

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ІВАНА ПУЛЮЯ

ГАЛІНСЬКИЙ АНДРІЙ МИКОЛАЙОВИЧ

УДК 627.8:626.33

**ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ МАЛОЇ ГІДРОЕНЕРГЕТИКИ
НА БАЗІ ПРОПЕЛЕРНИХ ГІДРОТУРБІН І ПІДВІДНИХ
ТРУБОПРОВІДІВ СИФОННОГО ТИПУ**

141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

АВТОРЕФЕРАТ

дипломної роботи на здобуття вищої освіти
освітнього ступеня магістр

Тернопіль – 2019

Дипломною роботою магістра є рукопис

Робота виконана в Тернопільському національному технічному університеті імені Івана Пулюя Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник кандидат технічних наук, доцент
Зінь Мирослав Михайлович,
доцент кафедри «Електричної інженерії»
Тернопільського національного технічного
університету імені Івана Пулюя

Рецензент кандидат фізико-математичних наук,
Габрусєв Григорій Валерійович,
доцент кафедри вищої математики
Тернопільського національного технічного
університету імені Івана Пулюя

Захист відбудеться «28» грудня 2019 р. о 10 годині на засіданні екзаменаційної комісії № 41 з атестації здобувачів вищої освіти освітнього ступеня магістр 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка при Тернопільському національному технічному університеті імені Івана Пулюя МОН України за адресою: 46000, м. Тернопроіль, вул. Микулинецька 46, аудиторія 404.

З авторефератом дипломної роботи магістра можна ознайомитися в інституційному репозиторії Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя (ELARTU) за адресою <http://elartu.tntu.edu.ua/>

Секретар
Екзаменаційної комісії № 41

Коцюрко Р.В.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми роботи. За часів СРСР в Україні експлуатувалося майже 1000 малих гідроелектростанцій і тривало будівництво нових, але зі створенням потужних об'єктів і атомної енергетики різко знизилася роль малої гідроенергетики. Централізація енергопостачання, низькі ціни на паливо і електроенергію для відомств і підприємств, на балансі яких перебували малі ГЕС стали основними причинами, які призвели до їх економічної недоцільності. В результаті на сьогоднішній день залишилось функціонуючих лише 102 малі гідроелектростанції.

За останні роки Україна пізнала дуже велику енергетичну кризу, що в свою чергу збільшило інтерес до відновлювальних джерел енергії. Мала гідроенергетика дозволяє використати значний гідроенергетичний потенціал малих річок і притоків, а в багатьох випадках забезпечити локальне електропостачання віддалених районів або населених пунктів, особливо в країнах які зіткнулися з енергетичною кризою та значним падінням економіки. Малі гідроелектростанції мають не великі капіталовкладення та досить швидкий термін окупності.

Крім цього, розвиток відновлювальної енергетики в усьому світі також став актуальним, адже зі збільшенням населення та розвитком новітніх технологій необхідно використовувати значно більше паливно-енергетичних ресурсів, що в свою чергу призводить до постійного зростання цін на природне паливо.

Розвитку малої гідроенергетики приділяється значна увага в багатьох країнах, особливо в тих де існує велика кількість річок з незначною величиною водотоку, які можуть бути використані для будівництва міні- та мікро-ГЕС. На сьогоднішній день найбільшу кількість малих ГЕС встановлюють в Китаї та у країнах, що розвиваються.

Отже, мала гідроенергетика може займати значне місце у виробництві електроенергії у країнах що розвиваються, а також які зіткнулись з енергетичною кризою, для покращення економіки країни в цілому.

Метою роботи є підвищення енергоефективності малої гідроенергетики.

Об'єктом дослідження є робоче колесо пропелерної гідротурбіни.

Предметом дослідження є отримання електроенергії на малих річках за допомогою гідроагрегатів.

Методами дослідження є: відомі методи визначення гідроенергетичного потенціалу та моделювання потоку у турбіні, які дозволяють отримувати результати, що максимально наближені до реальних ; економічний аналіз.

Практичне значення одержаних результатів. Робота має практичне значення при створенні систем електропостачання невеликих селищ, промислових об'єктів, що розташовані поблизу невеликих річок та водотоків. Результати, які отримані у даній роботі, допоможуть визначити техніко-економічну доцільність впровадження малих гідро-електростанцій, а також можуть бути використані для підвищення енергетичної ефективності

створюваних та при реконструкції існуючих міні ГЕС.

Особистий внесок автора - особистий внесок автора включає постановку мети і задач дослідження, обґрунтування принципів і методів їхнього проведення, якісний і кількісний аналіз результатів, їхня інтерпретація.

Апробація результатів дослідження. Основні положення та результати дипломної роботи магістра доповідалися на VIII Міжнародній науково-технічній конференції молодих учених та студентів ТНТУ імені Івана Пулюя «Актуальні задачі сучасних технологій» (27-28 листопада 2019 року, м. Тернопіль).

Структура і обсяг роботи.

Дипломна робота магістра складається зі вступу, шести розділів, загальних висновків та списку використаних джерел. Загальний обсяг роботи 105 сторінок, 20 таблиць і 13 рисунків; список літератури з 46 найменувань на 5 сторінках. Графічний матеріал подано у вигляді презентації.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету та основні задачі досліджень, показано зв'язок із науковими програмами, темами, сформульовано наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, наведено дані про особистий внесок здобувача, публікації, апробацію та впровадження результатів роботи.

Перший розділ «Літературний огляд» У проведеному літературному огляді розглядалися питання використання енергії малих річок України, а саме їх гідроенергетичний потенціал для вироблення електроенергії. Підкреслено, що основою ефективної енергетичної політики сучасності повинні стати: енергобезпека, енергоефективність, енергозбереження, використання відновлюваних джерел енергії та екологічна гармонізація суспільного розвитку. Охарактеризовано різні типи малих ГЕС та види сучасних гідротурбін. Наведено характеристику малих ГЕС.

На основі аналітичного вивчення літературних джерел сформульовано основні завдання і напрямки досліджень. Дана робота пов'язана з визначенням факторів, які можуть підвищити ефективність використання гідротурбіни на річці, а саме: вибір правильних кутів установки робочих і напрямних лопаток для номінального режиму роботи турбіни, а також правильність режимів, установки кутів які відрізняються від номінального.

У другому розділі «Основна частина» використано порівняльні теоретичні дослідження основних параметрів чотири-, три- і дволопатевої гідротурбін пропелерного типу. Три- та дволопатевої гідротурбіни вивчені недостатньо. Це пов'язано з тим, що для напорів від 5 до 10 м і високих швидкостей обертання робочих коліс під час їх роботи може відбуватися кавітаційне руйнування лопатей. Однак для особливо низьких напорів (до 5 м) і не дуже високих швидкостей обертання робочих коліс (до 800 об/хв) кавітації практично не буде. Саме такі напори є характерними для малої гідроенергетики.

Запропоновано новий підхід до проектування турбін для низьконапірних малих ГЕС: для заданої швидкості обертання і заданого напору розраховується діаметр робочого колеса, витрату води і потужність гідротурбіни. Такий підхід дозволяє застосувати без редукторні гідроагрегати і забезпечувати роботу гідротурбіни за найвищих значень ККД ($\eta=90\div 92\%$).

Завдяки відсутності підвищувальних редукторів чи пасових передач ККД гідроагрегатів набувають максимально можливих значень. Усе це дає в підсумку значний економічний ефект. Для прикладу розраховано три- та дволопатеві робочі колеса пропелерної гідротурбіни для напору 3.97 м і швидкості обертання 760 об/хв. В якості подібної вибрано чотирилопатева гідротурбіну з коефіцієнтом швидкості що дорівнює $n_{S(4)} = 385$.

Для визначення швидкохідності трилопатевого робочого колеса використовується аналогічний показник чотирилопатевого колеса і коефіцієнт поправки k_3 , що залежить від швидкості обертання робочих коліс агрегатів у нормальних умовах. Даний коефіцієнт визначається зі співвідношення:

$$k_3 = \frac{n_2}{n_1} = 1.21 \quad (1)$$

де n_1 та n_2 – швидкості обертання подібних коліс (чотири- та трилопатевого).

В результаті коефіцієнт швидкохідності трилопатевої гідротурбіни $n_{S(3)}$:

$$n_{S(3)} = n_{S(4)} \cdot k_3 = 385 \cdot 1.21 = 466 \quad (2)$$

Для визначення коефіцієнта швидкохідності дволопатевого робочого колеса, коефіцієнт поправки k_2 визначено за тим же принципом співвідношення швидкостей подібних чотири- та дволопатевого робочих коліс і становить:

$$k_2 = \frac{n_2}{n_1} = 1.81.$$

Коефіцієнт швидкохідності дволопатевого робочого колеса $n_{S(2)}$:

$$n_{S(2)} = n_{S(4)} \cdot k_2 = 385 \cdot 1.81 = 697$$

З використанням методу підйомних сил та методу розподілу вирів визначено геометрію три- та дволопатевого робочого колеса. Для розрахунку форми решітки профілю накреслено контури колеса і вибрано розрахункові перерізи лопаті. Кількість перерізів три, крайні вибрано на відстані 10 мм від камери і втулки робочого колеса як показано на рис. 1.

За допомогою методу розподілу вирів розраховано нескінченно тонкі, дещо вигнуті профілі. Дія потоку на профіль імітується вирами, що розміщуються за відповідним законом вздовж скелету профілю. У першому наближенні вири розміщують вздовж хорди профілю – в ході дослідження визначають форму профіля. В кінцевому результаті розрахунковим шляхом визначено певні точки (координати), розмістивши які в системі координат дозволять побачити кривизну профілю на одному з перерізів останнього.

Метод підйомних сил заключається в тому, щоб для кожної решітки з атласу гідродинамічних профілів вибирати експериментально відпрацьований профіль,

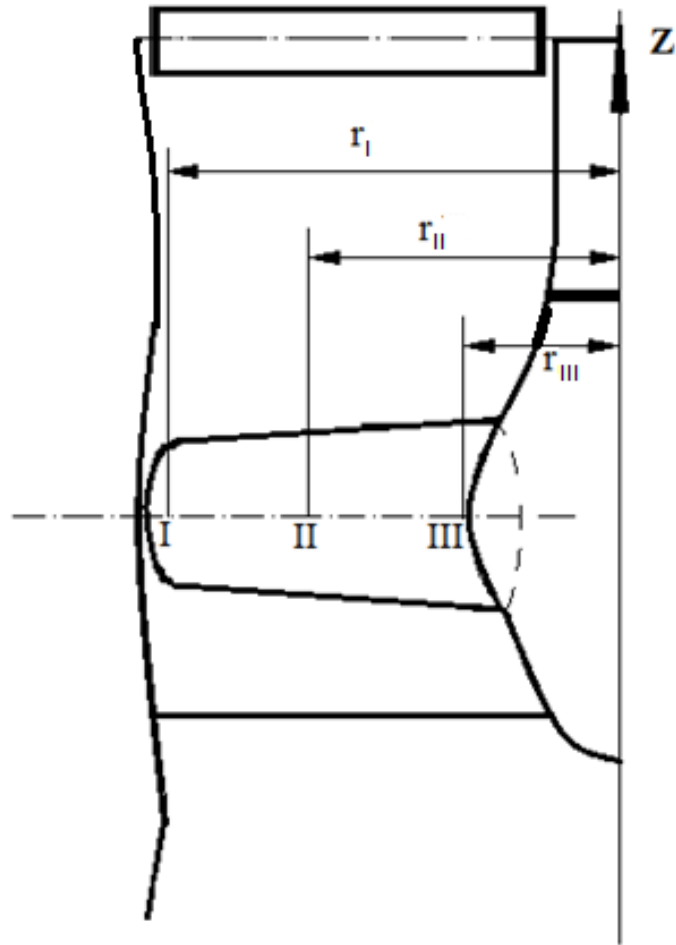


Рис. 1. Вибір розрахункових перерізів лопаті: r_I – периферійний переріз; r_{II} – серединний переріз; r_{III} – втулочний переріз

що забезпечує необхідне значення коефіцієнта підйомної сили для заданих умов. Побудова профілів кінцевої товщини виконується не розрахунковим способом, а користуючись максимальною товщиною і законом розподілу товщини одного з симетричних профілів. Для три- та дволопатевого робочих коліс при визначенні кінцевої товщини профілю, прийнятий закон розподілу товщини аналогічно профілю ВІМГ – 15 з максимальним значенням товщини профілю у відсотках $\delta_{\text{махт}} = 20\%$. В результаті максимальна товщина профілю для трилопатевої гідротурбіни складає 20.5 мм біля втулки і мінімальна 4.5 мм на периферії. Для дволопатевої максимальна товщина профілю біля втулки 22.8 мм, а мінімальна на периферії і складає 4.7 мм.

У третьому розділі «Спеціальна частина» за допомогою програмного забезпечення SolidWorks було побудовано модель робочого колеса гідротурбіни Каплана, на якій був розглянутий розподіл швидкості та тиску на лопаті у робочому елементі гідротурбіни при зміні їх кута нахилу. Було визначено, що оптимальний кут атаки досягається під час нахилу лопаток 30° , при цьому швидкість потоку у робочому елементі складає 0,62 м/с, а тиск на лопаті 102311 Па. У програмному забезпеченні RETScreen 4 була розрахована міні ГЕС з гідротурбіною Каплана, у результаті було отримано потужність станції 150 кВт, та виробіток річної електроенергії 1167 МВт год.

У четвертому розділі «Обґрунтування економічної ефективності» проведено розрахунок ефективності та економічної доцільності використання гідротурбін з три- та дволопатевиими робочими колесами.

При встановленні трилопатевого робочого колеса, капіталовкладення складуть 897 000 грн, а кількість електроенергії, що виробляється гідротурбіною за рік дасть прибуток у розмірі 1 258 285 грн, термін окупності дано-го проекту складе 30 місяців.

Якщо використовувати дволопатеве робоче колесо у гідротурбіні, то капіталовкладення будуть відповідати сумі 938 397 грн, кількість електроенергії, яку вироблятиме дана гідротурбіна за рік, принесе прибуток у розмірі 2 775 168 грн. Термін окупності даного проекту складе 6 місяців.

У п'ятому розділі «Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях» описано основні вимоги безпечної експлуатації гідротехнічних споруд, правила безпечної експлуатації гідротурбінного устаткування, а також методи та засоби підвищення стійкості роботи об'єктів енергетики у воєнний час.

У шостому розділі «Екологія» розглянуто особливості взаємодії ГЕС із навколишнім середовищем та проаналізовано вплив на довкілля міні- і мікроГЕС – одного з напрямків розвитку альтернативної енергетики.

ВИСНОВКИ

1. У проведеному літературному огляді розглядались питання використання енергії малих річок України, а саме їх гідроенергетичний потенціал для вироблення електроенергії. Підкреслено, що основою ефективної енергетичної політики сучасності повинні стати: енергобезпека, енергоефективність, енергозбереження, використання відновлюваних джерел енергії та екологічна гармонізація суспільного розвитку. Охарактеризовано різні типи малих ГЕС та види сучасних гідротурбін. Наведено характеристику малих ГЕС.

2. Встановлено, що за рахунок узгодженого регулювання кутів нахилу робочих і напрямних лопаток змінюється швидкість водяного потоку та забезпечується оптимальний кут атаки, що в кінцевому підсумку сприяє досягненню максимально можливих значень ККД гідротурбіни для різних режимів її роботи.

3. Під час теоретичного оцінювання ефективності роботи гідротурбіни визначено, що оптимальний кут атаки досягається за умови встановлення кута нахилу робочих лопаток 30° (на периферії); при цьому швидкість водяного потоку в зоні робочого колеса складає 0,62 м/с, а тиск на лопаті – 102311 Па.

4. Теоретично доведено, що швидкість обертання робочого колеса гідротурбіни обернено пропорційна кількості лопатей, тобто у випадку зменшення їх кількості удвічі швидкість обертання робочого колеса, навпаки, зросте майже у два рази (точніше, в 1,81 рази).

5. Техніко-економічні розрахунки показали, що встановлення трилопатевиих робочих коліс у осьових турбінах, які працюють за напорів до 5 метрів, є ефективним не тільки в технічному, але й у фінансовому плані, оскільки

термін окупності гідроагрегатів з такими робочими колесами не перевищує 4 років (наприклад, становить 3 роки та 6 місяців для безредуктор-ного агрегату мікроГЕС, який працює за напору нетто 3,97 м і швидкості обертання робочого колеса 760 об/хв).

6. Запропоновані рішення дозволять застосовувати в гідроагрегатах низьконапірних (до 5 метрів водяного стовпчика) мікроГЕС тихохідні електрогенератори серійного виробництва без використання мультиплікаторів, що суттєво зменшить собівартість гідроагрегатів та експлуатаційні витрати, які пов'язані з їх обслуговуванням.

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати роботи

Галінський А.М. Підвищення енергоефективності малої гідроенергетики на базі пропелерних гідротурбін і підвідних трубопроводів сифонного типу. // М.М. Зінь, А.М. Галінський // Збірник тез доповідей. Матеріали VIII міжнародної науково - технічної конференції «Актуальні задачі сучасних технологій» (м. Тернопіль, 27 - 28 листопада 2019р.) / М-во освіти і науки України, Тернопільський нац. техн. ун-т ім. І. Пулюя – Т.: ТНТУ, 2019. – Т.3. С. 27.

АНОТАЦІЯ

Галінський А.М. Підвищення енергоефективності малої гідроенергетики на базі пропелерних гідротурбін і підвідних трубопроводів сифонного типу. – **Рукопис.**

Дипломна робота магістра за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. – Тернопільський національний технічний університету імені Івана Пулюя, Тернопіль, 2019.

Дипломна робота присвячена розвитку науково-технічних основ підвищення ефективності роботи гідротурбінного устаткування малих гідроелектростанцій. Запропоновано та розраховано різні варіанти робочих коліс для гідротурбіни, а зокрема, трилопатевого та дволопатевого.

Доведено, що встановлення саме таких робочих коліс для напорів до 5 метрів є ефективним у фінансовому плані, оскільки за моїми розрахунками, термін окупності гідроагрегатів з такими робочими колесами становить відповідно 30 та 6 місяців (для напору 3,97 м і швидкостей обертання робочих коліс 760 об/хв). Запропоновані схеми дозволять застосовувати тихохідні електрогенератори серійного виробництва без використання підвищувальних редукторів, що суттєво зменшить ринкову вартість гідроагрегатів та експлуатаційні витрати, що пов'язані з їх обслуговуванням.

Ключові слова: лопать, гідротурбіна, робоче колесо, асинхронний генератор, редуктор.

ANNOTATION

Halinskyi Andrii. Energy efficiency increasing of small hydropower, based on the propeller-type wheel turbine and on incoming pipelines by syphon type – **Manuscript.**

Diploma paper for a Master's Degree, speciality 141 Electrical energetics, electrical engineering and electromechanics. – Ternopil Ivan Pul'uj National Technical University, Ternopil, 2019.

The thesis is devoted to development of scientific bases efficiency hydraulic turbine equipment of small hydropower plants. Proposed and developed various options for turbine rotors, 3 and 2 paddle.

It is proved that the establishment of such impellers for pressures up to 5 meters is effective in financial terms, because according to my calculations, the payback period of hydraulic units with impellers is respectively 30 and 6 months (pressure at 3.97 m and a speed of impellers 760 rev / min). These schemes allow the use of low-speed rotation of the generator without gears, which reduces the market value of hydroelectric units and operating costs associated with their service.

Keywords: blade, hydroturbine, impeller, asynchronous generator, reducer.