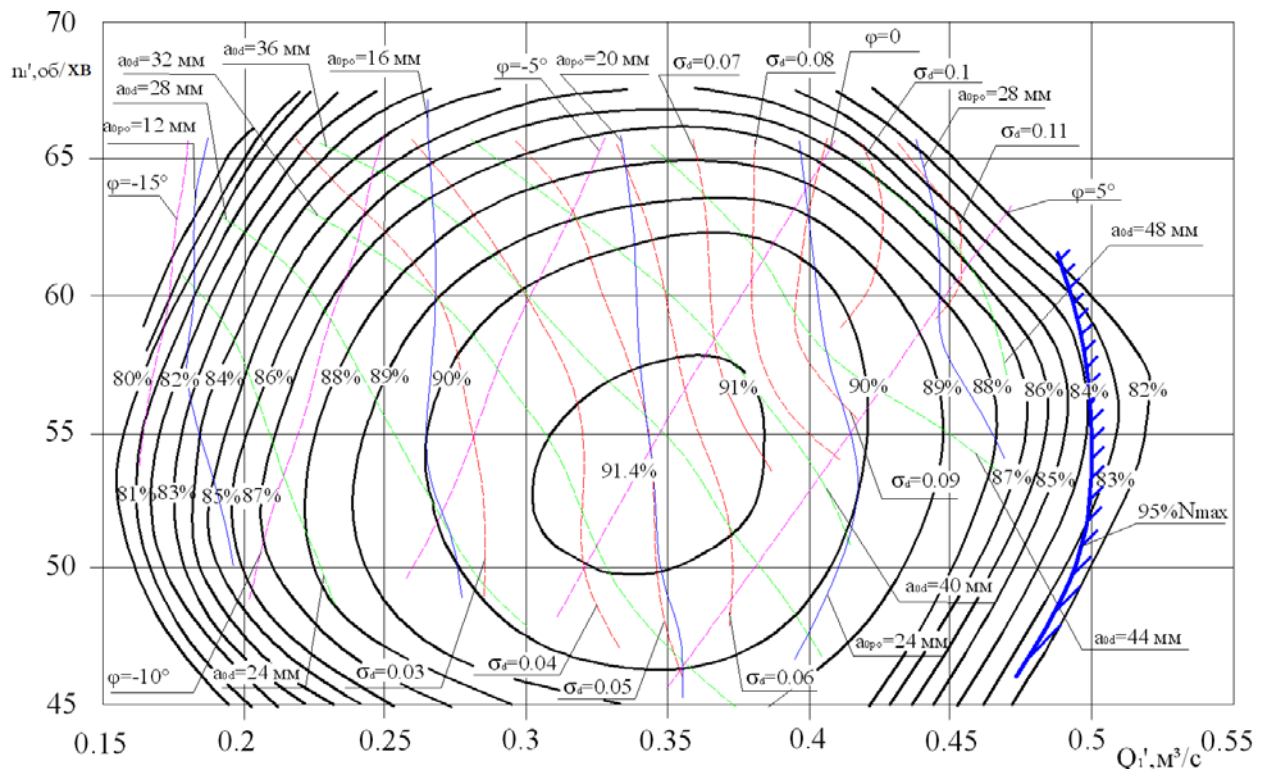


Рис. 2. Прогнозна універсальна характеристика РОД 400

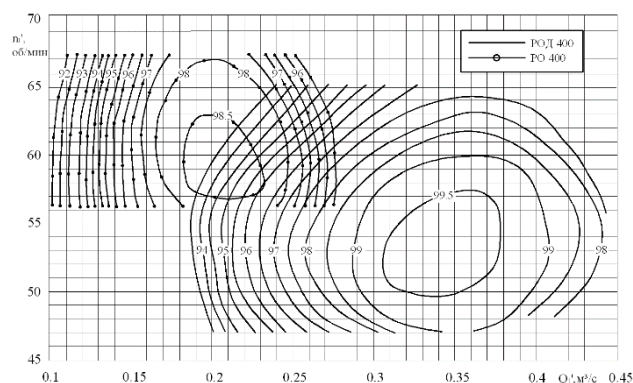


Рис. 3. Порівняння прогнозної універсальної характеристики РОД-400 з характеристикою гідротурбіни РО 400/3515-B-80 № 2514

Використання SolidWorks дозволило інтегрувати всі компоненти в єдину систему та провести попередню перевірку їхньої геометричної відповідності, що є важливим етапом для підготовки до гідродинамічного аналізу та фізичного прототипування [9–12].

Тривимірну модель радіально-діагональної гідротурбіни представлено на рис. 4. Для кращої видимості лопатевих систем верхній обод робочого колеса виконано прозорим.

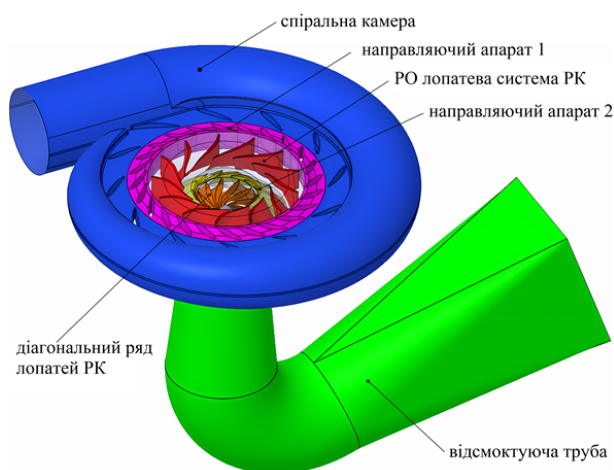


Рис. 4. Тривимірна модель РОД гідротурбіни

Висновки та перспективи подальших досліджень. Підсумок виконаної роботи. Розробка високонапірної радіально-діагональної гідротурбіни стала важливим кроком у напрямі вдосконалення технологій для високонапірних гідроелектростанцій. У рамках дослідження сформовано концепцію турбіни, яка завдяки дворядній лопатевій системі та додатковому проміжному направляючому апарату вирішує ключові проблеми традиційних конструкцій. Було створено детальну тривимірну модель у SolidWorks, що дозволило візуалізувати складну геометрію та перевірити сумісність усіх компонентів. Цей етап підтвердив можливість реалізації запропонованої ідеї в інженерному форматі, заклавши основу для подальшого поглибленого аналізу. Прогнозна універсальна характеристика РОД 400, порівняно з традиційною турбіною РО 400, продемонструвала потенціал нової конструкції для

роботи в ширшому діапазоні режимів, що є значним прогресом у порівнянні з існуючими аналогами. Успішне завершення моделювання стало передумовою для переходу до наступних етапів проекту, спрямованих на практичну верифікацію теоретичних переваг.

Значення результатів для гідроенергетики.

Отримані результати мають вагомe значення для розвитку гідроенергетики, особливо в контексті підвищення ефективності високонапірних установок. Запропонована конструкція РОД відкриває можливості для створення більш адаптивних і продуктивних гідротурбін, здатних працювати в умовах сезонних коливань водного ресурсу та змінного попиту на енергію. Потенційне збільшення пропускної здатності та зниження енергокавітаційних ризиків можуть суттєво вплинути на економічні показники ГЕС і ГАЕС, зменшивши витрати на обслуговування та подовживши термін експлуатації обладнання. У ширшому контексті це сприяє підвищенню конкурентоспроможності гідроенергії як екологічно чистого джерела, що є важливим у світлі глобальних зусиль із переходу до низьковуглецевої економіки. Крім того, інноваційний підхід до проектування, втілений у РОД, може слугувати прикладом для розробки інших типів гідротурбін, стимулюючи прогрес у галузі.

Перспективи подальших досліджень.

Наступним етапом дослідження стане проведення повного чисельного аналізу гідродинамічних характеристик проточної частини РОД у спеціалізованому програмному забезпеченні, такому як Ansys CFX. Це дозволить оцінити розподіл швидкості, тиску та турбулентності в усіх зонах – від спіральної камери до відсмоктуючої труби, а також перевірити ефективність дворядної лопатєвої системи в реальних умовах експлуатації. Особливу увагу буде приділено аналізу кавітаційних явищ, які є критичними для високонапірних турбін, з метою підтвердження заявлених енергокавітаційних переваг. На основі отриманих даних планується розробити рекомендації щодо оптимізації конструкції, зокрема уточнення кутів установки лопаток направляючих апаратів і поворотних лопатей другого ряду для максимізації ККД і мінімізації втрат. У перспективі передбачається створення фізичного прототипу для експериментальної валідації результатів моделювання, а також оцінка економічної доцільності впровадження РОД у реальні проекти ГЕС. Ці кроки дозволять не лише провести практичну цінність розробки, а й адаптувати її до специфічних умов експлуатації, сприяючи інноваційному розвитку гідроенергетики.

Список літератури

1. Pandey B., Karki A. *Hydroelectric Energy: Renewable Energy and the Environment*. Wallingford, United Kingdom : CRC Press, 2016. 419 p.
2. Spellman F. R. *Environmental Engineering*. Florida : CRC Press, 2015. 750 p.
3. Caldwell J. *Hydropower: Renewable Energy Essentials*. United States : Larsen and Keller Education, 2019. 257 p.
4. Сокол Є., Черкашенко М., Потетенко О., Дранковський В., Гасюк О., Гриб О. *Гідроенергетика. Том 2. Гідрравлічні машини*.

- Харків : Промарт, 2020. 534 с.
- Ландау Ю. О. Основні тенденції розвитку гідроенергетики України. *Наукові роботи*. Харків, 2014. Т. 53, вип. 40. С. 82–86.
 - Потетенко О. В., Дранковський В. Е., Ковальов С. М., Крупа Є. С., Вахрушева О. С., Шевченко Н. Г. Тенденції просування горизонтальних прямокутних і вертикальних радіально-осьових гідротурбін на високі напори з широким діапазоном експлуатації. *Вісник Сумського державного університету. Серія: Технічні науки*. Суми : СумДУ. 2010. № 3. С. 125–135.
 - Потетенко О. В., Гришин О. М., Радченко Л. Р., Яковлева Л. К., Крупа Є. С., Вахрушева О. С., Гулахмадов А. А. Робочий процес радіально-діагональної гідротурбіни (РОД). Методика побудови прогностичної універсальної характеристики. *Вісник Нац. техн. ун-ту «ХПІ»: зб. наук. пр. Темат. вип.: Нові рішення в сучасних технологіях*. Харків : НТУ «ХПІ». 2012. № 33. С. 109–119.
 - Крупа Є. С., Демчук Р. М., Кіс С. Л. Розробка радіально-діагональної гідротурбіни. *Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я. Тези доповідей XXXIII міжнародної науково-практичної конференції MicroCAD-2025 (14–17 травня 2025 р., Харків)*. Харків : НТУ «ХПІ», 2025. С. 257.
 - Krupa Ye., Demchuk R. Comprehensive review of SolidWorks and Ansys for hydraulic machinery. *Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: Hydraulic machines and hydraulic units*. Kharkiv : NTU "KhPI". 2024. No. 2. P. 48–53. doi: 10.20998/2411-3441.2024.2.07
 - Krupa Y., Demchuk R., Volobuev A. Comparative analysis of software systems for hydraulic turbine flow simulation. *Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: Hydraulic machines and hydraulic units*. Kharkiv : NTU "KhPI". 2023. No. 1. P. 49–55.
 - SOLIDWORKS Official Website. URL: <https://www.solidworks.com> (дата звернення: 05.09.2025).
 - Liu H., Wu Z., Yuan S., Wang Y., Dong L. Design and Implementation of a Three-Dimensional CAD Graphics Support Platform for Pumps Based on Open CASCADE. *Processes*. 2023. Vol. 11, issue 8. P. 2315. doi: 10.3390/pr11082315
 - Landau Yu. O. Osnovni tendentsiyi rozvytku hidroenerhetyky Ukrainy [The main trends in the development of hydropower in Ukraine]. *Naukovi roboty*. Kharkiv, 2014, vol. 53, issue 40, pp. 82–86.
 - Potetenko O. V., Drankovskyy V. E., Koval'ov S. M., Krupa Ye. S., Vakhrusheva O. S., Shevchenko N. H. Tendentsiyi prosuvannya horizontal'nykh pryamotoknykh i vertykal'nykh radial'no-os'ovykh hidroturbin na vysoki napory z shyrokym diapazonom ekspluatatsiyi [Trends in the promotion of horizontal direct-flow and vertical radial-axial hydraulic turbines for high heads with a wide range of operation]. *Visnyk Sums'koho derzhavnoho universytetu. Seriya: Tekhnichni nauky* [Sumy State University Bulletin. Series: Technical sciences]. Sumy, SumDU Publ., 2010, no. 3, pp. 125–135.
 - Potetenko O. V., Hryshyn O. M., Radchenko L. R., Yakovleva L. K., Krupa Ye. S., Vakhrusheva O. S., Hulakhmadov A. A. Robochyy protses radial'no-diahonal'noyi hidroturbiny (ROD). *Metodyka pobudovy prohnznoyi universal'noyi kharakterystyky* [The working process of a radial-diagonal hydraulic turbine (ROD). Method for constructing a predictive universal characteristic]. *Visnyk Nats. tekhn. un-tu «KhPI»: zb. nauk. pr. Temat. vyp.: Novi rishennya v suchasnykh tekhnolohiyakh* [Bulletin of the National Technical University "KhPI": a collection of scientific papers. Thematic issue: New solutions in modern technologies]. Kharkiv, NTU "KhPI" Publ., 2012, no. 33, pp. 109–119.
 - Krupa Ye. S., Demchuk R. M., Kis' S. L. Rozrobka radial'no-diahonal'noyi hidroturbiny [Development of a radial-diagonal hydraulic turbine]. *Informatsiyi tekhnolohiyi: nauka, tekhnika, tekhnolohiya, osvita, zdorov'ya. Tezy dopovidey XXXIII mizhnarodnoyi naukovo-praktychnoyi konferentsiyi MicroCAD-2025 (14–17 travnya 2025 r., Kharkiv)* [Information technologies: science, engineering, technology, education, health. Abstracts of the XXXIII Int. Sci.-Pract. Conf. (14–17 May 2025, Kharkiv)]. Kharkiv, NTU "KhPI" Publ., 2025, p. 257.
 - Krupa Ye., Demchuk R. Comprehensive review of SolidWorks and Ansys for hydraulic machinery. *Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: Hydraulic machines and hydraulic units*. Kharkiv: NTU "KhPI" Publ., 2024, no. 2, pp. 48–53. doi: 10.20998/2411-3441.2024.2.07
 - Krupa Y., Demchuk R., Volobuev A. Comparative analysis of software systems for hydraulic turbine flow simulation. *Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: Hydraulic machines and hydraulic units*. Kharkiv, NTU "KhPI" Publ., 2023, no. 1, pp. 49–55.
 - SOLIDWORKS Official Website. Available at: <https://www.solidworks.com> (accessed 05.09.2025).
 - Liu H., Wu Z., Yuan S., Wang Y., Dong L. Design and Implementation of a Three-Dimensional CAD Graphics Support Platform for Pumps Based on Open CASCADE. *Processes*. 2023, vol. 11, issue 8, p. 2315. doi: 10.3390/pr11082315

References (transliterated)

Надійшла (received) 30.09.2025

Відомості про авторів / About the Authors

Крупа Євгеній Сергійович (Krupa Yevhenii) – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент кафедри «Гідравлічні машини ім. Г. Ф. Проскури»; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3997-3590>; e-mail: zhekr@ukr.net

Демчук Роман Миколайович (Demchuk Roman) – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», аспірант кафедри «Гідравлічні машини ім. Г. Ф. Проскури»; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-3229-0395>; e-mail: roman.demchuk@mit.khpi.edu.ua

Гулевський Микола Олександрович (Hulevskiy Mykola) – Приватний заклад «Інститут «Харківська школа архітектури», викладач кафедри «Архітектура та урбанізм»; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-3131-9788>; e-mail: m.hulevskiy@khsa.edu.ua