

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
(повне найменування вищого навчального закладу)

Навчально-науковий інститут інформаційних технологій та робототехніки
(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра автоматики, електроніки та телекомунікацій
(повна назва кафедри (предметної, шкільної комісії))

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи

бакалавр

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему Розроблення проекту малої портативної ГЕС для
домогосподарства

Виконав: студент 4 курсу, групи 401-МЕ
Спеціальності 141 «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»
(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Тютюнник А.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник Трет'як А.В.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Захарченко Р.В.

(прізвище та ініціали)

Полтава - 2025 рік

РЕФЕРАТ

кваліфікаційної роботи «Розроблення проєкту малої портативної ГЕС для домогосподарства»

Робота містить 61 сторінок, 10 ілюстрацій, 3 таблиць, 28 використаних джерел.

Ключові слова: мала гідроелектростанція (ГЕС), турбіна Пелтона, синхронний генератор з постійними магнітами, інвертор.

Об'єктом дослідження являється мініатюрна гідроелектростанція, що має постачати електрикою приватну оселю в автономному форматі.

Мета дослідження полягає у створенні ефективного технічного плану для домашньої мікро-ГЕС, що здатна гарантувати резервне або постійне електрозабезпечення в ситуації відсутності централізованої електромережі під час блекаутів, беручи до уваги наявний водний ресурс та обмежені розміри.

В результаті здійснення дослідження запропоновано компактну та ефективну конструкцію невеликої портативної ГЕС, яка здатна виробляти до 1 кВт електроенергії. Спроектована система може використовуватися як додаткове джерело живлення або як постійна автономна енергетична установка для домогосподарства.

ABSTRACT

"Development of a project for a small portable hydroelectric power plant for a household"

The work contains 61 pages, 10 illustrations, 3 tables, 28 sources used.

Keywords: small hydroelectric power plant (HPP), Pelton turbine, permanent magnet synchronous generator, inverter.


The object of the study is a miniature hydroelectric power plant, which is to supply electricity to a private home in an autonomous format.

The purpose of the study is to create an effective technical plan for a home micro-hydroelectric power plant, which is able to guarantee backup or constant electricity supply in the absence of a centralized power grid during blackouts, taking into account the available water resources and limited dimensions.

As a result of the study, a compact and efficient design of a small portable hydroelectric power plant, which is capable of generating up to 1 kW of electricity, was proposed. The designed system can be used as an additional power source or as a permanent autonomous energy installation for a household.

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
Інститут Навчально-науковий інститут інформаційних технологій та
робототехніки
Кафедра Автоматики, електроніки та телекомунікацій
Ступінь вищої освіти Бакалавр
Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри автоматки,
електроніки та телекомунікацій
 О.В. Шефер
«01» квітня 2025 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА Тютюннику Антону Вікторовичу

1. Тема роботи «Розроблення проекту малої портативної ГЕС для домогосподарства»
керівник роботи Трет'як Андрій Валерійович, к.т.н., доцент, затверджена наказом вищого навчального закладу №306/1 ф.а від 03.03.2025 року.
2. Строк подання студентом проекту (роботи) 10.06.2025р.
3. Вихідні дані до проекту (роботи) Необхідна потужність генерації 1кВт.
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Огляд та аналіз конструкцій малих ГЕС. Розразунок та вибір основних елементів малої ГЕС. Розроблення електромеханічної системи електростанції. Розрахунок електричних навантажень будівлі. Економічні показники проекту. Висновки.
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових плакатів):
 - 1) актуальність, мета та задачі розроблення;
 - 2) Таблиця з характеристиками основних компонентів (турбіна, генератор, контролер)
 - 3) Конструктивна схема міні-ГЕС
 - 4) Загальна схема міні-ГЕС
 - 5) Структурна схема малої ГЕС
 - 6) Електрична принципова схема силового щита
 - 7) Економічна оцінка капітальних витрат
 - 8) Графіки генерації електроенергії
 - 9) Висновки

Дата видачі завдання 01.04.2025р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Пор. №	Назва етапів магістерської роботи	Термін виконання етапів роботи			Примітка (плакати)
1	Огляд та аналіз конструкцій малих ГЕС	15.04.25		10%	Пл. 1, 2
2	Розрахунок та вибір основних елементів малої ГЕС	22.04.25	I	20%	Пл. 3, 4
3	Розроблення електромеханічної системи електростанції.	08.05.25		30%	Пл. 5
4	Розрахунок електричних навантажень будівлі.	22.05.25	II	40%	Пл. 6, 7
5	Економічні показники проєкту. Висновки	30.05.25		70%	Пл. 8, 9
6	Оформлення кваліфікаційної роботи	10.06.25	III	100%	

Студент

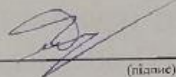


(підпис)

Тютюнник А.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи



(підпис)

Трет'як А.В.

(прізвище та ініціали)

Зміст

ВСТУП	7
1 ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЙ МАЛИХ ГЕС	9
1.1 Загальні відомості про гідроелектростанції	9
1.2 Функціонування ГЕС в енергетичних системах.	13
1.3 Розповсюджені різновиди саморобних гідроелектростанцій для домогосподарств	15
1.4 Вибір та порівняння гідротурбін Поперечної та Пелтона	15
1.5 Критерії вибору оптимального генератора для міні-ГЕС	17
1.6 Критерії вибору інвертора	19
1.7 Акумуляування енергії від малих-ГЕС	21
2 РОЗРАУНОК ТА ВИБІР ОСНОВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ МАЛОЇ ГЕС	23
2.1. Вхідні дані для розроблення міні-ГЕС	23
2.2. Розрахунок основних параметрів гідроенергетичної установки	24
2.3 Розрахунок витрати води	26
2.4 Розрахунок параметрів турбіни Пелтона	27
2.5 Розрахунок оптимальної граничної швидкості ковзів та частоти обертання турбіни	29
2.6 Вибір матеріалів та конструкції робочого колеса турбіни Пелтона	33
2.7 Вибір конструкції корпусу турбіни	35
2.8 Вибір конструкції форсунки (сопла) та голкового регулятора	36
2.9 Розрахунок параметрів електричного генератора	38
2.10 Вибір системи передачі обертового моменту: Прямий привід	41
2.11 Обґрунтування вибору 3-фазного генератора з постійними магнітами для ГЕС	43
2.12 Розрахунок випрямного пристрою для генератора	44
2.13 Вибір контролеру заряду	46
2.14 Вибір акумуляторної батареї	47
2.15 Обґрунтування вибраного інвертора	50
2.16 Вибір конструктивних елементів та матеріалів системи	51
3 РОЗДІЛ ПРОЕКТУВАННЯ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ МАЛОЇ ГЕС	55
3.1. Обґрунтування вибору гідравлічної турбіни та її принципова конструкція	55
3.2 Розробка електромеханічного блоку	56
3.3 Проектування системи керування	58
3.4 Генерація електроенергії малої ГЕС	61
Висновок	64
Список використаних джерел	65
Додаток А	68
Додаток Б	81

ВСТУП

Вода - одна з найбільш поширених речовин у природі та головна складова живих організмів. Один з незамінних і необхідних, і невичерпних ресурсів в сучасному світі і не тільки. За допомогою такого безцінного, в більшості випадках необмеженого ресурсу як H_2O , людство досягло прогресу. І в ХІХ столітті в одному з напрямів розвитку відбулася промислова революція люди почали виробляти електроенергію з сили течії води.[1]

Люди застосовували міць води з сивої давнини — вона стала одним з перших природних джерел енергії, що допомагало в розвитку цивілізації.

Також електроенергію виробляють з різних джерел, а саме, теплові електростанції, атомні електростанції, гідроелектростанції. Саме цікаве що в атомних і теплових також застосовується вода, її нагрівають до утворення пари, а пара обертає турбіну, а потім пара перетворюється вже в рідкий стан після охолодження.[2] Але навіть і на зараз вона не втратила актуальність.

У сучасній Україні, під час війни, коли відбуваються блекауті, коли ціни на електрику стрімко зростають, а перебої з електроенергією стають дедалі частими, питання енергетичної незалежності приватних осель постає на перший план. Одним із перспективних шляхів розв'язання цієї проблеми є використання малих гідроелектростанцій, що дозволяють ефективно використовувати природні багатства – потоки води – для отримання надійного джерела електроенергії.

За допомогою відновлювального джерела енергії портативні міні-ГЕС, можуть забезпечити себе електроенергією індивідуальні домогосподарства без необхідності будівництва масштабної інфраструктури. Та забезпечувати базові потреби побутового споживання буде технічно актуально так і з економічного зору.

Переваги малої портативної ГЕС численні: мобільність, легкість встановлення, екологічна безпека, а також здатність задовольнити базові

потреби в електроенергії незалежно від зовнішніх мереж. Такі установки особливо корисні для сільської місцевості та віддалених регіонів, де централізоване електропостачання відсутнє або не надійне. До того ж, розвиток технологій робить ці рішення доступними для широкого кола споживачів, зводячи до мінімуму витрати на монтаж та обслуговування.

Метою цього проекту – розробити технічний проект малої портативної гідроелектростанції (ГЕС), яка буде забезпечувати ефективне та стабільне електропостачання домогосподарства. Це дозволить зменшити залежність від централізованих джерел енергії. Проект передбачає створення компактної, енергоефективної та економічно вигідної установки, яка забезпечить сталий доступ до електричної енергії, використовуючи відновлюване джерело – воду, мінімізуючи при цьому вплив на навколишнє середовище.

Для досягнення поставленої мети потрібно виконати такі завдання:

1. Аналіз потреб домогосподарства в енергії:

Збір та вивчення даних щодо споживання електроенергії в середньому домогосподарстві.

Визначення необхідної потужності ГЕС, що забезпечить ефективне постачання енергії без перевантаження системи.

2. Вибір оптимальних технічних характеристик для портативної ГЕС:

Оцінка можливих варіантів гідротурбін для малих ГЕС

Визначення найбільш ефективної турбіни для умов малої висоти падіння води та низької витрати води.

Вибір відповідної системи регулювання та зберігання енергії.

3. Розробка конструктивного рішення ГЕС:

Розрахунок матеріалів для корпусу та конструктивних елементів, які забезпечать тривалу експлуатацію при мінімальних витратах на обслуговування.

4. Розробка схем:

Розробка схем та креслень, що описують роботу електричної системи.

Отже проєкт розроблення малої портативної ГЕС для домогосподарства буде корисним, хто хоче бути енергонезалежним, та не сидіти без електроенергії під час блекаутів.

1 ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЙ МАЛИХ ГЕС

1.1 Загальні відомості про гідроелектростанції

Гідроелектростанції (ГЕС) є одним з найдавніших, та водночас, найбільш перспективних шляхів видобутку електроенергії, задіюючи силу водного потоку. На відміну від традиційних ТЕС або АЕС, гідроелектростанції не вимагають спалювання пального, що суттєво мінімізує їх вплив на екологію та операційні витрати.

Принцип дії ГЕС базується що натиск води, спрямований на лопаті гідротурбіни, змушує її обертатися. У свою чергу, гідротурбіна, сполучена з генератором, також приводить його в рух. Генератор продукує електричну енергію, яка передається на трансформаторну станцію, а звідти – на лінії електропередач.

У машинній залі гідроелектростанції розміщені гідроагрегати, що перетворюють енергію водяного потоку на електричну, а безпосередньо у будівлі гідроелектростанції містяться всі необхідні розподільні пристрої, а також прилади для керування та контролю функціонування ГЕС.[3]

Потужність гідроелектростанції залежить від обсягу води та напору, що проходить через турбіни. Безпосередньо напір утворюється завдяки спрямованому руху потоку води. Це може бути вода, зібрана у греблі, коли в певній точці на річці споруджується гребля, або ж напір отримується завдяки деривації потоку – це коли вода відводиться від русла спеціальним тунелем чи каналом.

Отже, гідроелектростанції бувають греблеві, дериваційні та гребле-дериваційні. Найбільш поширені греблеві ГЕС мають в своїй основі греблю, яка перекриває русло річки. За греблею вода піднімається, накопичується, утворюючи своєрідний водяний стовп, що забезпечує тиск і напір. Чим вища гребля – тим сильніший напір. Найвища у світі гребля має висоту 305 метрів, це

гребля на Цзіньпінській ГЕС потужністю 3600 МВт, що на річці Ялунцзян у західній частині провінції Сичуань на Південно-Західній території Китаю.[3]

Гідроелектростанції, що використовують енергію води, бувають двох типів. Якщо річка має невелике падіння, але відносно багатоводна, то за допомогою греблі, що перекриває річку, створюють достатню різницю рівнів води.

Над греблею утворюється водосховище, що забезпечує рівномірну роботу станції протягом року. Біля берега нижче греблі, в безпосередній близькості до неї встановлюється водяна турбіна, сполучена з електричним генератором (пригреблева станція). Якщо річка судноплавна, то біля протилежного берега облаштовується шлюз для пропуску суден. Якщо ж річка не дуже багатоводна, але має значне падіння та бурхливу течію (наприклад, гірські річки), то частина води відводиться по спеціальному каналу, що має набагато менший ухил, ніж річка. Канал цей інколи сягає довжини у декілька кілометрів. Іноді умови місцевості вимагають заміни каналу тунелем (для потужних станцій). Таким чином формується значна різниця рівнів між вихідним отвором каналу та нижньою течією річки. Наприкінці каналу вода надходить в трубу з крутим нахилом, біля нижнього кінця якої розміщується гідротурбіна з генератором.

Завдяки значній різниці рівнів вода набуває велику кінетичну енергію, достатню для живлення станції.

Класифікація гідроелектростанцій

Гідроелектростанції класифікуються за декількома основними критеріями:

1) За встановленою потужністю:

Великі ГЕС — понад 100 МВт;

Середні ГЕС — від 10 МВт до 100 МВт;

Малі ГЕС — до 10 МВт;

Мікро-ГЕС — до 100 кВт;

Мікро-ГЕС знайшли широке застосування у приватному секторі, для живлення окремих будівель або невеличких населених пунктів, особливо у віддалених районах без доступу до централізованих електричних мереж.[3]

2) За типом використання енергії води:

- Напірні ГЕС — використовують значні перепади висоти (напору);
- Безнапірні (руслові) — працюють на природному потоці річки без створення штучного напору;
- Комбіновані — застосовують як напір, так і кінетичну енергію течії.

3) За характером споживання енергії:

- З постійним навантаженням — забезпечують стабільне живлення;
- З регульованим навантаженням — використовують акумулюючі системи або гібридні схеми.

-Вибір турбіни залежить від гідрогеологічних особливостей: висоти напору та витрати води.

Найбільші класифікації гідравлічних турбін, як наведено на рисунку 1.1 є:

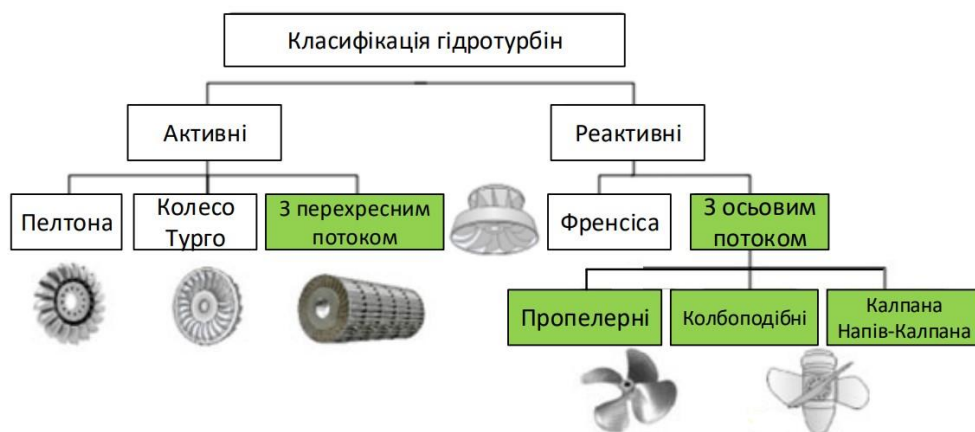


Рисунок 1.1 Класифікація гідравлічних турбін

Турбіна Пелтона. В цій системі вода спрямовується крізь сопла, спрямовуючись по дотичній до кола, яке проходить крізь середину ковша. Виринаючись із сопла, вода формує швидкоплинний струмінь, який діє на лопаті (ківші) та примушує колесо крутитися. На цьому колесі може бути до 40 лопатей та щонайбільше 6 сопел. Лопаті турбіни оснащені лезом посередині, яке розділяє струмінь, зменшуючи зношення лопатей та покращуючи ефективність використання енергії. Цей тип турбін застосовується для великих напорів, починаючи від 60 метрів.[4]

Турбіна Турго. Ефективно працює в діапазоні напорів від 50 - 250 метрів. Схожа до турбіни Пелтона, проте має відмінності у формі ковшів та способі спрямування водяного потоку, що падає на площину ротора під кутом 20 градусів. У порівнянні з турбіною Пелтона, турбіна Турго виявляє більшу швидкість за аналогічних напірних показників та обсягів потоку води, хоча її коефіцієнт корисної дії (ККД) дещо нижчий.[3]

Перехресно-струминна турбіна. Вода надходить у турбіну крізь один або декілька спрямовуючих каналів, що розташовані вище за течією від робочого колеса, та двічі перетинає його, перш ніж вийти з турбіни. Діапазон робочих напорів коливається від 5 - 200 метрів. Ця турбіна демонструє низький ККД порівняно з іншими типами, проте є відносно недорогою, а її ремонт простий та економічний. Ці риси роблять її привабливим рішенням для застосування в сільській місцевості.[3]

Турбіна Френсіса. Цей тип турбіни має фіксовані лопаті ротора та регульовані направляючі лопаті. Вода в роторі рухається від периферії до центру, а потім вздовж осі. Отже, вхідний отвір завжди має радіальний напрям, а вихідний – осьовий. Зазвичай, ці турбіни застосовують за напорів від 25 - 600 метрів. Головні переваги – високий ККД, проте вони мають більш круту характеристику у порівнянні з турбінами Каплана.[3]

Турбіни Каплана та пропелерні турбіни. Ці турбіни мають осьовий напрямок потоку. Турбіна Каплана передбачає можливість регулювання лопатей та, іноді, направляючих апаратів. Коли обидва види лопатей можуть регулюватися, така турбіна класифікується як турбіна з подвійним регулюванням. Якщо робочі лопаті фіксовані, тоді це – пропелерна турбіна. Найчастіше, ці турбіни працюють з напорами від 2- 40 метрів.[3]

Колбоподібна турбіна. Є модифікацією турбін Каплана, де генератор розташовано у водонепроникному корпусі, який занурюється у потік води. Ефективно функціонує в діапазоні напорів від 0.5 - 30 метрів.

Враховуючи, що малі гідроелектростанції часто мають обмежені обсяги води у водосховищах або взагалі їх не мають, вони, звичайно, працюють за умов великої швидкості течії та малих напорів.[5]

1.2 Функціонування ГЕС в енергетичних системах.

Робота гідроелектростанцій (ГЕС) в енергосистемах характеризується певними рисами, що виникають внаслідок залежності від річкового стоку, так і режимами функціонування водосховищ багатфункціонального призначення.

Також впливають обмеження, що накладаються умовами нижнього б'єфу та потребами охорони довкілля. Водосховища гідроелектростанцій (ГЕС) в залежності від корисного об'єму можуть регулювати виробіток енергії у добовому, тижневому, сезонному та багаторічному режимах. Разом з тим, якщо рік маловодний (зазвичай за розрахунковий беруть маловодний рік з 90-95% забезпеченістю), ГЕС зобов'язані гарантувати розрахункову віддачу енергії, щоб виконати свою частку графіка навантажень енергосистеми.

Водосховище, яке застосовується для добового регулювання, дозволяє перерозподілити природний добовий стік води. Це необхідно для забезпечення нерівномірної роботи ГЕС з метою покриття пікової частини графіка навантажень.[3]

У періоди зниження електричних навантажень в енергосистемі у вихідні дні, при тижневому регулюванні, потужність та виробництво електроенергії ГЕС зменшуються. Невикористаний стік накопичується у водосховищі і використовується у робочі дні тижня, що сприяє збільшенню енерговидачі ГЕС.

В умовах сезонного та багаторічного регулювання, в період маловоддя, водосховище ГЕС забезпечує покриття пікової частини добового графіка навантажень. Це відбувається завдяки природному притоку води до водосховища протягом доби, а також використанням корисного об'єму, який було попередньо накопичено у водоймищі.[3]

У час повеней, задля максимального залучення гідроенергетичних ресурсів та уникнення невикористаних скидів води, зазвичай всі гідроагрегати ГЕС працюють на максимальній потужності безперервно. Це дозволяє виробляти

якомога більше електроенергії, уникнувши потреби в денному регулюванні, забезпечуючи базову складову графіку навантажень енергосистеми. Завдяки цьому, досягається загальна економія палива, хоча в цей період деякі ТЕС вимушені функціонувати в нерівномірному режимі, особливо у піковій частині графіку.

На ГЕС, що володіють водосховищами зі значним корисним об'ємом, доцільно розташовувати аварійний резерв системи з тривалим часом спрацювання. Також на ГЕС передбачено розміщення навантажувального резерву системи, необхідного для підтримки частоти в енергосистемах.

Наприклад, в ОЕС України ГЕС Дніпровського каскаду та Дністровська ГЕС виконують функцію аварійного резерву, проте комплексне використання їхніх водосховищ накладає певні обмеження на режими роботи ГЕС як резерву ОЕС. Відповідно, їхнє застосування в аварійних випадках може завдати збитків в інших галузях, зокрема рибному господарстві.

Більшість гідроелектростанцій (ГЕС) також використовують режим синхронного компенсатора для продукування реактивної потужності.

Функціонування об'єднаних енергосистем, де значна доля належить ГЕС, залежить від регулювання стоку водоймищ, а також від корекції виробництва електроенергії під час спільної роботи каскадів ГЕС у енергосистемі через природну нерівномірність стоку рік. Скажімо, у зв'язку з асинхронністю стоку річок Ангара та Єнісей, а також через відмінності в регуляторних можливостях водосховищ каскадів ГЕС, розташованих на цих річках, додатково отримують приблизно 500 МВт в Об'єднаній енергосистемі Сибіру (Росія), де частка ГЕС є досить високою майже 50%.[3]

Гідроелектростанції виконують роль ключового системоутворюючого елемента. Зведення великих гідроелектричних каскадів та високовольтних ліній для передачі їхньої потужності часто ставало основою формування об'єднаних енергетичних систем.

Робота ГЕС відзначається високою надійністю, вірогідність аварійних ситуацій на них суттєво нижча, ніж на теплових електростанціях, де аварії

пов'язані з використанням у технологічному процесі надзвичайно високих температур та тисків, а також більшими запасами палива та ін.[3]

1.3 Розповсюджені різновиди саморобних гідроелектростанцій для домогосподарств

Як зазначалося з рисунка 1.1 класифікації гідротурбін в залежності від своєї будови та способу функціонування, розрізняють декілька базових видів саморобних гідроелектростанцій.

Гірлянда. Конструкція включає трос, натягнутий від одного берега річки до іншого. На цьому тросі закріплені ротори, що обертаються під впливом потоку води. Ці ротори, у свою чергу, приводять у рух трос, один кінець якого з'єднано з підшипником, а інший - з валом генератора.

Водяне колесо. Ключовий елемент саморобної малої гідроелектростанції. На колесі розташовані лопаті, розміщені перпендикулярно до водної поверхні. Вода тисне на ці лопаті, викликаючи обертання колеса.

Пропелер. Ідеальний варіант для міні-ГЕС, якщо ширина річища перевищує 10 метрів. Ротор пропелера розташовується вертикально. Лопаті пропелера невеликі, близько 2 см. Якщо швидкість течії річки перевищує 2 метри на секунду, доцільно розглянути інші розміри лопатей.

Ротор Дар'є. Це вертикальний ротор, який обертається за рахунок різниці тиску на його лопатях.[4]

1.4 Вибір та порівняння гідротурбін Поперечної та Пелтона

Одним з ключових етапів у розробці проекту портативної гідроелектростанції для домогосподарства є вибір різновиду турбіни. Саме від цього залежить продуктивність генерації електроенергії, надійність роботи системи, простота виготовлення та технічного обслуговування. Серед багатьох видів турбін, які використовуються в малих та мікро-ГЕС, найбільш придатними для умов індивідуального домогосподарства є турбіна з поперечним потоком (також відома як турбіна Банкі або Банкі-Мітчелла) та турбіна Пелтона (ківшова турбіна).

Турбіна з поперечним потоком

Цей різновид турбіни має конструкцію у вигляді циліндричного барабана з лопатями всередині (рис. 1.2). Потік води проходить через ротор двічі — спершу зовні всередину, потім зсередини назовні, що дозволяє краще використовувати енергію потоку. Така турбіна добре підходить для джерел із невеликим напором (зазвичай до 10 метрів) і великою витратою води. Її переваги - це легке виготовлення, і відносно низька вартість, а також можливість ручного збирання без складного обладнання. Водночас конструкція чутлива до засмічення, має більші габарити та нижчий ККД за неправильного виготовлення.[6]

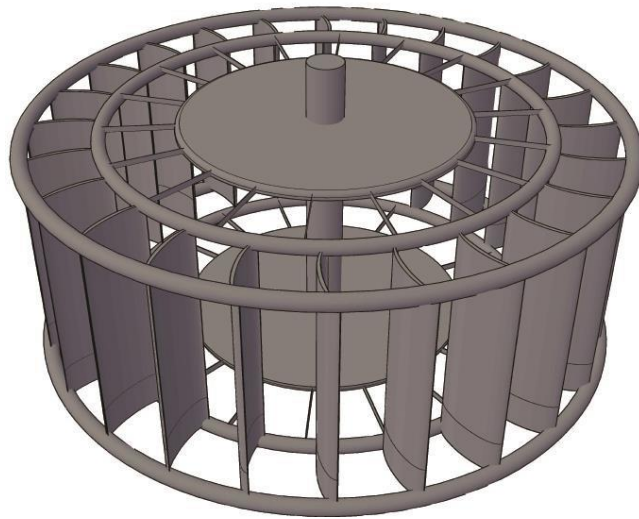


Рисунок 1.2 Турбіна з поперечним потоком

Турбіна Пелтона

Ківшова турбіна Пелтона, навпаки, розрахована на роботу при високому напорі води та малій витраті. Вона складається з диска з ковшами, які розташовані по колу та приводяться в обертання вузьким потужним струменем води з форсунки (рис. 1.3). Завдяки формі ковшів, турбіна ефективно перетворює кінетичну енергію струменя у механічну, забезпечуючи високий ККД. Вона є оптимальним варіантом для гірських районів або систем, де можна створити напір понад 10–15 метрів. Попри складнішу конструкцію, її перевагами є компактність, енергоефективність і стійкість до забруднень.

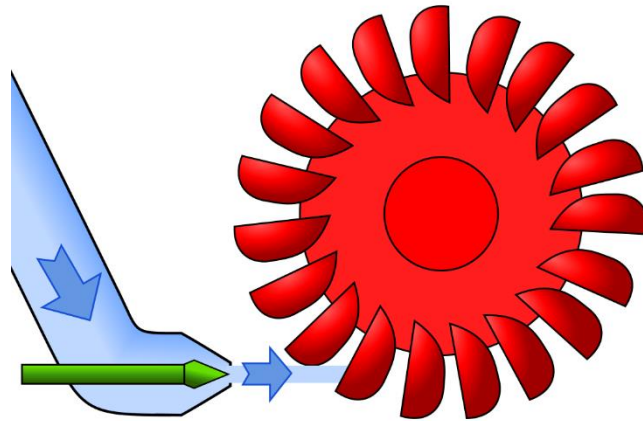


Рисунок 1.3 Турбіна Пелтона

Аргументація вибору: з урахуванням вимог до портативності, автономності та ефективної роботи в умовах обмеженого ресурсу води, для цього проєкту обрано турбіну Пелтона. Такий вибір зумовлений можливістю забезпечити стабільну генерацію електроенергії при невеликій витраті води, що особливо актуально для побутових умов. Крім того, її компактна конструкція краще підходить для встановлення в умовах обмеженого простору або змінного середовища. Турбіна з поперечним потоком також має переваги, проте потребує більшої витрати води та складніша в реалізації для мобільного застосування.[6]

1.5 Критерії вибору оптимального генератора для міні-ГЕС

Одним із ключових компонентів будь-якої гідроелектростанції є генератор — пристрій, що здійснює перетворення механічної енергії обертального руху в електричну енергію. У контексті проєктування малої портативної гідроелектростанції для домогосподарства вибір та аналіз типу генератора мають критично важливе значення, оскільки саме цей елемент визначає загальну ефективність системи електропостачання, її надійність та здатність задовольнити потреби споживачів.

Установка такого типу функціонує в специфічних умовах: змінна швидкість потоку води, невелика висота напору, коливання навантаження від побутових приладів. Генератор у цьому контексті має бути не лише енергоефективним, а й адаптивним до зміни зовнішніх умов. До того ж, у зв'язку з портативністю

установки, важливими стають компактність, простота обслуговування і можливість монтажу без спеціального обладнання. [7]

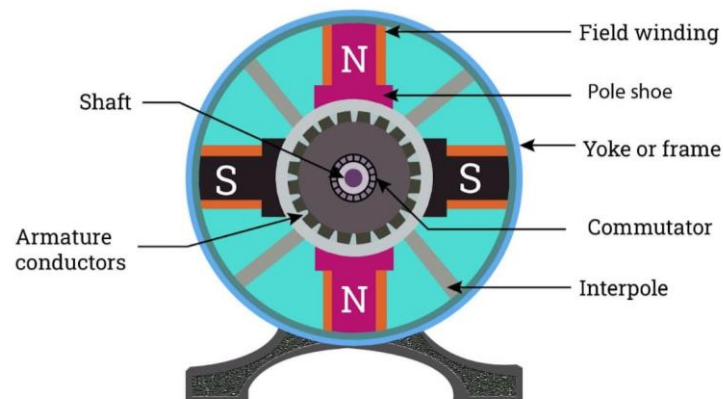


Рисунок 1.4 Структурна схема ДПС

Типи генераторів, що застосовуються в малих ГЕС

На практиці в малій гідроенергетиці застосовують кілька типів генераторів, які мають як переваги, так і недоліки. Розглянемо основні з них.

Генератор постійного струму (DC):

Цей тип генератора широко використовується в саморобних міні-ГЕС завдяки простоті конструкції та здатності працювати на низьких обертах. Головна перевага — можливість безпосередньої зарядки акумуляторів, що дає змогу накопичувати енергію і використовувати її в разі відсутності потоку води. Недоліком є обмежена потужність та необхідність інвертора для перетворення напруги в змінну, придатну для побутових приладів.

Синхронний генератор змінного струму:

Це генератор, що виробляє електроенергію зі стабільною частотою та напругою, за умови підтримки постійної швидкості обертання. Для стабільної роботи такої системи необхідно або мати стабільний водний потік, або використовувати систему автоматичного регулювання обертів турбіни. У домашніх умовах це ускладнює реалізацію, проте такий варіант придатний для безпосереднього живлення побутових приладів без проміжних перетворень.

Асинхронний генератор:

Застосовується рідше через особливості роботи — потребує зовнішнього збудження (наприклад, підключення до наявної мережі або використання конденсаторної батареї). Проте має добру механічну надійність і просту конструкцію. В умовах портативної ГЕС не є оптимальним рішенням, оскільки потребує складнішої пускової схеми.[8]

Вимоги до генератора у складі портативної ГЕС

Оскільки проєктована установка має забезпечити приблизно 1 кВт електричної потужності, основними вимогами до генератора є:

- ✓ Надійність у роботі за нестабільного навантаження.
- ✓ Можливість роботи на змінних обертах турбіни.
- ✓ Компактність і зручність кріплення до турбіни.
- ✓ Придатність до зарядки акумуляторних батарей або сумісність з інвертором.

У контексті обраної турбіни Пелтона, яка працює при значному напорі і може забезпечити стабільні високі оберти, доречним виглядає застосування синхронного генератора.

Обирати конкретні типи і моделі генератора остаточно буде здійснено на наступному етапі проєктування — після розрахунку обертальної частини турбіни.

1.6 Критерії вибору інвертора

Інвертор – це електронний прилад, який перетворює постійний струм (DC), що надходить від акумуляторів чи генератора постійного струму, на змінний струм (AC), придатний для забезпечення живлення звичайних побутових приладів.. У системах автономного енергозабезпечення, таких як малі гідроелектростанції, інвертор є ключовим компонентом між джерелом енергії та кінцевим споживачем.

Якщо генератор виробляє постійний струм або електрика зберігається в акумуляторних батареях, інвертор забезпечує необхідне перетворення струму до параметрів 220 В та 50 Гц – стандарту, який використовується у більшості побутових мереж. Таким чином, він дає змогу використовувати електроенергію

для освітлення, холодильників, насосів, зарядних пристроїв, комп'ютерів та іншої домашньої техніки.

Інвертори поділяються на декілька типів за формою вихідної напруги:

Інвертори з модифікованою синусоїдою – мають простішу конструкцію та нижчу вартість, але можуть викликати збої в роботі деяких чутливих електроприладів;

Інвертори з правильною (чистою) синусоїдою – забезпечують напругу, максимально наближену до тієї, що подається від централізованої мережі, і є найкращими для стабільної роботи більшості пристроїв.

У проєкті малої гідроелектростанції інвертор виконує подвійну функцію: з одного боку, він дозволяє ефективно використовувати енергію, що накопичена в акумуляторах, а з іншого – виступає як елемент автоматизації, керуючи перемиканням джерел живлення (наприклад, з генератора на батарею і навпаки).

Сучасні інвертори часто оснащені вбудованими захистами від перевантаження, короткого замикання, перегріву та надмірного розряду акумуляторів. Це дозволяє підвищити надійність та безпеку роботи всієї системи, а також продовжити термін служби елементів енергопостачання.[9]

Інвертор є невід'ємною складовою автономної гідроелектростанції, що забезпечує повноцінне використання виробленої електроенергії в побуті. Саме завдяки йому стає можливим перетворення постійного струму, накопиченого в акумуляторах або отриманого від генератора, у змінний струм із параметрами, необхідними для живлення домашніх електроприладів.

Правильний вибір інвертора – за потужністю, типом вихідної напруги та наявністю систем захисту – значною мірою визначає ефективність, безпеку та довговічність роботи всієї енергосистеми. У поєднанні з генератором та акумуляторами він формує гнучку, надійну та зручну у користуванні резервну систему електропостачання для домогосподарства.

1.7 Акумулявання енергії від малих-ГЕС

Акумуляторна батарея відіграє ключову роль у системі накопичення електроенергії для малих гідроелектростанцій. Вона дозволяє зберігати надлишки енергії, що виробляються генератором під час роботи станції, та забезпечувати живлення споживачів тоді, коли водяний потік зменшується, турбіна припиняє роботу, або споживання електроенергії перевищує поточне виробництво. Завдяки цьому автономна ГЕС здатна функціонувати стабільніше й ефективніше, навіть в умовах мінливої природи.

Основна задача акумулятора – служити буфером між виробництвом та споживанням електроенергії. За відсутності сонця, вітру чи водного потоку, тільки акумулятор дозволяє системі продовжувати подачу струму до навантаження. Це особливо критично для побутових потреб, де надійність електропостачання є надзвичайно важливою.

Для малих гідроелектростанцій найчастіше використовуються свинцево-кислотні (гелеві або AGM) або літій-іонні акумулятори. Кожен тип має свої переваги. Свинцево-кислотні акумулятори характеризуються доступною вартістю, простотою в експлуатації та перевіреною надійністю. Літій-іонні акумулятори є легшими, мають більший ресурс циклів заряд-розряд, кращу енергоємність і швидше заряджаються, але їхня вартість вища.

Ємність акумуляторного блоку визначається з урахуванням планованого навантаження та тривалості автономної роботи. Необхідно, щоб батарея не тільки витримувала кілька годин активного споживання електроенергії, але й не розряджалася надто глибоко, що може скоротити її термін служби. Тому в системі, як правило, застосовуються контролери заряду, які захищають акумулятор від перевантаження, надмірного заряду та глибокого розряду.[10]

Акумуляторна батарея встановлюється у сухому приміщенні або корпусі, захищеному від вологи та температурних коливань. Вона повинна бути легкодоступною для обслуговування та контролю стану заряду. Крім того, важливо забезпечити вентиляцію (особливо для свинцевих акумуляторів), щоб уникнути накопичення газів під час роботи.

В загальній структурі автономної ГЕС, акумулятор виконує роль стабілізатора, дозволяючи згладжувати нерівномірності у виробництві електроенергії та гарантувати надійне живлення побутових приладів у будь-який момент. У взаємодії з інвертором та генератором, він утворює повноцінну автономну систему резервного живлення.

Висновки до розділу 1

У першому розділі були розглянуті ключові елементи компактної портативної гідроелектростанції, які формують її базову структуру та визначають працездатність. Особлива увага була зосереджена на виборі та властивостях турбіни – основного компонента, що перетворює енергію потоку води на механічну енергію обертання. Підбір оптимального типу турбіни гарантує максимальне використання гідроенергетичного потенціалу з мінімальними втратами.

Також було розглянуто різні типи генераторів для гес такі як: синхронні, асинхронні і генератори постійного струму. Було підкреслено важливість відповідності генератора умовам експлуатації та особливостям навантажень у побутовому секторі.

Отже, всебічний аналіз основних складових малої гідроелектростанції дає змогу створити ефективну, надійну та зручну у використанні систему автономного електропостачання домогосподарства, яка може успішно працювати у віддалених чи автономних умовах.

2 РОЗРАЗУНОК ТА ВИБІР ОСНОВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ МАЛОЇ ГЕС

2.1. Вхідні дані для розроблення міні-ГЕС

Мала гідроелектростанція (ГЕС), що проектується в роботі призначена для забезпечення електрикою домогосподарства або невеликого об'єкта, розташованого в автономних умовах, зокрема в гірській місцевості з наявними водними потоками. Портативність системи дозволяє її легке транспортування та швидке розгортання, що вкрай важливо для місць, де централізована електромережа відсутня або її підключення економічно не вигідне. Виходячи з цих загальних цілей, визначаються наступні ключові вимоги до проекту, що слугують основою для подальших обчислень та конструктивних рішень:

- **Бажана вихідна електрична потужність (Рел):** Система має бути спроможна генерувати 1 кВт (або 1000 Вт) стабільної електричної потужності. Ця потужність є достатньою для живлення базового набору побутових приладів, таких як освітлення, зарядні пристрої, невеликі холодильники, насоси тощо, що забезпечує мінімальні потреби домогосподарства в автономних умовах.
- **Джерело енергії:** Гідравлічна енергія гірського водного потоку. Вибір цього джерела обумовлений його відновлюваністю, екологічністю та високою щільністю енергії порівняно з іншими джерелами відновлюваної енергії в умовах гірської місцевості.

Розрахунковий напір води (H): З огляду на типові умови гірських потоків, де часто є значні перепади висот на відносно коротких дистанціях, а також для забезпечення оптимальних параметрів турбіни Пелтона, розрахунковий напір води встановлено на рівні 20 м. Цей напір дозволяє отримати необхідну гідравлічну потужність при розумній об'ємній витраті води, що полегшує вимоги до водозабірних споруд та водоводу.

- **Тип гідравлічної турбіни:** Враховуючи розрахунковий напір 20 м та характерні для гірських потоків помірні витрати води, обирається турбіна Пелтона. Цей тип турбін ідеально підходить для високонапірних установок, забезпечуючи високий коефіцієнт корисної дії та ефективне використання енергії водного струменя.

Тип електричного генератора: Для забезпечення максимальної ефективності, надійності та можливості прямого приводу (без редуктора) обирається трифазний синхронний генератор з постійними магнітами (PMSG). Цей тип генераторів характеризується високим ККД навіть на низьких обертах, відсутністю щіткового вузла (що зменшує потребу в обслуговуванні) та компактністю.

Вихідна напруга та тип струму: Система повинна генерувати постійний струм напругою 48 В для ефективної зарядки акумуляторних батарей. Після акумуляторів, для живлення стандартних побутових приладів, передбачається перетворення постійного струму на змінний струм 220 В, 50 Гц за допомогою інвертора з чистою синусоїдою.

- **Енергонезалежність:** Система повинна забезпечувати автономне електропостачання, що передбачає інтеграцію акумуляторної батареї та відповідних перетворювачів (випрямляча та інвертора) для накопичення енергії та забезпечення стабільного живлення споживачів навіть у періоди нестабільної витрати води або пікових навантажень.
- **Портативність конструкції:** Загальна конструкція ГЕС повинна бути максимально компактною та мати модульну структуру, що дозволить її транспортування та швидке розгортання без залучення важкої спеціалізованої техніки. Маса окремих компонентів має бути розрахована з урахуванням можливості їх перенесення двома-трьома особами.[11]

2.2. Розрахунок основних параметрів гідроенергетичної установки

Розрахунок параметрів системи є критично важливим для визначення її технічної життєздатності, економічної доцільності та ефективності. Всі розрахунки базуються на фундаментальних законах збереження енергії та враховують коефіцієнти корисної дії кожного елемента системи. Це дозволяє перейти від теоретичних вимог до конкретних числових значень, необхідних для проектування та виготовлення компонентів.

Визначення необхідної гідравлічної потужності

Першим кроком у розрахунках є визначення гідравлічної потужності потоку води, яка необхідна для забезпечення заданої вихідної електричної потужності, враховуючи енергетичні втрати в системі. Загальна ефективність системи залежить від ККД генератора та гідравлічної турбіни.

Вхідні дані для обчислення:

- **Напір води (H):** 20 м (визначається різницею висот між точкою водозабору та місцем розташування турбіни).
- **Бажана вихідна електрична потужність (P_{ел}):** 1000 Вт (цільова потужність, яку має видавати система).
- **Густина води (ρ):** 1000 кг/м³ (стандартна густина води при нормальних умовах).
- **Прискорення вільного падіння (g):** 9.81 м/с² (стандартне значення).
- **Загальний коефіцієнт корисної дії системи (η_{заг}):** Цей коефіцієнт відображає ефективність перетворення гідравлічної енергії в електричну енергію на виході з інвертора. Він враховує втрати в турбіні, генераторі, системі передачі моменту (якщо є), випрямлячі, контролері заряду, акумуляторах та інверторі. Для малих гідроенергетичних установок з оптимізованими компонентами та прямим приводом, реалістичне значення η_{заг} приймається в діапазоні 0.6–0.7. Для даного проєкту приймаємо η_{заг} = 0.65 (65%).

1. Обчислення повної гідравлічної потужності (P_{гідр}):

Гідравлічна потужність – це потенційна потужність водного потоку, доступна для перетворення в механічну роботу турбіни. Вона є вхідною енергією для всієї системи тому розраховуємо [12]:

$$P_{\text{турб}} = \frac{P_{\text{ел}}}{\eta_{\text{заг}}} \quad (2.1)$$

Підставляючи числові значення

$$P_{\text{турб}} = \frac{1000}{0.65} = 1538.46 \text{ Вт}$$

2.3 Розрахунок витрати води

Гідравлічна потужність водного потоку ($P_{\text{гідр}}$) прямо залежить від кількості води, що протікає через турбіну за одиницю часу (об'ємна витрата), а також від висоти падіння води (напору) основні характеристики наведені в таблиці 2.1. Фундаментальна формула для розрахунку гідравлічної потужності має вигляд (13):

$$P_{\text{гідр}} = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H \quad (2.2)$$

З цієї формули виражаємо об'ємну витрату Q :

$$Q = \frac{P_{\text{гідр}}}{\rho \cdot g \cdot H} \quad (2.3)$$

Підставляючи розраховану гідравлічну потужність та задані умови:

$$Q = \frac{1538.46}{1000 \cdot 9.81 \cdot 20} = 0.00784 \text{ м}^3/\text{с}$$

Для більш наочного представлення об'ємної витрати, яка часто використовується в практичних оцінках малих ГЕС, переведемо її в літри за секунду, знаючи, що $1 \text{ м}^3 = 1000 \text{ л}$:

$$Q = 0.00784 \cdot 1000 = 7.84 \text{ л/с}$$

Таким чином, для забезпечення функціонування міні-ГЕС з вихідною потужністю 1 кВт при напорі 20 метрів, необхідна об'ємна витрата води в гірському потоці становить приблизно 7.84 л/с літрів за секунду. Цей параметр є критично важливим при виборі місця розташування ГЕС, оскільки він визначає мінімально необхідний дебіт потоку, який має бути стабільним протягом всього періоду експлуатації установки. На етапі практичної реалізації проєкту обов'язково необхідно провести детальні гідрологічні вимірювання витрати води в обраному потоці для підтвердження його відповідності розрахунковим значенням.

2.4 Розрахунок параметрів турбіни Пелтона

Турбіна Пелтона, як імпульсна турбіна, перетворює кінетичну енергію водяного струменя у механічну енергію обертання валу. Для ефективної роботи необхідно розрахувати її ключові геометричні та кінематичні параметри, які забезпечують ефективну взаємодію між струменем води та ковшами робочого колеса.

Визначення швидкості струменя води

Швидкість, з якою вода витікає із сопла та б'є в лопатки турбіни (v_1) що витікає з сопла і вдаряється об ковші робочого колеса турбіни, є основним показником, що визначає кінетичну енергію, яка буде передана турбіні. Вона обчислюється на основі закону Торрічеллі, але з поправкою на коефіцієнт швидкості сопла, що враховує гідравлічні втрати[14]:

$$v_1 = C_v \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H} \quad (2.4)$$

Де

C_v – коефіцієнт швидкості сопла. Враховує втрати енергії на тертя та турбулентність у соплі. Для добре спроектованих сопел його значення зазвичай становить 0.96–0.99. Приймаємо 0.98

g – прискорення вільного падіння (9.81 м/с²).

H – гідравлічний напір (10 м).

Підставляючи значення:

$$v_1 = 0.98 \cdot \sqrt{2 \cdot 9.81 \cdot 10} = 19.41 \text{ м/с}$$

Таким чином, швидкість струменя води, що витікає з сопла і буде приводити в рух турбіну, становитиме близько 19.41 м/с.

Розрахунок діаметра сопла

Діаметр сопла (d) є критичним конструктивним параметром, оскільки безпосередньо впливає на розмір і форму струменя води, який контактує з турбіною.

Формула для обчислення діаметра сопла виводиться з рівняння неперервності потоку:

$$Q = A \cdot v_1 \quad (2.5)$$

де A – площа поперечного перерізу струменя, яка для круглого сопла становить

$$A = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \quad (2.6)$$

Підставивши це у попереднє рівняння:

$$Q = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot v_1$$

Звідси, виразивши діаметр сопла d :

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot v_1}} \quad (2.7)$$

Вставляючи розраховану об'ємну витрату води ($Q=0.00784 \text{ м}^3/\text{с}$) та швидкість струменя ($v_1 = 19.41 \text{ м/с}$):

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 0.00784}{\pi \cdot 19.41}} = 0.02267 \text{ м}$$

Переводимо в міліметри для зручності:

$$d \approx 22.67 \text{ мм}$$

Таким чином, діаметр вихідного отвору сопла повинен бути приблизно 22.67 мм. Це забезпечить формування струменя необхідного розміру для передачі всієї наявної енергії турбіні. Конструкція сопла має бути такою, щоб забезпечувати максимально ламінарний (без турбулентний) потік води, що вимагає ретельної поліровки внутрішньої поверхні та плавної кінчної форми.

2.5 Розрахунок оптимальної граничної швидкості ковшів та частоти обертання турбіни

Оптимальна гранична швидкість ковшів ($u_{\text{опт}}$) визначає швидкість, з якою ковші повинні рухатись, щоб найефективніше перетворювати кінетичну енергію потоку води на механічну енергію, що приводить колесо в обертання. Для турбін Пелтона є певний коефіцієнт, що пов'язує швидкість ковша зі швидкістю струменя води.

Коефіцієнт швидкості (k_u): Цей коефіцієнт показує відношення оптимальної периферійної швидкості ковшів до швидкості самого струменя води[15]. Для турбін Пелтона k_u , як правило, коливається в межах від 0.45 до 0.5. Приймаємо $k_u = 0.48$.

$$u_{\text{опт}} = k_u \cdot v_1 \tag{2.8}$$

Підставляємо розраховану швидкість струменя

$$u_{\text{опт}} = 0.48 \cdot 19.41 = 9.317 \text{ м/с}$$

Визначення діаметра робочого колеса турбіни (D):

Діаметр робочого колеса є одним з найважливіших конструктивних елементів турбіни, оскільки безпосередньо впливає на частоту обертання турбіни. Для турбін Пелтона існує оптимальне співвідношення діаметра колеса (D) до діаметра струменя (d), що зазвичай лежить в діапазоні 8–15.

Враховуючи розрахований діаметр струменя $d \approx 22.67$ мм, ми можемо обрати діаметр колеса, що забезпечить оптимальні оберти для ефективного узгодження з електричним генератором.

Приймемо діаметр робочого колеса $D=0.3$ м (300 мм).

Перевіряємо співвідношення D/d :

$$\frac{D}{d} = \frac{300}{22.67} = 13.23$$

Це значення входить в рекомендований діапазон, що підтверджує обґрунтованість вибору розмірів.

Розрахунок частоти обертання турбіни (N):

Частота обертання робочого колеса має вирішальне значення, оскільки має бути узгоджена з номінальною швидкістю обертання електричного генератора для досягнення максимальної ефективності та мінімізації потреби в редукторі.

Частота обертання N (в обертах за хвилину) розраховується за формулою:

$$N = \frac{u_{\text{опт}}}{\pi \cdot D} \cdot 60 \quad (2.9)$$

Де

u_{opt} – оптимальна пгранична швидкість ковшів (9.317 м/с).

D – діаметр робочого колеса (0.3 м).

Множник 60 – для переведення обертів за секунду в оберти за хвилину.

Підставляємо обчислені значення:

$$N = \frac{9.317}{\pi \cdot 0.3} \cdot 60 = 593.1 \text{ об/хв}$$

Округлюємо до найближчого практичного значення:

$$N \approx 593 \text{ об/хв}$$

Таким чином, турбіна Пелтона з обраними параметрами ($D = 0.3$ м) повинна обертатися зі швидкістю приблизно 593 обертів за хвилину для досягнення розрахункового ККД. Це значення є ключовим для подальшого вибору генератора.

Визначення кількості ковшів

Вірне число лопаток (Z) на робочому колесі турбіни Пелтона необхідне для забезпечення безперебійного та ефективного перехоплення струменя води, а також уникнення зайвого опору. Якщо лопаток мало, частина струменя може пройти повз робоче колесо, не віддавши енергію. Якщо їх багато, лопатки можуть створювати гідравлічний опір та негативно впливати на струмінь, що ще не досягнув наступної лопатки. Для малих турбін Пелтона використовують емпіричну формулу для обчислення орієнтовної кількості лопаток, враховуючи співвідношення діаметрів колеса та струменя[16]:

$$Z = 15 + \frac{D}{2 \cdot d} \quad (2.10)$$

Підставляємо обчислені значення діаметра робочого колеса ($D=0.3$ м) та діаметра струменя ($d=0.02267$ м):

$$Z=15 + \frac{0.3}{2 \cdot 0.02267} = 21.616$$

Оскільки кількість ковшів може бути лише цілим числом, округляємо значення до найближчого цілого:

$$Z \approx 22 \text{ ковші}$$

Таким чином, робоче колесо турбіни Пелтона має мати 22 ковші, розміщених рівномірно по периметру.

Визначення розмірів ковшів

Крім кількості, визначальними є і геометричні розміри кожного ковша, які безпосередньо впливають на ефективність перетворення енергії струменя. Ковші мусять бути достатньо широкими й глибокими, аби цілковито захоплювати струмінь води, ефективно відхиляти його та мінімізувати втрати при відтоку. Розміри ковшів традиційно визначаються як кратні діаметру струменя (d).

Ширина ковша (B): Це розмір ковша у напрямку, перпендикулярному до осі обертання та напрямку струменя. Зазвичай ширина ковша приймається в діапазоні від 3 до 5 діаметрів струменя. Для цього проєкту, з огляду на потребу ефективного захоплення струменя, обираємо коефіцієнт 4:

$$B=4 \cdot d \tag{2.11}$$

Підставляємо розрахований діаметр струменя ($d=22.67$ мм):

$$B=4 \cdot 22.67 \approx 91 \text{ мм}$$

Глибина ковша (L): Це розмір ковша у напрямку, паралельному до осі обертання. Як правило, глибина ковша приймається в діапазоні від 2.5 до 4 діаметрів струменя. Для розрахунку обираємо коефіцієнт 3:

$$L=3 \cdot d \quad (2.12)$$

Підставляємо розрахований діаметр струменя:

$$L=3 \cdot 22.67 \approx 68 \text{ мм}$$

Крім лінійних розмірів, критичним є профіль ковша. Кожен ківш має центральний розсікач (спліттер), що ділить струмінь води на дві симетричні частини, направляючи їх вздовж внутрішніх поверхонь ковша. Важливо, аби кут відхилення струменя в ковші був якомога ближчим до 180 градусів, але на практиці він складає 165-170 градусів. Це дозволяє забезпечити майже повну передачу імпульсу струменя колесу. Кут відхилення менше 180 градусів також запобігає зворотному удару води по наступному ковшу, що може викликати втрати та вібрації. Точність виготовлення форми ковшів, їх гладкість та симетричність є визначальними факторами для досягнення високого гідравлічного ККД турбіни.

2.6 Вибір матеріалів та конструкції робочого колеса турбіни Пелтона

Вибір матеріалів зважаючи на інтенсивний вплив струменя води, високі швидкості обертання, безперервні ударні навантаження та можливий гідроабразивний знос (особливо якщо вода має завислі частинки), робоче колесо турбіни Пелтона потребує застосування матеріалів з винятковою міцністю, зносостійкістю та корозійною стійкістю.

Матеріали:

Нержавіюча сталь: Сплави типу AISI 304 або, краще, AISI 316L (для підвищеної корозійної стійкості в агресивних середовищах) буде найкращим вибором. Вони забезпечують високу стійкість до кавітації (утворення та

руйнування бульбашок у рідині), корозії та ерозії, а також володіють достатньою механічною міцністю для витримування динамічних навантажень.

Бронза або високоміцні латуні: Можуть застосовуватися для менших потужностей або у специфічних умовах, де їх антикорозійні властивості та легкість обробки є пріоритетом. Однак, їх механічна міцність та зносостійкість можуть бути нижчими порівняно з нержавіючою сталлю.

Конструкція:

Монолітна відливка або механічна обробка з цільного шматка: Це найкращий варіант з точки зору міцності, точності геометрії та балансування. Робоче колесо з ковшами виготовляється як єдина інтегрована деталь. Це мінімізує ризик відриву ковшів (що може бути катастрофічним на великих обертах) та забезпечує високу точність профілю ковшів, що є ключовим для досягнення максимального ККД та відсутності вібрацій.

Збірна конструкція: Окремі ковші можуть бути прикріплені до обода колеса за допомогою болтів, заклепок або зварювання. Цей метод може бути простішим у виготовленні та заміні окремих пошкоджених ковшів, але потребує надзвичайно надійного кріплення та високої точності при складанні для збереження балансу колеса та уникнення вібрацій. Для потужності 1 кВт та вимог до надійності, монолітна конструкція є кращою.[17]

Балансування: Після виготовлення робоче колесо обов'язково повинно пройти статичне та динамічне балансування. Це критично важливо для уникнення вібрацій під час роботи, які можуть призвести до прискореного зносу підшипників, пошкодження валу та інших елементів системи.

2.7 Вибір конструкції корпусу турбіни

Корпус турбіни Пелтона є захисним елементом, що виконує декілька важливих функцій, як показано на Рисунку 2.1: він вміщує робоче колесо, направляє струмінь води, запобігає розбризкуванню води під час роботи та забезпечує безпечне відведення відпрацьованої води.

Матеріал: Корпус буде виготовлятися зі зварної сталі або чавуну. Матеріал повинен бути досить міцним, щоб витримувати внутрішній тиск (якщо це

закритого типу) та зовнішні навантаження, а також мати добру корозійну стійкість. Для тривалої експлуатації рекомендується використовувати корозійностійкі покриття або нержавіючу сталь для внутрішніх поверхонь.

Особливості конструкції:

Простір для обертання та відведення води: Корпус повинен мати достатньо внутрішнього об'єму для вільного обертання робочого колеса та забезпечення безперешкодного відведення відпрацьованої води після удару об ковші. Надто тісний корпус може створювати гідравлічний опір та знижувати ККД турбіни. Внутрішні поверхні повинні бути гладкими.

Вхідний фланець/отвір: Призначений для герметичного з'єднання корпусу з напірним водоводом та надійного кріплення форсунки (сопла).

Зливний отвір: Розташований у нижній частині корпусу. Призначений для ефективного відведення відпрацьованої води до нижнього б'єфа або відповідного каналу. Розміри отвору мають бути розраховані на максимальну витрату води.

Ревізійний люк (вікно доступу): Необхідний для зручного доступу до робочого колеса та сопла для проведення регулярного огляду, обслуговування, очищення від засмічень та можливого ремонту без повного демонтажу турбіни. Люк повинен бути герметично закритий.

Опори та кріплення: Корпус має бути міцно закріплений на спеціально підготовленому фундаменті або жорсткій опорній рамі. Це забезпечує стабільність всієї установки, поглинання вібрацій під час роботи та запобігає будь-яким небажаним зміщенням.[17]

Вентиляція: У деяких конструкціях можуть передбачатися вентиляційні отвори або клапани для запобігання надмірному тиску або розрідженню повітря всередині корпусу, що може виникати під час роботи.

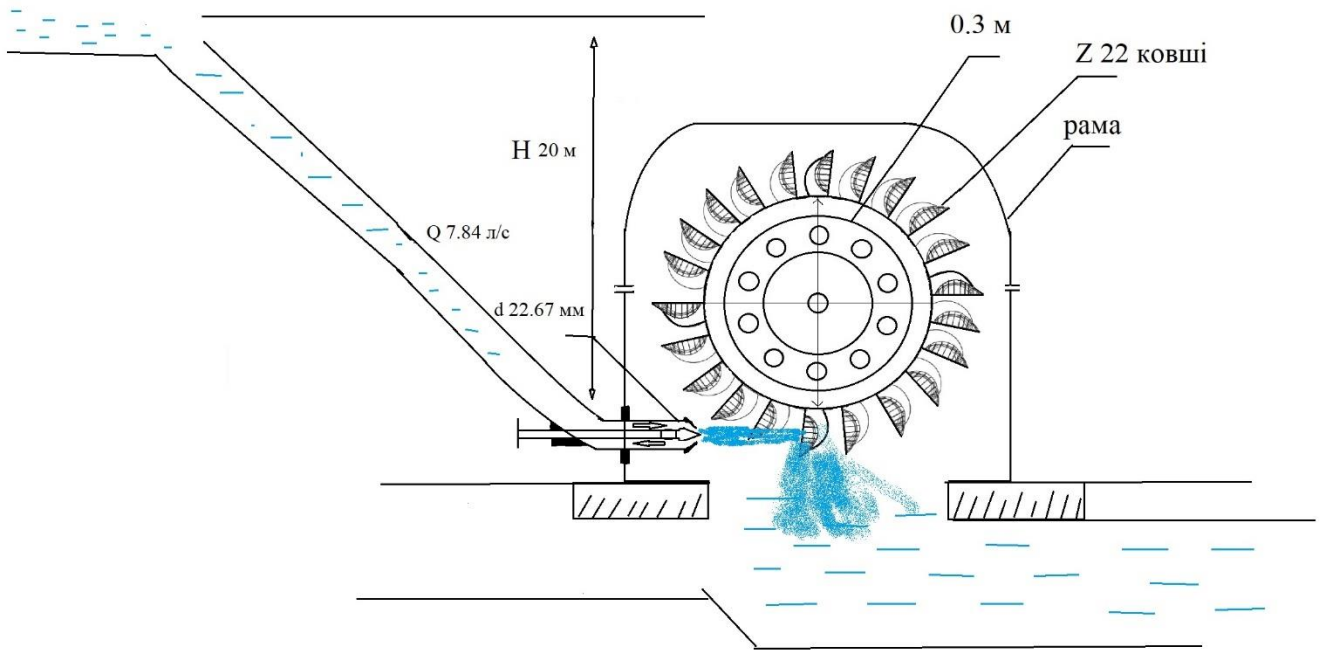


Рисунок 2.1 Конструктивна схема міні-ГЕС

2.8 Вибір конструкції форсунки (сопла) та голкового регулятора

Призначення: Конвертує потенційну енергію напору води в кінетичну енергію, формуючи вузький, високошвидкісний струмінь, який точно спрямовується на ковші турбіни.

Матеріал: Для виготовлення форсунки використовуються матеріали, що мають високу стійкість до кавітації та абразивного зносу, такі як латунь, бронза, нержавіюча сталь або спеціальні зносостійкі сплави.

Внутрішній профіль: Внутрішня поверхня форсунки повинна бути ідеально гладкою та мати оптимальний конічний профіль (звуження) для мінімізації гідравлічних втрат, забезпечення ламінарного потоку струменя та досягнення максимальної швидкості.

Кріплення: Форсунка міцно кріпиться до напірного водоводу та інтегрується в корпус турбіни, забезпечуючи герметичність з'єднань.

Голчастий регулятор:

Призначення: Дозволяє плавно та точно регулювати об'ємну витрату води, що надходить на турбіну, шляхом зміни площі вихідного отвору сопла. Це, у свою чергу, дозволяє контролювати потужність турбіни та, відповідно, частоту обертання генератора або його вихідну потужність.

Конструкція: Складається з конічної голки, яка переміщується аксіально (вздовж осі) всередині форсунки. Переміщення голки змінює розмір кільцевого зазору між голкою та внутрішньою поверхнею сопла, що впливає на діаметр струменя води як показано на Рисунку 2.2.

Привід: Переміщення голки може здійснюватися:

Вручну: За допомогою штурвала, що обертає гвинтовий механізм. Це простий, але вимагає постійного втручання та не дає змоги автоматично реагувати на зміну навантаження.

Матеріал: Голка повинна бути виготовлена з високоміцного та корозійностійкого матеріалу (наприклад, нержавіюча сталь) і мати ідеально гладку, поліровану поверхню для мінімізації тертя, зносу та кавітації.[18]

Герметизація: Необхідно передбачити надійну систему ущільнень (наприклад, сальникові ущільнення або O-кільця) вздовж штока голки, щоб уникнути витоків води.

Переваги: Використання голкового регулятора дозволяє не тільки регулювати потужність, але й здійснювати аварійну зупинку турбіни шляхом повного перекриття струменя. Для запобігання гідроудару при швидкому закритті голки, можуть бути передбачені додаткові розсікачі струменя, які відводять воду від колеса при швидкому перекритті, а тоді повільно закривають подачу води повністю.

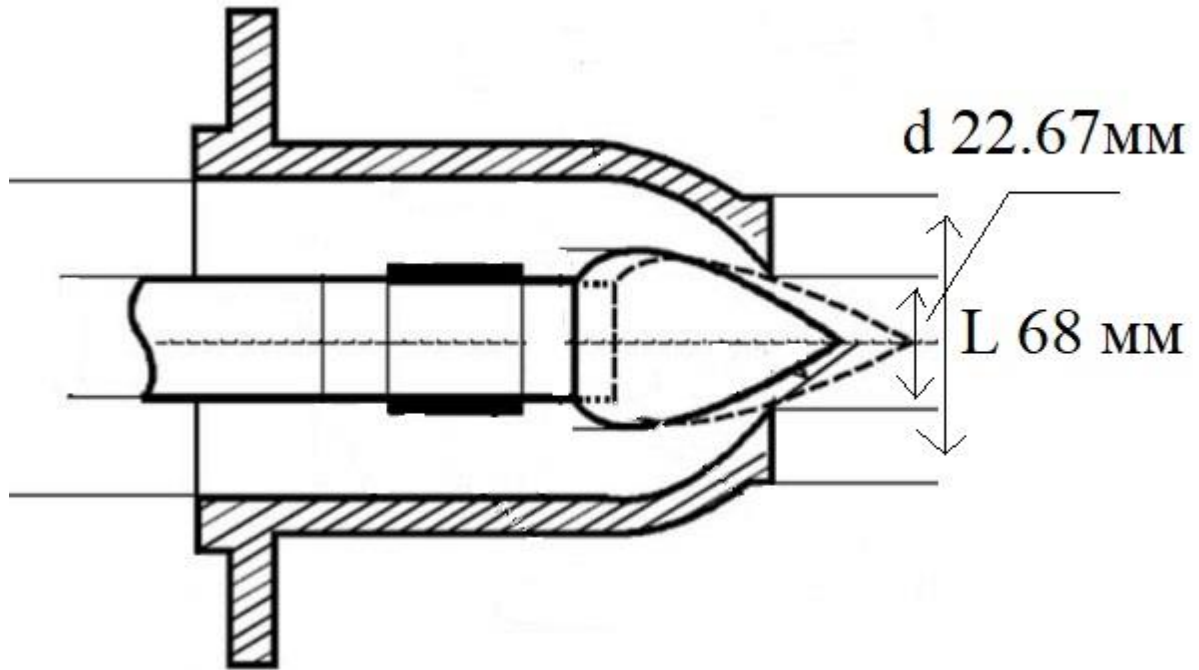


Рисунок 2.2 Конструкція форсунки сопла

2.9 Розрахунок параметрів електричного генератора

Після детального розрахунку гідравлічної частини турбіни, наступним етапом є вибір, розрахунок та опис електричного генератора та всієї системи перетворення енергії, яка дозволяє отримати придатну для споживання електроенергію.

Вибір типу генератора та його номінальної потужності

Для даного проєкту міні-ГЕС обрано трифазний синхронний генератор змінного струму з постійними магнітами (Permanent Magnet Synchronous Generator - PMSG). Цей вибір обґрунтовується низкою значних переваг, які PMSG пропонують для застосувань у відновлюваній енергетиці, особливо у малих гідроенергетичних установках[8] характеристики наведені в таблиці 2.1.

Бажана вихідна електрична потужність (Рел): 1000 Вт (1 кВт) — це цільова потужність системи.

Номінальна механічна потужність на валу турбіни (Ртурб): Як було розраховано раніше, повна гідравлічна потужність становить Ргідр ≈ 1538.46 Вт.

Прийmemo коефіцієнт корисної дії турбіни ($\eta_{\text{турб}}$) рівним 0.8 (80%). Тоді механічна потужність, що передається на вал генератора, становитиме:

$$P_{\text{турб}} = P_{\text{гідр}} \cdot \eta_{\text{турб}} \quad (2.13)$$

$$P_{\text{турб}} = 1538.46 \cdot 0.8 = 1230.77 \text{ Вт}$$

Відтак, генератор має бути розрахований на вхідну механічну потужність, приблизно 1,23 кВт.

Коефіцієнт корисної дії генератора ($\eta_{\text{ген}}$): Для сучасних PMSG, показник дуже високий, оскільки відсутні втрати на систему збудження та тертя в щітковому вузлі. Приймаємо $\eta_{\text{ген}}=0,85$ (85%).

Номінальна електрична потужність генератора: Генератор повинен бути здатним віддавати як мінімум 1000 Вт електричної потужності. Враховуючи вхідну механічну потужність та ККД генератора:

$$P_{\text{ел,ген}} = P_{\text{турб}} \cdot \eta_{\text{ген}} \quad (2.14)$$

$$P_{\text{ел,ген}} = 1230.77 \cdot 0.85 = 1046.15 \text{ Вт}$$

Це підтверджує, що обраний генератор з номінальною потужністю 1 кВт є відповідним, та навіть забезпечує невеликий запас. Для надійності та довговічності експлуатації, генератор обирають із незначним запасом по потужності, наприклад, 1,2 кВт або 1,5 кВт, але 1 кВт є мінімально необхідним та прийнятним для такого типу проєкту.

Номінальна швидкість обертання генератора ($N_{\text{ген,ном}}$): Однією з ключових переваг PMSG є їх здатність ефективно функціонувати на низьких обертах. Враховуючи розраховану швидкість обертання турбіни ($N_{\text{турб}} \approx 593$ об/хв),

обираємо PMSG, номінальна швидкість якого близька до цього значення. На ринку є моделі PMSG, спеціально розроблені для малої гідро та вітроенергетики, з номінальною швидкістю обертання в діапазоні 500–700 об/хв.

Приймаємо номінальну швидкість генератора $N_{\text{ген,ном}}=600$ об/хв. Цей вибір дає змогу найбільш ефективно узгодити генератор з турбіною, мінімізуючи або повністю виключаючи необхідність у редукторі.

Вихідна напруга генератора: PMSG генерують трифазний змінний струм. Для систем з акумуляторними батареями часто обирається вихідна напруга, що відповідає напрузі шини постійного струму після випрямлення. Приймаємо номінальну вихідну лінійну напругу генератора (без випрямлення) 48 В АС. Ця напруга є поширеною для автономних систем, оскільки дозволяє використовувати відносно малі струми при даній потужності, знижуючи втрати в кабелях.

Кількість полюсів: Хоча для PMSG, що працюють на постійний струм через випрямлювач, частота не критична для синхронізації з мережею, кількість полюсів генератора впливає на його оберти для даної частоти (якби він працював на мережу). Для генератора на 600 об/хв та вихідної частоти 50 Гц (яка буде перетворена на DC), кількість пар полюсів p буде

$$n = \frac{f \cdot 60}{p} \quad (2.15)$$

Якщо $N=600$ об/хв, $f=50$ Гц, то

$$p = \frac{f \cdot 60}{N}$$

$$p = \frac{50 \cdot 60}{600} = 5$$

5 пар полюсів, тобто 10 полюсів. Це типова конструкція для низькооберткових PMSG.

Переваги PMSG для цієї роботи:

Високий ККД: Завдяки відсутності обмотки збудження та, відповідно, втрат на її живлення, а також відсутності щіткового вузла, PMSG демонструють дуже

високий ККД, особливо при часткових навантаженнях, що характерно для відновлюваної енергетики.

Надійність та довговічність: Відсутність рухомих електричних контактів (щіток) усуває основне джерело зносу та обслуговування, а також зменшує ризик іскріння. Це гарантує довговічність та мінімізує витрати на обслуговування.

Прямий привід: Як буде показано в наступному пункті, близькість номінальних обертів турбіни та генератора дозволяє використовувати прямий привід, що значно спрощує механічну частину системи.

Компактність: Завдяки високій енергетичній щільності постійних магнітів, PMSG можуть бути досить компактними стосовно своєї вихідної потужності.

Ефективність при низьких обертах: PMSG спеціально спроектовані для ефективної роботи на низьких швидкостях обертання, що робить їх ідеальними для прямого підключення до гідротурбін, які часто працюють на відносно низьких обертах.

2.10 Вибір системи передачі обертового моменту: Прямий привід

Узгодження швидкості обертання первинного двигуна (турбіни) зі швидкістю електричного генератора є одним із найважливіших аспектів проектування.

Оскільки ми обрали PMSG, оптимізований для низьких обертів, ми маємо можливість реалізувати високоефективну систему передачі моменту.

Було розраховано, що турбіна Пелтона працює з оптимальною швидкістю обертання $N_{турб} \approx 593$ об/хв. Обраний генератор має номінальну швидкість $N_{ген,ном} = 600$ об/хв.

Визначення передавального числа (i): Передавальне число визначається як відношення номінальної швидкості генератора до номінальної швидкості турбіни:

$$i = \frac{N_{ген,ном}}{N_{турб}} \quad (2.16)$$

Підставляємо значення:

$$i = \frac{600}{593} = 1.0118$$

Отримане передатне число, яке становить приблизно 1,01, надзвичайно близько до одиниці. Це свідчить про фактично ідеальне узгодження швидкості обертання турбіни та обраного генератора[19].

Висновок щодо редуктора:

Таке близьке до одиниці передатне число передбачає, що великий редуктор не потрібен. Натомість, ця конфігурація дає змогу реалізувати систему прямого приводу (direct drive), де вал турбіни з'єднано безпосередньо з валом генератора. Конструкція прямого приводу:

Прямий привід здійснюється за допомогою гнучкої муфти, що з'єднує вали турбіни та генератора. Гнучка муфта компенсує незначні неспіввісності (помилки центрування) валів, поглинає вібрації та ударні навантаження, захищаючи підшипники та інші компоненти від передчасного зношення. Вибір типу муфти (наприклад, пружна, зубчаста, штифтова) залежить від потрібної здатності до компенсації неспіввісності та рівня передачі крутного моменту. Для цієї потужності підійде стандартна пружна муфта, що складається з двох напівмуфт, які кріпляться до валів, і пружного елемента (наприклад, гумової зірочки або дисків), який передає момент.

Переваги системи прямого приводу для міні-ГЕС:

Високий загальний ККД системи: Відсутність зубчастого або пасового редуктора усуває значні втрати енергії, пов'язані з тертям, прослизанням і нагріванням, які притаманні редукторним передачам. Це безпосередньо покращує загальну ефективність перетворення гідравлічної енергії в електричну.

Підвищена надійність: Менша кількість рухомих компонентів (відсутність шестерень, валів редуктора, підшипників редуктора) знижує ймовірність механічних відмов і несправностей, що критично важливо для автономних систем, розташованих у віддалених місцевостях.

Знижені експлуатаційні витрати та обслуговування: Відсутність редуктора означає відсутність потреби в його періодичному обслуговуванні, такому як заміна мастила, перевірка зносу шестерень або регулювання натягу пасів. Це суттєво спрощує експлуатацію та зменшує витрати.[20]

Знижений рівень шуму та вібрації: Прямий привід працює значно тихіше та з меншими вібраціями порівняно з редукторними системами, що підвищує комфорт експлуатації та зменшує навантаження на фундамент.

Компактність: Відсутність редукторного блоку робить всю установку компактнішою, що важливо для портативних рішень.

2.11 Обґрунтування вибору 3-фазного генератора з постійними магнітами для ГЕС

Генератор з постійними магнітами (PMSG) є серцем електромеханічної системи, яка перетворює механічну енергію турбіни в електричну. Його конструкція оптимізована для високої ефективності та надійності, особливо при роботі на низьких обертах.

Основні компоненти:

Статор: Нерухома частина генератора, що складається з феромагнітного осердя (паketу тонких сталевих пластин з електротехнічної сталі, ламінованих для зменшення вихрових струмів та гістерезисних втрат) і трифазної обмотки, що укладається в пази статора. Ця обмотка є вихідною для генерації електричного струму. Обмотки зазвичай виготовлені з мідного дроту з високою електропровідністю та ізоляцією, яка витримує високі температури.

Ротор: Обертюва частина генератора, жорстко закріплена на валу. На роторі розташовані потужні постійні магніти (найчастіше неодимові магніти, NdFeB, через їх високу залишкову намагніченість та коерцитивну силу). Магніти можуть бути розміщені на поверхні ротора (Surface-mounted PM, SPM) або всередині ротора (Interior PM, IPM). SPM-конструкції простіші та дешевші, але IPM-конструкції забезпечують кращий захист магнітів, вищу механічну міцність ротора та можуть використовувати магнітну реактивність для додаткового моменту. Для малих генераторів часто застосовують SPM.

Вал: Механічно з'єднує ротор генератора з валом турбіни через гнучку муфту. Виготовляється з високоміцної легованої сталі, що здатна витримувати крутні моменти та радіальні/осьові навантаження.

Підшипники: Забезпечують плавну та стабільну роботу ротора, мінімізуючи тертя та вібрації. Зазвичай використовуються високоякісні закриті шарикопідшипники або роликові підшипники (для більших навантажень), що не потребують постійного обслуговування та мають тривалий термін служби. Вони розраховані на осьові та радіальні навантаження.

Корпус: Захисний елемент, що вміщує та захищає статор, ротор та підшипникові вузли від зовнішніх факторів (вологи, пилу, механічних пошкоджень). Заздалегідь виготовляється з міцних матеріалів, таких як алюмінієві сплави (для легкості та хорошого тепловідведення) або чавун (для більшої міцності та шумоізоляції). Корпус може мати ребра для кращого пасивного тепловідведення (повітряного охолодження).[9]

Клемна коробка: Місце для безпечного електричного підключення вихідних трифазних обмоток генератора до зовнішніх електричних ланцюгів.

Принцип роботи:

Під час обертання ротора, що отримує механічну енергію від турбіни, постійні магніти на роторі створюють обертове магнітне поле. Це магнітне поле перетинає обмотки статора, індукуючи в них змінну електрорушійну силу (ЕРС) за принципом електромагнітної індукції Фарадея. Оскільки обмотки статора розташовані зі зсувом у просторі, генерується трифазний змінний струм. Важливою особливістю PMSG є те, що для створення магнітного поля не потрібна зовнішня енергія (як у генераторів з обмоткою збудження), що робить їх дуже ефективними.

2.12 Розрахунок випрямного пристрою для генератора

Оскільки генератор PMSG виробляє трифазний змінний струм (AC), а для заряджання акумуляторних батарей та подальшого перетворення інвертором потрібен постійний струм (DC), в системі передбачено встановлення випрямного пристрою.

Тип: Для трифазного генератора використовується трифазний діодний міст (міст Ларіонова). Цей пристрій складається з шести силових напівпровідникових діодів, з'єднаних за схемою, що дозволяє випрямляти всі півхвилі трифазного змінного струму.

Принцип роботи: Кожна пара діодів у мості відповідає за випрямлення однієї півхвилі змінного струму кожної фази. Всі шість діодів працюють разом, щоб перетворити трифазний змінний струм з виходу генератора на пульсуючий постійний струм. Важливо відзначити, що пульсації напруги після трифазного випрямляча значно менші та мають вищу частоту порівняно з однофазним, що полегшує подальшу фільтрацію та стабілізацію струму контролером заряду.

Вибір та параметри: Діодний міст повинен бути розрахований на максимальний робочий струм генератора з необхідним запасом по навантаженню, а також на відповідну зворотну напругу, щоб запобігти пробією діодів.[21]

Для генератора 1 кВт (1000 Вт) з номінальною вихідною лінійною напругою 48 В АС, номінальний струм на фазу (діюче значення) можна оцінити як:

$$I_{\text{фаза,ном}} = \frac{P_{\text{ел}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{лінійна}}} \quad (2.17)$$

$$I_{\text{фаза,ном}} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 48} = 12.03 \text{ А}$$

Однак, піковий струм через діоди у діодному мості під час найбільших навантажень або запуску може виявитись більшим, ніж номінальний струм фази. Для надійної роботи, діодний міст треба обирати з номінальним струмом, не меншим за 20-30 А, з достатнім запасом по максимальній зворотній напрузі (скажімо, 100 В чи 200 В), аби уникнути пошкоджень від стрибків напруги.

Охолодження: Під час функціонування діоди нагріваються, виділяючи тепло в результаті падіння напруги на них. Тому потрібно забезпечити ефективне охолодження діодного мосту, зазвичай, шляхом встановлення його на

алюмінієвому радіаторі, з достатньою площею для відведення тепла. Для портативної системи може бути достатнім пасивне повітряне охолодження.

2.13 Вибір контролеру заряду

Контролер заряду – це розумний прилад, що відповідає за ефективну й безпечну зарядку акумуляторних батарей, а також оптимізує збір енергії від генератора основні характеристики наведені в таблиці 2.1.

Тип: У системах з генераторами з постійними магнітами, які працюють у широкому діапазоні обертів (відповідно, й вихідних напруг), найефективнішим та рекомендованим є MPPT-контролер (Maximum Power Point Tracking – відстеження точки максимальної потужності).

Принцип роботи MPPT:

Відстеження точки максимальної потужності (MPP): На відміну від простих ШІМ-контролерів (PWM), MPPT-контролер постійно аналізує вихідні параметри генератора (напругу і струм) і, використовуючи складні алгоритми (наприклад, Perturb and Observe – збурення та спостереження), знаходить "точку максимальної потужності" (MPP) – комбінацію напруги та струму, за якої генератор видає максимальну електричну потужність. Це забезпечує оптимальну роботу генератора незалежно від частоти обертання турбіни, гарантуючи максимальний зарядний струм акумуляторів навіть за неідеальних гідравлічних умов.

Перетворення напруги: MPPT-контролер, по суті, є перетворювачем DC/DC. Він може приймати вищу або нижчу вхідну напругу від генератора (після діодного мосту) та перетворювати її на оптимальну напругу для зарядки акумуляторної батареї. Наприклад, він може перетворювати пульсуючий 48 В DC від випрямляча у стабільні 48 В DC для акумуляторів, або адаптуватися до змін напруги генератора в широкому діапазоні.[22]

Багатоступеневий алгоритм заряду: Контролер реалізує багатоступеневий алгоритм заряду (зазвичай, Bulk – основний заряд, Absorption – абсорбційний заряд, Float – підтримуючий заряд). Це забезпечує оптимальний та безпечний заряд акумуляторів, значно збільшуючи термін їх служби та запобігаючи

перезаряду, який руйнує акумулятори, або недозаряду, що призводить до сульфатації.

Захисні функції: МРРТ-контролер також виконує низку вкрай важливих захисних функцій: захист від перезаряду акумулятора, захист від глибокого розряду (автоматичне відключення навантаження при досягненні критично низької напруги батареї для збереження її ресурсу), захист від перевантаження та короткого замикання, захист від зворотної полярності підключення, температурна компенсація заряду.

Вибір та параметри:

Вхідна напруга: Контролер має бути розрахований на максимальну вхідну напругу, що надходить від випрямляча генератора. Для 48 В АС генератора, випрямлена напруга холостого ходу може бути більшою, ніж 48 В. Тому варто обирати контролер з вхідною напругою не менше 80 В або 100 В.

Вихідна напруга: Має відповідати номінальній напрузі акумуляторної батареї, яку ми обрали (48 В DC).

Максимальний зарядний струм: Контролер має бути розрахований на максимальний струм, який здатний видати генератор. Для генератора 1 кВт і системи 48 В, номінальний струм заряду буде:

$$I_{\text{заряду}} = \frac{P_{\text{ел}}}{U_{\text{акум}}} \quad (2.18)$$

$$I_{\text{заряду}} = \frac{1000}{48} = 20.83 \text{ А}$$

Отже, необхідно зупинити свій вибір на МРРТ-контролері з номінальним струмом заряду мінімум 25-30 А. Це гарантує достатній запас міцності та ефективну роботу в пікові періоди споживання енергії.

2.14 Вибір акумуляторної батареї

Акумуляторна батарея – критично важливий елемент, що забезпечує стабільне та безперебійне живлення автономних систем. Вона зберігає енергію,

вироблену генератором, та передає її споживачам за потреби, вирівнюючи нерівномірність виробництва та навантаження наведено в таблиці 2.1.

Тип: На сучасному ринку пропонуються різноманітні типи акумуляторів, кожен зі своїми перевагами:

Свинцево-кислотні акумулятори (AGM, GEL): Відносно доступні за ціною, широко поширені, але мають обмежений ресурс циклів заряду/розряду (зазвичай 300-800 циклів при 50%) і чутливі до глибоких розрядів. AGM (Absorbed Glass Mat) та GEL (гелеві) – необслуговувані, герметичні та безпечніші, ніж традиційні рідко-електролітні (FLOODED). Вони добре підходять для буферного режиму.

Літій-залізо-фосфатні (LiFePO₄) акумулятори: Сучасне рішення. Вони відрізняються значно більшим терміном служби (2000-6000 циклів при 80%DoD), високою енергетичною щільністю (менша вага та об'єм), швидшим і ефективнішим зарядом, меншим саморозрядом та вищим ККД заряду/розряду (до 98%). Вони також безпечніші за інші літійові технології. Проте їх початкова вартість вища. Для цього проекту, зважаючи на довговічність, ефективність і мінімальне обслуговування, радимо розглянути LiFePO₄ акумулятори, якщо дозволяє бюджет, або якісні AGM/GEL акумулятори як більш економний варіант.

Номинальна напруга системи: Визначається відповідно до напруги генератора, контролера заряду та інвертора. Для систем потужністю 1 кВт і вище, а також з метою зменшення струмів у кабелях (що зменшує втрати та дозволяє використовувати кабелі меншого перерізу), рекомендується обирати вищу напругу. Приймаємо номінальну напругу акумуляторної батареї 48 В DC.

Ємність акумуляторної батареї (у А·год): Обчислюється на основі бажаного часу автономної роботи системи (тобто, скільки годин система може жити споживачів без роботи генератора) та максимального енергоспоживання.

Припустімо, що система має забезпечувати роботу на номінальній потужності (1000 Вт) протягом, наприклад, 5 годин без підзарядки (це може бути нічний час або час відсутності води):[10]

Необхідна енергія для автономної роботи:

$$E = P_{\text{ел}} \cdot E_{\text{автономності}} \quad (2.19)$$

$$E = 1000 \cdot 5 = 5 \text{ кВт}$$

Де

$P_{\text{ел}}$ — споживана електрична потужність, Вт;

$T_{\text{автономності}}$ — запланований час автономної роботи, год

Розрахунок номінальної ємності акумулятора (без урахування глибини розряду):

Ємність у ампер-годинах визначається так:

$$C_{\text{ном}} = \frac{E}{U} \quad (2.20)$$

$$C_{\text{ном}} = \frac{5000}{48} = 104.2 \text{ А}$$

Коригування з урахуванням глибини розряду

$$C_{\text{факт}} = \frac{C_{\text{ном}}}{DoD} \quad (2.21)$$

$$C_{\text{факт}} = \frac{104.2}{0.8} = 130.3$$

З урахуванням запасу:

Щоб компенсувати можливі втрати на перетворення, неочікуване зростання навантаження та зменшення ефективності з часом, доцільно додати технологічний запас. Тому доцільно вибираю акумуляторну батарею ємністю:

$$150 \div 200 \text{ А}$$

2.15 Обґрунтування вибраного інвертора

Інвертор є заключною ланкою у процесі перетворення енергії, що забезпечує функціонування стандартних побутових приладів. Він перетворює постійний струм від акумуляторної батареї на змінний струм з необхідними параметрами, наведено в таблиці 2.1.

Тип: Для гарантування стабільної та якісної роботи побутових електроприладів, особливо чутливої електроніки (комп'ютери, телевізори, медичне обладнання, прилади з електродвигунами), необхідно використовувати інвертор з чистою синусоїдою (Pure Sine Wave Inverter). Інвертори з модифікованою синусоїдою дешевші, проте їх вихідний сигнал може пошкодити певні прилади, спричинити некоректну роботу (наприклад, шум в аудіоапаратурі, перегрів двигунів) або знизити їхню ефективність.[23]

Номінальна потужність: Потужність інвертора має бути достатньою для живлення усіх приладів, які можуть бути увімкнені одночасно.

Базова вихідна потужність системи – 1000 Вт.

Проте часто виникає необхідність у пікових навантаженнях (наприклад, при запуску холодильника, насоса або інших приладів з електродвигунами, які мають високий пусковий струм, що може у 3-7 разів перевищувати номінальний). Інвертор повинен мати запас потужності для таких випадків, а також для можливого розширення кількості споживачів.

Рекомендовано обирати інвертор з номінальною потужністю щонайменше 1.5 кВт (1500 Вт) або 2 кВт (2000 Вт) для забезпечення необхідного запасу для пускових струмів та гнучкості використання.

Вхідна напруга: Повинна відповідати номінальній напрузі акумуляторної батареї. У нашому випадку це 48 В DC.

Вихідна напруга та частота: Стандартні для побутової мережі – 220 В AC, 50 Гц.

Додаткові функції: Сучасні інвертори можуть мати низку корисних функцій, що підвищують функціональність та надійність системи:

Вбудований зарядний пристрій: Дозволяє заряджати акумулятори від зовнішнього джерела змінного струму (наприклад, генератора на рідкому паливі або централізованої мережі, якщо вона тимчасово доступна).

Функція безперебійного живлення (UPS): Забезпечує автоматичне перемикання на живлення від акумуляторів у разі зникнення зовнішнього джерела живлення (актуально, якщо система підключається до зовнішньої мережі).

Захисні функції: Захист від перевантаження, короткого замикання, підвищеної/зниженої напруги батареї, перегріву.

Моніторинг та керування: Можливість відображення параметрів роботи (напруга, струм, потужність, стан батареї) на дисплеї або через підключення до комп'ютера/мобільного пристрою.

2.16 Вибір конструктивних елементів та матеріалів системи

Для забезпечення довговічності, надійності та мобільності міні-ГЕС, необхідно враховувати конструктивні особливості та вибір матеріалів для всіх її елементів, особливо тих, що піддаються механічним навантаженням та впливу довкілля.

Вибір підшипникових вузлів

Підшипники є ключовими елементами, що забезпечують плавне обертання валів турбіни та генератора з мінімальним тертям та вібраціями, а також вони також здатні витримувати радіальні й осьові сили.

Тип підшипників: Для обох вузлів (турбіна та генератор) рекомендується використовувати високоякісні радіальні шарикопідшипники або радіально-упорні шарикопідшипники. Кулькові підшипники – універсальні, демонструють низьке тертя та ефективні на високих швидкостях обертання. Радіально-упорні підшипники здатні сприймати як радіальні, так і значні осьові навантаження, що може бути актуальним для турбіни Пелтона.

Особливості:

Закриті підшипники (2RS або ZZ): Використання підшипників із заводським змащенням та герметичними ущільненнями з обох боків є обов'язковим для умов

експлуатації у вологому середовищі. Це захищає внутрішні елементи підшипника від потрапляння води, пилу та абразивних частинок, а також запобігає витoku мастила, зменшуючи потребу в обслуговуванні.

Матеріал: Підшипники повинні бути виготовлені з високоякісної хромистої сталі (наприклад, GCr15), що забезпечує високу твердість та зносостійкість.

Виробники: Рекомендовано використовувати продукцію відомих виробників (SKF, FAG, NSK, Timken), що гарантує високу якість та довговічність.[24]

Розташування: Підшипники встановлюються в спеціальних корпусах (підшипникових вузлах) з герметичними ущільненнями (сальники або лабіринтні ущільнення) для захисту від води та бруду, що є критично важливим для турбіни. Для генератора підшипники інтегровані в торцеві кришки корпусу.

Загальна рама та фундамент

Для забезпечення стабільності, співвісності та безпеки всієї установки, турбіна та генератор мають бути змонтовані на єдиній жорсткій рамі.

Рама:

Матеріал: Рама буде виготовлена зі зварних сталевих профілів (наприклад, швелерів або прямокутних труб). Сталь має високу міцність та жорсткість. Для захисту від корозії рама буде покрита антикорозійним ґрунтом та фарбою або оцинкована.

Конструкція: Рама повинна бути достатньо масивною та жорсткою, щоб мінімізувати вібрації, що виникають під час роботи, та забезпечити точне взаємне розташування турбіни та генератора. Передбачаються монтажні отвори для кріплення турбіни, генератора та гнучкої муфти. Конструкція рами також має враховувати можливість швидкого доступу для обслуговування.

Фундамент/Монтаж:

Стаціонарна установка: Для довгострокової експлуатації рама жорстко кріпиться до бетонного фундаменту за допомогою анкерних болтів. Фундамент повинен бути достатньо масивним та заглибленим, щоб забезпечити стійкість до вібрацій та навантажень від працюючої води.

Таблиці 2.1 Характеристика основних компонентів

Найменування, одиниця вимірів	Позначення	Величина
1. Гідравлічна Турбіна		
Тип	Турбіна	Пелтона
Напір (розрахунковий) м	H	20
Витрата води (розрахункова) л/с	Q	7.84
Діаметр робочого колеса м	D	~0.3
Оптимальна частота обертання об/хв	N	~593
Кількість ковшів	Z	22
Діаметр сопла (вихідний) мм	d	~22.67
2. Електричний Генератор		
Тип	Генератор	PMSG
Номінальна потужність (кВт)	P	1
Номінальна швидкість обертання (об/хв)	n	600
Вихідна напруга (номінальна) (В)	U	48
3. Система Керування та Перетворення Енергії		
Контролер заряду	Тип	MPPT

Продовження таблиці 2.1 Характеристика основних компонентів

Номинальна вхідна напруга (DC) , В	U _{вхідна}	~60-80
Номинальна вихідна напруга В	U _{вихідна}	48 DC
Максимальний вихідний струм, А	I _{мах}	25-30
Акумуляторна батарея	Тип	(LiFePO ₄)
Номинальна напруга В	U	48
Ємність А·год/кВт·год	С	150 - 200 (7.2 - 9.6)
Інвертор	Тип	Чиста синусоїда
Вхідна напруга В	<u>U_{вхідна}</u>	48 DC
Вихідна напруга В	U _{вихідна}	220 АС, 50 Гц
Номинальна (безперервна) потужність Вт	Р	1500 - 2000

Висновки до розділу 2

У цьому розділі було виконано обчислення та отримано наступні результати: вихідна електрична потужність в 1 кВт, визначено необхідну гідравлічну потужність, що дорівнює 1538.46 Вт, і розраховано об'ємну витрату води, яка складає приблизно 7.84 л/с.

Здійснено розрахунки параметрів турбіни Пелтона, що дали змогу визначити швидкість струменя води (19.41 м/с), оптимальний діаметр сопла (22.67 мм), діаметр робочого колеса (0.3 м) та кількість ковпів турбіни (22).

Обрано трифазний синхронний генератор з постійними магнітами (PMSG), розрахований на номінальну швидкість обертання 600 об/хв.

3 РОЗДІЛ ПРОЕКТУВАННЯ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ МАЛОЇ ГЕС


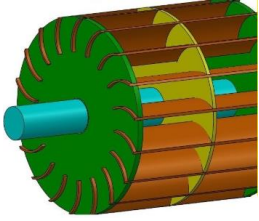
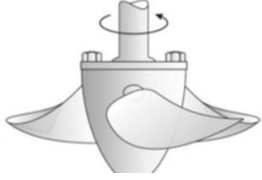
У цьому розділі розглядається розширений інженерний аналіз розробки ключових компонентів мініатюрної портативної гідроелектростанції. Прийняття рішень базується на попередніх розрахунках гідравліки та енергетики. Головна увага зосереджена на виборі та загальному конструктивному оформленні гідравлічної турбіни, електричного генератора, а також на плануванні архітектури усєї системи загалом.

3.1. Обґрунтування вибору гідравлічної турбіни та її принципова конструкція

Вибір типу гідротурбіни – критичний фактор забезпечення ефективності та стабільної роботи гідроелектростанції. Враховуючи особливості гірських водних потоків, які характеризуються значним напором ($H=20$ м) та обмеженою об'ємною витратою води ($Q=7.84$ л/с), необхідно обрати турбіну, що найбільш ефективно перетворюватиме гідравлічну енергію на механічну, задовольняючи саме цим параметрам.

Для обґрунтування прийнятого рішення було проведено порівняльний аналіз найбільш поширених типів гідротурбін, що використовуються в малій гідроенергетиці.

Таблиця 3.1 Порівняння основних гідротурбін

Типи турбін	Пелтон	Банкі-Мітчель	Френсіса	Пропеллер (Каплана)
				
Витрата води	мала	помірна	велика	велика
Напір, м	Від 30	5-25 м	10-300	До 10
перевага	Ефективна, надійна	Громізка, неефективна	Ємнісна, складна	Витратна, громізка

На основі аналізу даних, наведених в Таблиці 3.1, та з урахуванням розрахункових параметрів проекту, оптимальним рішенням для цієї міні-ГЕС є турбіна Пелтона. Це активна (імпульсна) турбіна, робота якої ґрунтується на перетворенні кінетичної енергії високошвидкісного струменя води. Вона ідеально підходить для високих напорів та малих витрат, забезпечуючи високий коефіцієнт корисної дії (ККД) навіть при часткових навантаженнях, що є надзвичайно важливим в умовах нестабільності гірських річок.[25]

3.2 Розробка електромеханічного блоку

Загальна структурна схема (Рисунок 3.2) демонструє взаємозв'язки між компонентами системи: вода з водозабору, прямуючи водогоном, потрапляє на турбіну Пелтона, яка обертає синхронний генератор з постійними магнітами (PMSG). Згенерована електроенергія проходить через силову електроніку (контролер заряду, інвертор) та зберігається в акумуляторній батареї для подальшого використання.

Вибір електричного генератора:

Для цієї міні-ГЕС було обрано трифазний синхронний генератор з постійними магнітами (PMSG). Його переваги в малій гідроенергетиці беззаперечні:

Високий коефіцієнт корисної дії (ККД): PMSG ефективно працює навіть на низьких швидкостях обертання, що критично важливо для прямого приводу від гідротурбіни.

Загальна схема міні-ГЕС (Рисунок 3.2) демонструє взаємозв'язки між компонентами системи: вода з водозабору, прямуючи водогоном, потрапляє на турбіну Пелтона, яка обертає синхронний генератор з постійними магнітами (PMSG). Згенерована електроенергія проходить через силову електроніку (контролер заряду, інвертор) та зберігається в акумуляторній батареї для подальшого використання.

Вибір електричного генератора:

Для цієї міні-ГЕС було обрано трифазний синхронний генератор з постійними магнітами (PMSG). Його переваги в малій гідроенергетиці беззаперечні:

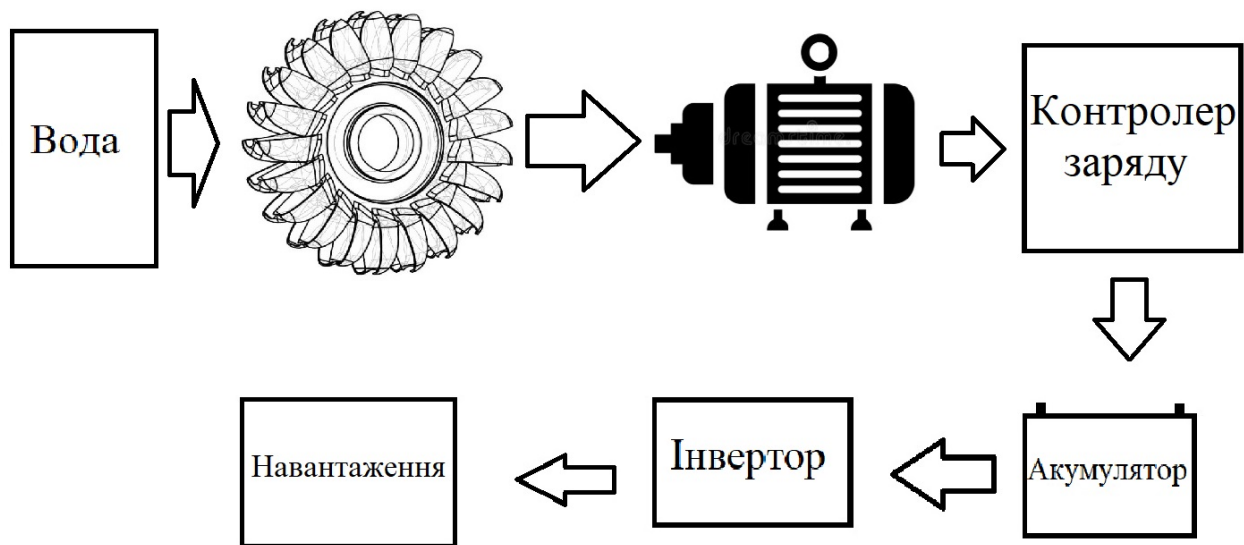


Рисунок 3.2. Загальна схема міні-ГЕС

Вибір електричного генератора:

Для цієї міні-ГЕС було обрано трифазний синхронний генератор з постійними магнітами (PMSG). Його переваги в малій гідроенергетиці беззаперечні:

Високий коефіцієнт корисної дії (ККД): PMSG ефективно працює навіть на низьких швидкостях обертання, що критично важливо для прямого приводу від гідротурбіни.

Надійність: Відсутність щіток і колектора значно спрощує конструкцію, знижуючи знос і потребу в сервісному обслуговуванні.

Компактність: Використання сильних постійних магнітів надає PMSG високої питомої потужності на одиницю об'єму та ваги.

PMSG має статор з обмотками та ротор з інтегрованими постійними магнітами. Обертання ротора призводить до змін магнітного потоку через обмотки статора, що індукуює змінну електричну напругу.[26]

Прямий привід та з'єднання:

Ключовою перевагою обраної конфігурації є можливість реалізації прямого приводу (Direct Drive). Оптимальна швидкість обертання турбіни Пелтона (593 об/хв) близька до номінальної швидкості обертання вибраного PMSG (600 об/хв). Це виключає необхідність редуктора, що значно покращує загальний ККД системи (відсутність втрат в редукторі), зменшує шум, вібрації, вагу та вартість установки, а також спрощує монтаж і обслуговування.

З'єднання валів турбіни і генератора реалізується за допомогою еластичної муфти. Вона компенсує невеликі неточності співвісності валів, захищаючи підшипники та запобігаючи передачі вібрацій між турбіною і генератором.

3.3 Проектування системи керування

Цей розділ зосереджується на електричній складовій системи, яка відповідає за управління потоком енергії, регулювання напруги та забезпечення захисту. У цьому розділі акцентовано увагу на електричній складовій системи, відповідальній за керування потоком енергії, коригування напруги та гарантування безпеки.

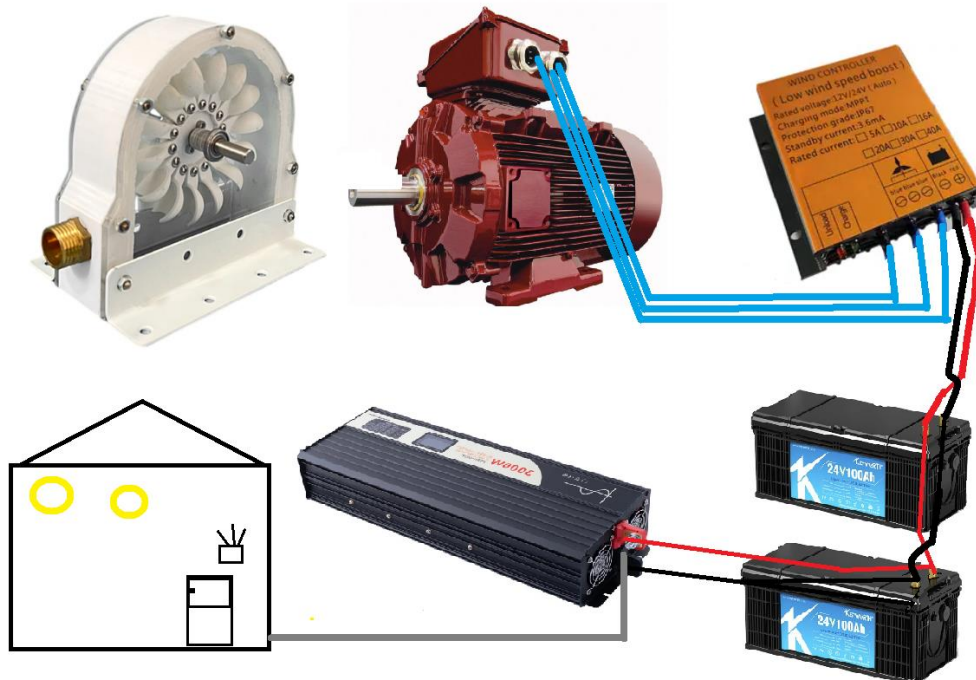


Рисунок 3.3. Структурна схема малої ГЕС

Структурна схема системи управління (Рисунок 3.3)[26,22,23,27] ілюструє взаємодію основних електричних складових. Енергія, вироблена генератором,

прямує до MPPT-контролера, котрий управляє заряджанням акумуляторної батареї. Акумуляторна батарея живить інвертор, що подає змінний струм споживачам. Датчики відстежують ключові параметри системи.

Основні компоненти системи управління та перетворення енергії:

MPPT-контролер заряду: Це ключовий елемент управління в електротехнічній частині. Його головне завдання – відстежувати точку максимальної потужності (MPPT) генератора. Це забезпечує максимально ефективне використання всієї згенерованої електроенергії, підлаштовуючись під зміни швидкості обертання генератора (через коливання у споживанні води).

Окрім цього, MPPT-контролер виконує такі функції:

Перетворення напруги: Він перетворює змінну напругу від випрямленого генератора на стабільну напругу 48 В, необхідну для заряджання акумуляторної батареї.

Багатоступеневе заряджання: Використовує оптимальний алгоритм заряджання акумуляторів (наприклад, Bulk, Absorption, Float), що збільшує термін їхньої служби.

Захист акумуляторів: Запобігає надмірному заряджання та глибокому розряду акумуляторів. Для системи на 1 кВт, обраний MPPT-контролер має мати вихідну напругу 48 В та максимальний вихідний струм у межах 25–30 А.

Акумуляторна батарея: Слугує як накопичувач енергії та буфер, гарантуючи стабільне електропостачання у періоди зменшеної генерації або збільшеного навантаження. Вибрано літій-залізо-фосфатні (LiFePO₄) акумулятори з номінальною напругою 48 В.

Переваги LiFePO₄: довговічність (2000-6000 циклів), висока ефективність, можливість глибокого розряду (до 80-100% DoD), швидка зарядка та підвищений рівень безпеки. Напруга 48 В вибрана для мінімізації струмів і втрат у кабелях.

Інвертор: Перетворює постійний струм (48 В) від акумуляторної батареї на змінний струм (220 В, 50 Гц) для забезпечення живленням стандартних побутових приладів. Інвертор з чистою синусоїдою необхідний для живлення чутливої електроніки, електродвигунів та інших пристроїв, які вимагають якісної

напруги. Номінальна (безперервна) потужність інвертора обрана з запасом 1.5–2 кВт, що дозволяє покривати пускові струми та короткочасні пікові.

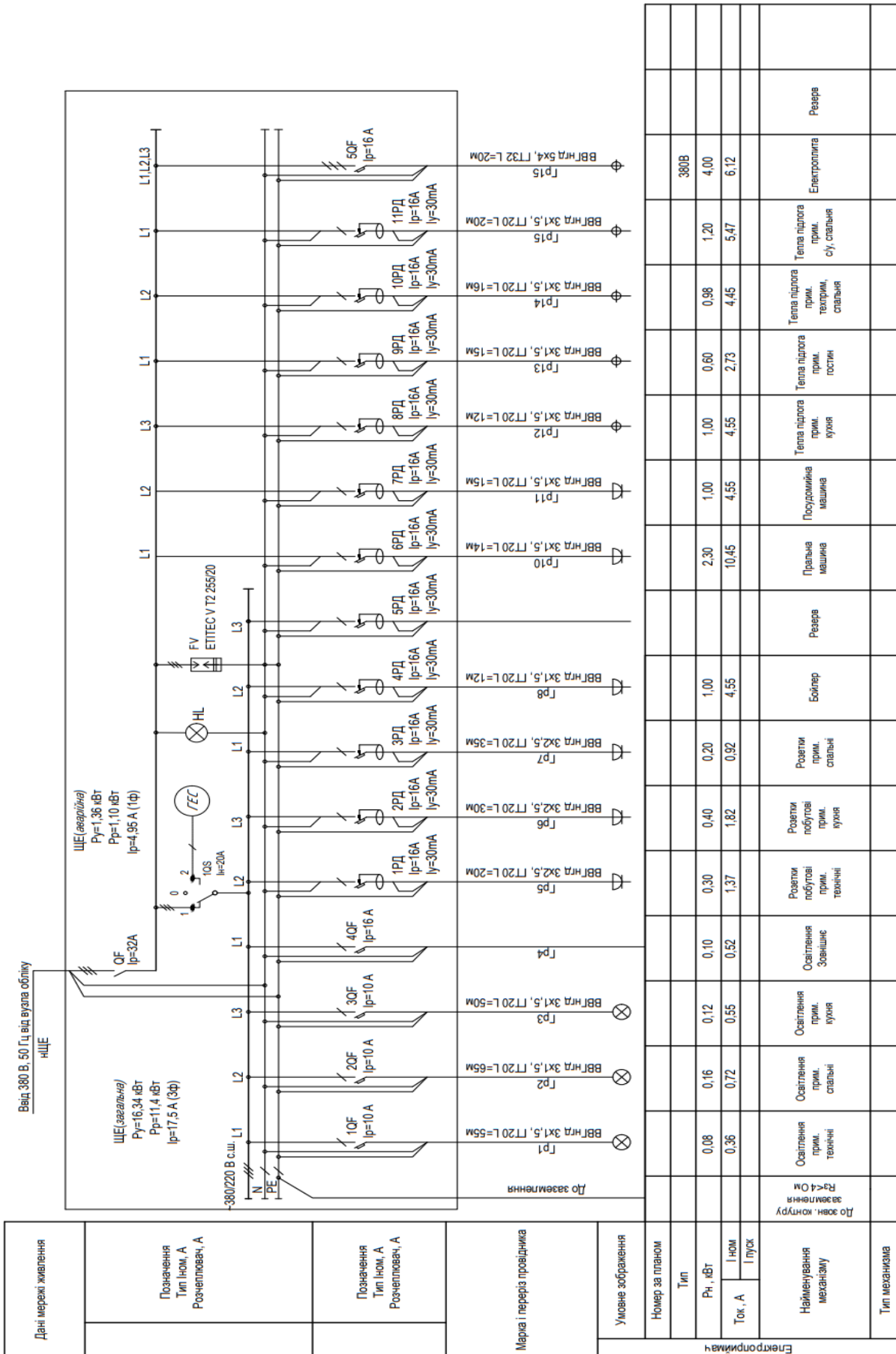


Рисунок 3.4 Електрична принципова схема силового щита

Рисунок 3.4 Електрична принципова схема силового щита детально відображає всі електричні з'єднання, запобіжники та комутаційні пристрої системи.

Основні компоненти схеми силового щита:

- Вхідні клеми від електромережі та ГЕС.
- Автоматичні вимикачі та запобіжники: Забезпечують захист від надлишкового струму та коротких замикань у кожному з електричних кіл.
- Електроприлади.

3.4 Генерація електроенергії малої ГЕС

Цей розділ зосереджується на прогнозованому річному виробітку електричної енергії та обґрунтованості економічної ефективності проекту.

Оцінка обсягу виробництва електроенергії:

Показник виробітку електроенергії міні-ГЕС може змінюватися протягом року через сезонні коливання та обсяг опадів, що впливають на водний стік річки. Для точного розрахунку річного виробітку необхідний аналіз гідрологічних даних конкретної місцевості.

навантаження.

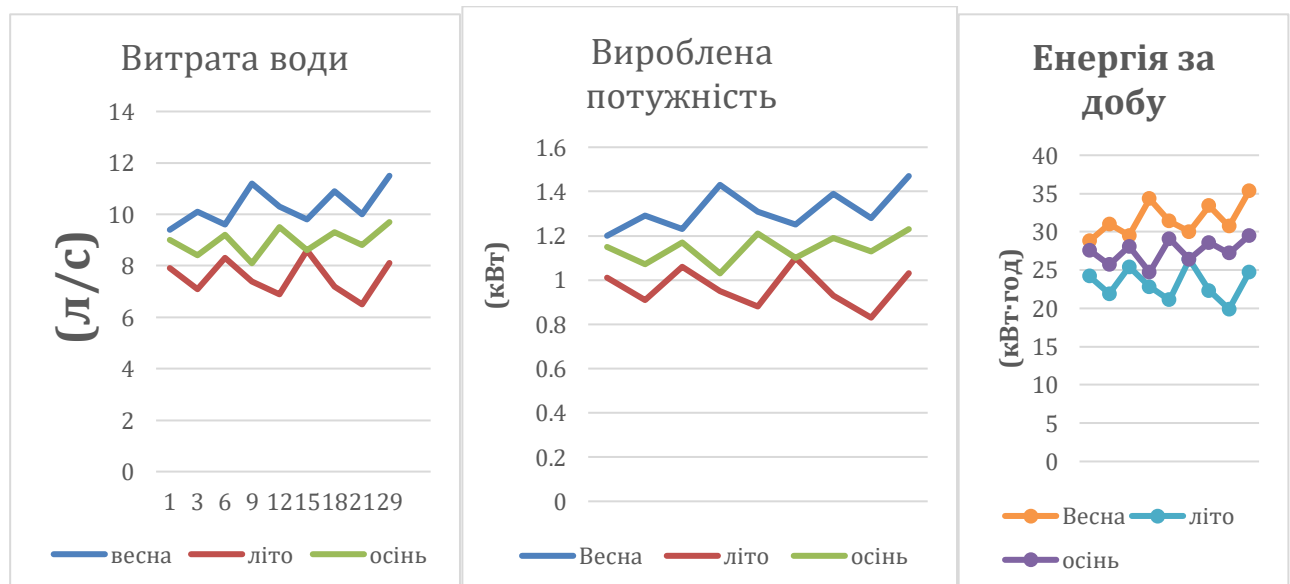


Рисунок 3.5. Графік генерації електроенергії міні-ГЕС

Як видно з Рисунку 3.5, виробіток електроенергії демонструє сезонні зміни. Найбільша генерація спостерігається в періоди великої води (весняні паводки, осінні дощі), тоді як у посушливі періоди (літня засуха, зимові морози) продуктивність може падати або взагалі припинятися.[28] Це наголошує на важливості акумуляторної батареї як буфера для забезпечення стабільного енергопостачання. Стратегії для компенсації спаду генерації можуть включати скорочення споживання, використання резервних джерел (наприклад, невеличка сонячна електростанція) або оптимальне використання водних ресурсів.

Економічне обґрунтування проекту:

Економічна оцінка проекту показана в таблиці 3.2 дозволяє визначити його вартість.

Капітальні витрати (CAPEX):

Основні капіталовкладення охоплюють:

- Вартість гідротурбіни (разом з корпусом, соплом та регулятором).
- Вартість синхронного генератора з постійними магнітами (PMSG).[26]
- Вартість MPPT-контролера заряду.[22]
- Вартість акумуляторної батареї LiFePO₄.[27]
- Вартість інвертора з чистою синусоїдою.[23]
- Вартість силового щита ВРП та його компонентів (автоматичні вимикачі, запобіжники, випрямляч, кабелі).
- Вартість водоводу, водозабірних споруд, арматури та кріплень.

Експлуатаційні витрати (OPEX):

До експлуатаційних витрат належать:

- Регулярне технічне обслуговування (огляд, очищення турбіни, перевірка електричних з'єднань).
- Можлива заміна зношених деталей (підшипники, ущільнювачі).
- Амортизаційні відрахування на обладнання.

Таблиця 3.2 Економічна оцінка капітальних витрат

Компонент / Вид Роботи	Орієнтовна Вартість, \$
Гідравлічна турбіна Пелтона (1 кВт)	800–1500
Синхронний генератор із постійними магнітами (PMSG, 1 кВт, 600 об/хв)	600–1000
MPPT-контролер заряду (48 В, 25-30 А)	250–400
Акумуляторна батарея LiFePO4 (48 В, 150-200 А·год)	1800-2000
Інвертор (чиста синусоїда, 48 В / 1.5-2 кВт)	400–700
Комплектуючі до силового щита ВРП	200–400
Водовід (труби, фітинги) та водозабірні споруди	500–700
Кабелі та з'єднання (силові, керування)	150–300
Металоконструкції (рама генераторної установки, кріплення)	100–200
Загальні Капітальні Витрати (орієнтовно):	\$4800 - 7200
Середнє значення:	\$6000

Оцінка терміну окупності:

Термін окупності розраховується як співвідношення капітальних витрат до річної економії або доходу від продажу електроенергії (за наявності). Для автономних систем, що не передбачають продаж електроенергії, термін окупності визначається як час, протягом якого зекономлені кошти на купівлю електроенергії з централізованої мережі (або вартість використання альтернативних джерел, наприклад, дизельного генератора) компенсують початкові інвестиції.

Зазвичай для автономних гідроелектростанцій цей показник може коливатися від 15 до 20 років, залежно від умов експлуатації та ринкових цін на обладнання.

Порівнюючи з іншими автономними джерелами енергії (наприклад, дизель-генераторами, які мають великі поточні витрати на паливо), міні-ГЕС є більш екологічним та довгостроково економічно вигідним рішенням.

Висновок

У кваліфікаційній роботі було обґрунтовано та спроектовано концепцію створення компактної переносної гідроелектростанції, розрахованої на 1 кВт потужності. Вона призначена для ефективного використання в умовах гірських водних потоків, де є високий напір, але відносно невелика витрата води.

Обґрунтований вибір та розрахунок гідравлічної турбіни. Підібраний синхронний генератор з постійними магнітами (PMSG). Обрано літій-залізо-фосфатні (LiFePO_4) акумулятори як надійне та довговічне рішення для зберігання енергії. Розроблена детальна електрична принципова схема силового щита ВРП, що містить усі ключові компоненти схеми.

Здійснені дослідження та обчислення підтвердили технічну та економічну доцільність цього проєкту як автономного джерела енергії.

Список використаних джерел

1. Introduction to Hydro Energy Systems: Basics, Technology and Operation / ред.: М. Jyotirmay, S. (. service). Berlin, Heidelberg : Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2011. 187 с.
2. Савенко О.М. Відновлювана енергетика в умовах децентралізації. — Ужгород: УжНУ, 2021.
3. Гідротурбіни і оборотні гідромашини. Енергетика: історія, сучасність і майбутнє. URL: <http://energetika.in.ua/ua/books/book-3/part-2/sectoin-5/5-2>
4. Водяні електростанції для будинку. beregbud. URL: https://beregbud.com.ua/vodyani-elektrostantsii-dlya-budinku/#google_vignette
5. Baoling Guo, Bacha Seddik. Mazen Alamir, Amgad Tarek Mohamed. Variable speed micro-hydro power generation system: Review and Experimental results. SYMPOSIUM DE GENIE ELECTRIQUE (SGE 2018), 3-5 JUILLET 2018, NANCY, FRANCE. URL: <https://hal.science/hal-01907850/>
6. Bajkowski S. Small Hydropower Plants - Design & Technology. - Poland: Energy Press, 2018. -178 с.
7. Micro-Hydro Power: A Beginner's Guide to Design and Installation. ATTRA. URL: <https://attra.ncat.org/publication/micro-hydro-power-a-beginners-guide-to-design-and-installation/>
8. Шефер В.В. Електричні машини: навчальний посібник / В.В. Онушко, О.В. Шефер. – Полтава, ПолтНТУ, 2015. – 536 с.
9. Сенько В. І., Трубіцин К. В., Чибеліс В. І. Інвертори і перетворювачі частоти : монографія. Київ : Видавництво Ліра-К, 2020. 300 с.
10. Розрахунок ємності АКБ та основні поняття. А-Trade. URL: <https://a-trade.com.ua/ua/text-obzor/raschet-emkosti-akb-i-osnovnye-ponyatiya>.
11. Schnitzer V. Hydro Power. Eschborn : AMES – E / GTZ, 2009.-118 с. URL: https://energypedia.info/images/3/3b/Hydro_scout_guide_ET_may10.pdf
12. Гусак О. Г., Панченко В. О. Теорія гідромашин : навч. посіб. Суми : Сумський державний університет, 2022. 158 с

13. Ібрагімова М. П. Визначення проектних параметрів малої ГЕС за регулювання потужності по водотоку. Вісник Інституту відновлюваної енергетики НАН України. URL: <https://www.ive.org.ua/wp-content/uploads/1.55-60.pdf> (дата звернення: 13.06.2025). С. 55–59.
14. Lei Y., Chen X., Jiang K., Li H., Zou Z. A Novel Methodology for Electric-Thermal Mixed Power Flow Simulation and Transmission Loss Analysis in Multi-Energy Micro-Grids. *Frontiers in Energy Research*. 2021. Vol. 8. URL: <https://www.frontiersin.org/journals/energy-research/articles/10.3389/fenrg.2020.620259/full>
15. Золотухін В. І., Лутаєв В. В. Водноенергетичні розрахунки при проектуванні гідроелектростанцій. – Рівне : НУВГП, 2005. – 204 с.
16. Лутаєв В. В. Гідроелектростанції (Машинна будівля ГЕС) : Інтерактивний комплекс навчально-методичного забезпечення. / В. В. Лутаєв, С. В. Сунічук. – Рівне : НУВГП, 2008. – 138 с.
17. Ensayos en una turbina Pelton (HM 289). G.U.N.T. Hamburg. URL: <https://www.gunt.de/es/productos/maquinas-fluidomecanicas/turbomaquinas/turbinas-hidraulicas/ensayos-en-una-turbina-pelton/070.28900/hm289/glct-1:pa-150:ca-756:pr-848>.
18. Самойленко Є. Г. Гідроенергетичне обладнання гідрота гідроакumuлюючих електростанцій. – Запоріжжя : Видавництво ЗДІА, 2006. – 410 с
19. Ouellette S., Eltayef A. Gear Fundamentals & Failure Analysis. Presentation at the Vibration Institute – Piedmont Chapter meeting. Myrtle Beach, SC, 5–6 May 2016.- 110 с. URL: <https://kh.aquaenergyexpo.com/wp-content/uploads/2023/01/Gear-Fundamentals-and-Failure-Analysis.pdf>
20. Successfully implementing direct drive technology. Baumüller. URL: <https://www.baumueller.com/en/insights/drive-technology/successfully-implementing-direct-drive-technology>
21. Zulkifli F. Y., Leza Y. M., Basari B., Rahardjo E. T. Design of rectifier for rectenna application. 2015 Asia-Pacific Microwave Conference (APMC). URL: https://www.researchgate.net/publication/300417899_Design_of_rectifier_for_rectenna_application

22. Контролер заряду для вітрогенераторів MPPT 48 В 30 А Prom.ua. .
URL: <https://prom.ua/ua/p2175988856-kontroller-zaryada-dlya.html>.
23. Інвертор 3000W 48V→230V чиста синусоїда LCD (SP-3000L48V(LCD) - Swipower). Radio-Shop.com.ua. URL: <https://radio-shop.com.ua/uk/invertor-3000w-48v-230v-chysta-synusoyida-lcd-sp-3000l48v-lcd-swipower>
24. Підшипник 6-180502C17 (62202 2RS/P6) ГПЗ-34. ІСТОК. URL: <https://istok.kh.ua/ua/p1239626624-podshipnik-180502s17-62202.html>.
25. Types of Hydropower Turbines. Department of Energy. URL: <https://www.energy.gov/eere/water/types-hydropower-turbines>
26. Permanent Magnet Alternator. Ecer.com. URL: <https://mart.ecer.com/permanent-magnetalternator/c1615982-permanent-magnet-alternator>
27. Акумулятор Керworth LiFePO4 24V/100AH (2400W*h) для будинку, котла, сонячних батарей. Ecodrive. URL: <https://ecodrive.in.ua/akumulyator-kerworth-lifepo4-24v-100ah-2400wh-dlya-budinku-kotla-sonyachnih-batarey/>
28. Variability of annual generation of wind, solar PV and hydropower in selected countries : chart. IEA. URL: <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/variability-of-annual-generation-of-wind-solar-pv-and-hydropower-in-selected-countries>

Додаток А

1 TECHNOLOGICAL PART**1.1 General information about hydroelectric power plants**

Hydroelectric power plants (HPPs) are one of the oldest, and at the same time, the most promising ways of generating electricity using the power of water flow. Unlike traditional thermal power plants or nuclear power plants, hydroelectric power plants do not require the combustion of fuel, which significantly minimizes their impact on the environment and operating costs.

The principle of operation of a hydroelectric power plant is based on the fact that the pressure of water directed at the blades of a hydroturbine causes it to rotate. In turn, the hydroturbine, connected to a generator, also drives it. The generator produces electrical energy, which is transmitted to a transformer station, and from there to power lines.

The machine room of the hydroelectric power plant houses hydraulic units that convert the energy of the water flow into electricity, and the hydroelectric power plant building itself contains all the necessary switchgear, as well as devices for controlling and monitoring the operation of the hydroelectric power plant.[3]

The power of a hydroelectric power plant depends on the volume of water and the pressure that passes through the turbines. Direct pressure is created due to the directed movement of the water flow. This can be water collected in a dam when a dam is built at a certain point on the river, or pressure is obtained due to flow diversion - this is when water is diverted from the riverbed through a special tunnel or canal.

So, hydroelectric power plants are dam, diversion and dam-diversion. The most common dam hydroelectric power plants have a dam at their base that blocks the riverbed. Behind the dam, water rises, accumulates, forming a kind of water column that provides pressure and head. The higher the dam, the greater the head. The world's tallest dam is 305 meters high, the 3,600 MW Jinping Dam on the Yalong River in western Sichuan Province, southwest China.[3]

Hydropower plants that use water energy come in two types. If the river has a small gradient but is relatively high in water, a dam is used to create a sufficient difference in water levels.

A reservoir is formed above the dam, which ensures the steady operation of the plant throughout the year. A water turbine connected to an electric generator is installed near the bank below the dam, in close proximity to it (a dam station). If the river is navigable, a lock is built on the opposite bank to allow ships to pass through. If the river is not very rich in water, but has a significant drop and a turbulent flow (for example, mountain rivers), then part of the water is diverted through a special channel, which has a much smaller slope than the river. This channel sometimes reaches a length of several kilometers. Sometimes the terrain requires replacing the channel with a tunnel (for powerful stations). In this way, a significant difference in levels is formed between the outlet of the channel and the lower reaches of the river. At the end of the channel, the water enters a pipe with a steep slope, near the lower end of which a hydroturbine with a generator is placed. Due to the significant difference in levels, the water acquires a large kinetic energy, sufficient to power the station.

Classification of hydroelectric power plants

Hydropower plants are classified according to several main criteria:

1) By installed capacity:

Large hydroelectric power plants - over 100 MW;

Medium-sized hydroelectric power plants - from 10 MW to 100 MW;

Small hydroelectric power plants - up to 10 MW;

Micro hydroelectric power plants - up to 100 kW;

Micro hydroelectric power plants have found wide application in the private sector, for powering individual buildings or small settlements, especially in remote areas without access to centralized power grids.[3]

2) By type of water energy use:

Pressure hydroelectric power plants - use significant height differences (head);

Non-pressure (stream) - operate on the natural flow of the river without creating artificial head;

Combined - use both head and kinetic energy of the flow.

3) By type of energy consumption:

With constant load - provide stable power supply;

With regulated load - use storage systems or hybrid schemes.

The choice of turbine depends on the hydrogeological features: head and water flow.

The major classifications of hydraulic turbines, as shown in Figure 1.1, are:

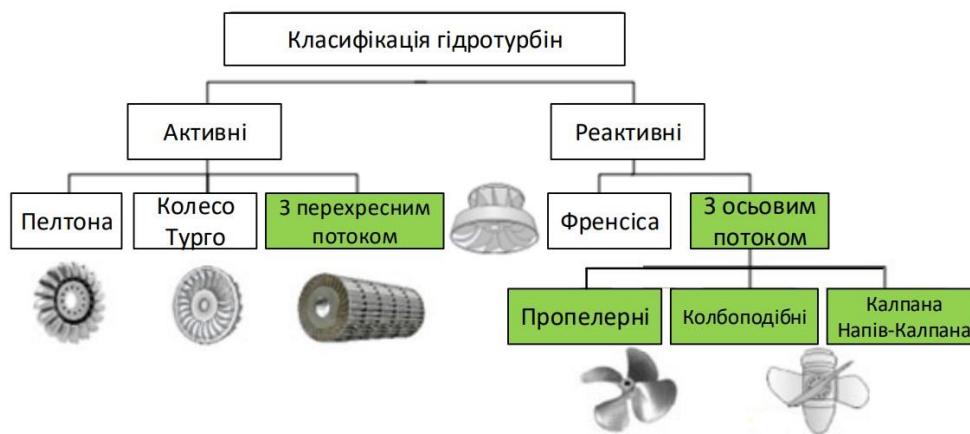


Figure 1.1 Classification of hydraulic turbines

Pelton turbine. In this system, water is directed through nozzles, directed tangentially to a circle that passes through the center of the bucket. As it escapes the nozzle, the water forms a fast-moving jet that acts on the blades (buckets) and causes the wheel to rotate. This wheel can have up to 40 blades and a maximum of 6 nozzles.

Bladed turbines are equipped with a blade in the middle that separates the jet, reducing blade wear and improving energy efficiency. This type of turbine is used for high heads, starting from 60 meters.[4]

Turgo turbine. Works effectively in the head range from 50 to 250 meters. Similar to the Pelton turbine, but has differences in the shape of the buckets and the way the water flow is directed, which falls on the rotor plane at an angle of 20 degrees. Compared to the Pelton turbine, the Turgo turbine exhibits higher speeds for similar head and water flow rates, although its efficiency is somewhat lower.[3]

Cross-flow turbine. Water enters the turbine through one or more guide channels located upstream of the impeller and crosses it twice before exiting the turbine. The operating head range varies from 5 to 200 meters. This turbine exhibits low efficiency compared to other types, but is relatively inexpensive, and its repair is simple and economical. These features make it an attractive solution for rural applications.[3]

Francis turbine. This type of turbine has fixed rotor blades and adjustable guide blades. The water in the rotor moves from the periphery to the center and then along the axis. Therefore, the inlet is always radial and the outlet is axial. Typically, these turbines are used at heads from 25 to 600 meters. The main advantages are high efficiency, but they have a steeper characteristic compared to Kaplan turbines.[3]

Kaplan turbines and propeller turbines. These turbines have an axial flow direction. The Kaplan turbine provides for the possibility of adjusting the blades and, sometimes, the guiding devices. When both types of blades can be adjusted, such a turbine is classified as a dual-control turbine. If the working blades are fixed, then it is a propeller turbine. Most often, these turbines operate at heads from 2 to 40 meters.[3]

Bulb turbine. It is a modification of the Kaplan turbine, where the generator is located in a waterproof housing that is immersed in the water flow. It functions effectively in the range of heads from 0.5 to 30 meters.

Given that small hydroelectric power plants often have limited or no water in their reservoirs, they typically operate at high flow rates and low head.[5]

1.2 Operation of hydroelectric power plants in energy systems

The operation of hydroelectric power plants (HPPs) in energy systems is characterized by certain features that arise from dependence on river runoff and the operating modes of multifunctional reservoirs. Restrictions imposed by downstream conditions and environmental protection needs also affect. Reservoirs of hydroelectric power plants (HPPs), depending on the useful volume, can regulate energy production in daily, weekly, seasonal and multi-year modes. However, if the year is low-water (usually a low-water year with 90-95% availability is taken as the calculated one), hydroelectric power plants are obliged to guarantee the calculated energy output in order to fulfill their share of the energy system load schedule.

A reservoir used for daily regulation allows the redistribution of natural daily water runoff. This is necessary to ensure uneven operation of the hydroelectric power plant in order to cover the peak part of the load schedule.[3]

During periods of reduced electrical loads in the power system on weekends, with weekly regulation, the power and electricity production of the hydroelectric power plant are reduced. Unused runoff is accumulated in the reservoir and used on weekdays, which contributes to an increase in the energy output of the hydroelectric power plant.

Under conditions of seasonal and multi-year regulation, during periods of low water, the hydroelectric power plant reservoir ensures coverage of the peak part of the daily load schedule. This occurs due to the natural inflow of water to the reservoir during the day, as well as the use of the useful volume that was previously accumulated in the reservoir.[3]

During floods, in order to maximize the use of hydropower resources and avoid unused water discharges, all hydroelectric power units of the hydroelectric power plant usually operate at maximum capacity continuously. This allows you to produce as much electricity as possible, avoiding the need for daily regulation, providing the basic component of the power system load schedule. Thanks to this, overall fuel savings are achieved, although during this period some TPPs are forced to operate in an uneven mode, especially in the peak part of the schedule.

At HPPs with reservoirs with a significant useful volume, it is advisable to have an emergency reserve of the system with a long operating time. HPPs are also provided with the placement of a load reserve of the system necessary to maintain frequency in power systems. For example, in the Unified Power System of Ukraine, the Dnieper Cascade HPP and the Dniester HPP perform the function of an emergency reserve, however, the complex use of their reservoirs imposes certain restrictions on the operating modes of HPPs as a reserve of the Unified Power System. Accordingly, their use in emergency cases can cause losses in other industries, in particular, fisheries.

Most hydroelectric power plants (HPPs) also use the synchronous compensator mode to produce reactive power.

The functioning of integrated power systems, where a significant share belongs to HPPs, depends on the regulation of reservoir flow, as well as on the correction of electricity production during the joint operation of HPP cascades in the power system due to the natural unevenness of the river flow. For example, due to the asynchrony of the flow of the Angara and Yenisei rivers, as well as due to differences in the regulatory capabilities of the reservoirs of HPP cascades located on these rivers, approximately 500 MW are additionally received in the Unified Power System of Siberia (Russia), where the share of HPPs is quite high, almost 50%. [3]

Hydropower plants play the role of a key system-forming element. The construction of large hydroelectric cascades and high-voltage lines to transmit their power has often become the basis for the formation of integrated power systems.

The operation of hydroelectric power plants is characterized by high reliability, the probability of emergency situations at them is significantly lower than at thermal power plants, where accidents are associated with the use of extremely high temperatures and pressures in the technological process, as well as larger fuel reserves, etc. [3]

1.3 Common types of homemade hydroelectric power plants for households

As noted in Figure 1.1 of the classification of hydroturbines depending on their structure and method of operation, there are several basic types of homemade hydroelectric power plants.

Garland. The design includes a cable stretched from one bank of the river to the other. Rotors are attached to this cable, which rotate under the influence of the water flow. These rotors, in turn, set in motion a cable, one end of which is connected to a bearing, and the other to the generator shaft.

Water wheel. A key element of a homemade small hydroelectric power plant. The wheel has blades located perpendicular to the water surface. Water presses on these blades, causing the wheel to rotate.

Propeller. An ideal option for a mini-hydroelectric power plant if the width of the river exceeds 10 meters. The propeller rotor is located vertically. The propeller blades are small, about 2 cm. If the river flow speed exceeds 2 meters per second, it is advisable to consider other blade sizes.

Darrieus rotor. This is a vertical rotor that rotates due to the pressure difference on its blades.[4]

1.4 Selection and comparison of cross-flow and Pelton hydroturbines

One of the key stages in the development of a portable hydroelectric power plant project for a household is the selection of the type of turbine. This is what determines the efficiency of electricity generation, the reliability of the system, and the ease of manufacture and maintenance. Among the many types of turbines used in small and micro-hydropower plants, the most suitable for individual household conditions are the cross-flow turbine (also known as the Banki or Banki-Mitchell turbine) and the Pelton turbine (bucket turbine).

Cross-flow turbine

This type of turbine has a design in the form of a cylindrical drum with blades inside Figure 1.2. The water flow passes through the rotor twice - first from the outside in, then from the inside out, which allows for better use of the energy of the flow. Such a turbine is well suited for sources with a small head (usually up to 10 meters) and a large water flow. Its advantages are ease of manufacture, and relatively low cost, as well as the possibility of manual assembly without complex equipment. At the same time, the design is sensitive to clogging, has larger dimensions and lower efficiency if manufactured incorrectly.[6]

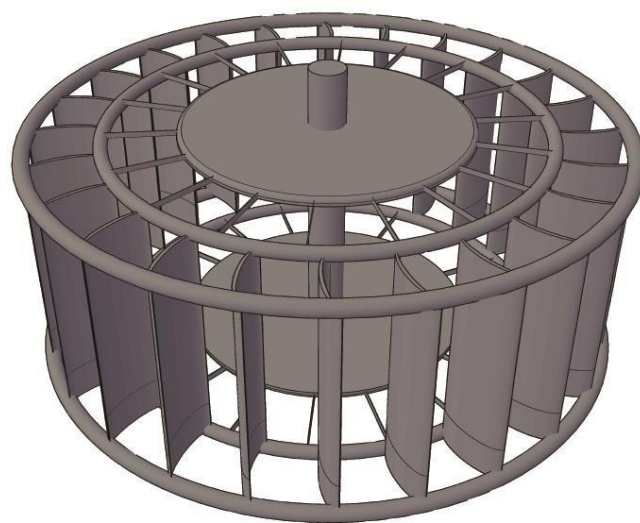


Figure 1.2 Cross-flow turbine Pelton turbine

Pelton turbine

A Pelton bucket turbine, on the other hand, is designed to operate at high water pressure and low flow rates. It consists of a disk with buckets arranged in a circle and driven into rotation by a narrow, powerful jet of water from a nozzle (Figure 1.3). Due to the shape of the buckets, the turbine effectively converts the kinetic energy of the jet into mechanical energy, providing high efficiency. It is the best option for mountainous areas or systems where it is possible to create a head of more than 10–15 meters.

Despite the more complex design, its advantages are compactness, energy efficiency and resistance to pollution.

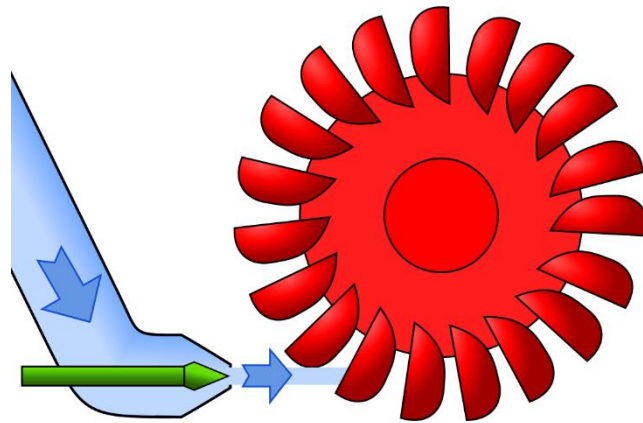


Figure 1.3 Pelton turbine

Rationale for selection: Given the requirements for portability, autonomy, and efficient operation in conditions of limited water resources, the Pelton turbine was selected for this project. This choice is due to the ability to provide stable electricity generation with low water consumption, which is especially relevant for domestic conditions. In addition, its compact design is better suited for installation in conditions of limited space or variable environments. A cross-flow turbine also has advantages, but requires a higher water consumption and is more difficult to implement for mobile applications.[6]

1.5 Criteria for selecting the optimal generator for a mini-hydroelectric power plant

One of the key components of any hydroelectric power plant is a generator - a device that converts the mechanical energy of rotational motion into electrical energy. In the context of designing a small portable hydroelectric power plant for a household, the selection and analysis of the type of generator are of critical importance, since it is this element that determines the overall efficiency of the power supply system, its reliability, and its ability to meet consumer needs.

This type of installation operates under specific conditions: variable water flow rate, low head, load fluctuations from household appliances. The generator in this context must be not only energy efficient, but also adaptable to changing external conditions.

In addition, due to the portability of the installation, compactness, ease of maintenance and the possibility of installation without special equipment become important. [7]

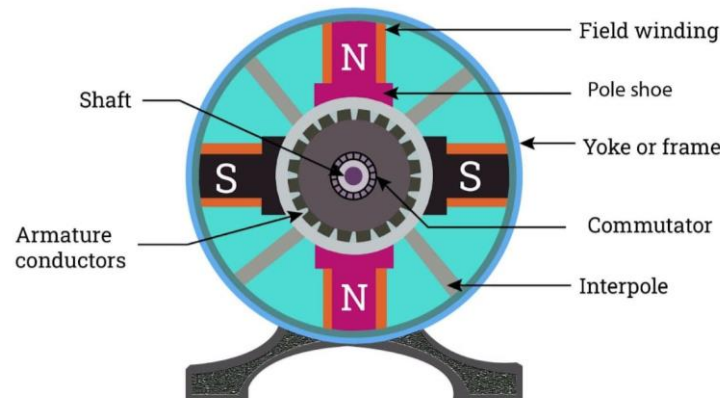


Figure 1.4 Structural diagram of a DPS

Types of generators used in small hydropower plants

In practice, several types of generators are used in small hydropower plants, which have both advantages and disadvantages. Let's consider the main ones.

Direct current (DC) generator:

This type of generator is widely used in homemade mini-hydropower plants due to its simplicity of design and ability to operate at low speeds. The main advantage is the

ability to directly charge batteries, which allows you to accumulate energy and use it in the absence of water flow. The disadvantage is limited power and the need for an inverter to convert voltage into alternating current suitable for household appliances.

Synchronous AC generator:

This is a generator that produces electricity with a stable frequency and voltage, provided that a constant rotation speed is maintained. For stable operation of such a system, it is necessary to either have a stable water flow or use an automatic turbine speed control system. In domestic conditions, this complicates implementation, but this option is suitable for directly powering household appliances without intermediate conversions.

Asynchronous generator:

It is used less often due to the peculiarities of operation - it requires external excitation (for example, connection to an existing network or the use of a capacitor bank). However, it has good mechanical reliability and a simple design. In the conditions of a portable hydroelectric power plant, it is not the optimal solution, since it requires a more complex starting circuit.[8]

Requirements for a generator as part of a portable hydroelectric power plant

Since the designed installation must provide approximately 1 kW of electrical power, the main requirements for the generator are:

- Reliability in operation under unstable loads.
- Ability to operate at variable turbine speeds.
- Compactness and ease of attachment to the turbine.
- Suitability for charging batteries or compatibility with an inverter.

In the context of the selected Pelton turbine, which operates at significant head and can provide stable high speeds, the use of a synchronous generator seems appropriate.

The final selection of specific types and models of generators will be made at the next stage of design - after calculating the rotating part of the turbine.

1.6 Inverter Selection Criteria

An inverter is an electronic device that converts direct current (DC) from batteries or a DC generator into alternating current (AC) suitable for powering common household appliances. In off-grid power systems such as small hydroelectric power plants, the inverter is a key component between the energy source and the end user.

If the generator produces direct current or electricity is stored in batteries, the inverter provides the necessary current conversion to 220 V and 50 Hz - the standard used in most household networks. Thus, it allows you to use electricity for lighting, refrigerators, pumps, chargers, computers and other household appliances.

Inverters are divided into several types according to the shape of the output voltage: Modified sine wave inverters - have a simpler design and lower cost, but can cause malfunctions in some sensitive electrical appliances;

Inverters with a correct (pure) sine wave - provide a voltage that is as close as possible to that supplied from the centralized network and are the best for stable operation of most devices.

In the design of a small hydroelectric power plant, the inverter performs a dual function: on the one hand, it allows for the efficient use of energy stored in batteries, and on the other hand, it acts as an automation element, controlling the switching of power sources (for example, from a generator to a battery and vice versa).

Modern inverters are often equipped with built-in protection against overload, short circuit, overheating and excessive discharge of batteries. This allows you to increase the reliability and safety of the entire system, as well as extend the service life of the power supply elements.[9]

The inverter is an integral part of an autonomous hydroelectric power plant, ensuring the full use of the generated electricity in everyday life. It is thanks to it that it becomes possible to convert direct current, accumulated in batteries or received from a generator, into alternating current with the parameters necessary for powering household electrical appliances.

The correct choice of an inverter - in terms of power, type of output voltage and the presence of protection systems - largely determines the efficiency, safety and durability

of the entire power system. In combination with a generator and batteries, it forms a flexible, reliable and easy-to-use backup power supply system for a household.

1.7 Energy storage from small hydropower plants

The battery plays a key role in the electricity storage system for small hydropower plants. It allows you to store excess energy produced by the generator during the plant's operation and provide power to consumers when the water flow decreases, the turbine stops working, or electricity consumption exceeds current production. Thanks to this, an autonomous hydropower plant is able to function more stably and efficiently, even in conditions of variable nature.

The main task of the battery is to serve as a buffer between electricity production and consumption. In the absence of sun, wind or water flow, only the battery allows the system to continue supplying current to the load. This is especially critical for domestic needs, where the reliability of electricity supply is extremely important.

For small hydropower plants, lead-acid (gel or AGM) or lithium-ion batteries are most often used. Each type has its own advantages. Lead-acid batteries are characterized by affordable cost, ease of operation and proven reliability. Lithium-ion batteries are lighter, have a longer cycle life, better energy density, and charge faster, but they are more expensive.

The capacity of the battery pack is determined by the planned load and the duration of autonomous operation. It is necessary that the battery not only withstands several hours of active electricity consumption, but also does not discharge too deeply, which can shorten its service life. Therefore, the system usually uses charge controllers that protect the battery from overload, overcharge, and deep discharge.[10]

The battery is installed in a dry room or enclosure protected from moisture and temperature fluctuations. It should be easily accessible for maintenance and monitoring the state of charge. In addition, it is important to provide ventilation (especially for lead-acid batteries) to avoid the accumulation of gases during operation.

In the general structure of an autonomous hydroelectric power plant, the battery plays the role of a stabilizer, allowing to smooth out irregularities in electricity production and guarantee reliable power supply to household appliances at any time.

In interaction with an inverter and a generator, it forms a full-fledged autonomous backup power system.

Conclusions to section 1

The first section considered the key elements of a compact portable hydroelectric power plant, which form its basic structure and determine its performance. Particular attention was paid to the selection and properties of the turbine - the main component that converts the energy of the water flow into mechanical rotational energy. Selection of the optimal type of turbine guarantees maximum use of hydropower potential with minimal losses.

Different types of generators for hydroelectric power plants were also considered, such as: synchronous, asynchronous and DC generators. The importance of matching the generator to operating conditions and load characteristics in the domestic sector was emphasized.

Therefore, a comprehensive analysis of the main components of a small hydroelectric power plant makes it possible to create an efficient, reliable, and user-friendly system of autonomous household power supply that can successfully operate in remote or autonomous conditions.

Міністерство освіти та науки України
Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

Кафедра автоматики, електроніки та телекомунікацій

Розроблення проєкту малої портативної ГЕС для домогосподарства

Кваліфікаційна робота бакалавра

Виконав:

Студент 401-МЕ групи

Тютюнник А.В.

Керівник:

доцент, к.т.н.

Трег'як А.В.

Полтава 2025


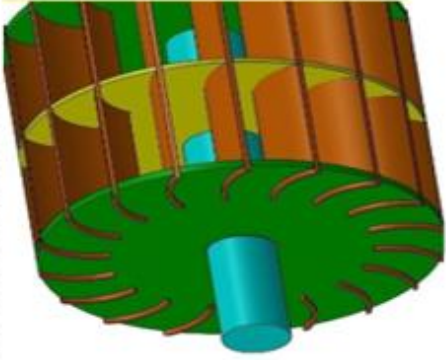


Актуальність цієї теми - через повномасштабне вторгнення РФ війну в Україні та регулярні **блекаути**, спричинені руйнуванням енергетичної інфраструктури. З'явилась велика потреба у надійних, автономних джерелах живлення для домашніх та господарських потреб. Малі переносні гідроелектростанції — це екологічне, дієве та доступне рішення, що дає змогу забезпечити енергетичну незалежність окремого домогосподарства.

Мета даної роботи – розробити малу, портативну гідроелектростанцію, призначену для автономного енергозабезпечення оселі, з урахуванням простоти конструкції, ефективності та можливості функціонування в умовах кризи.

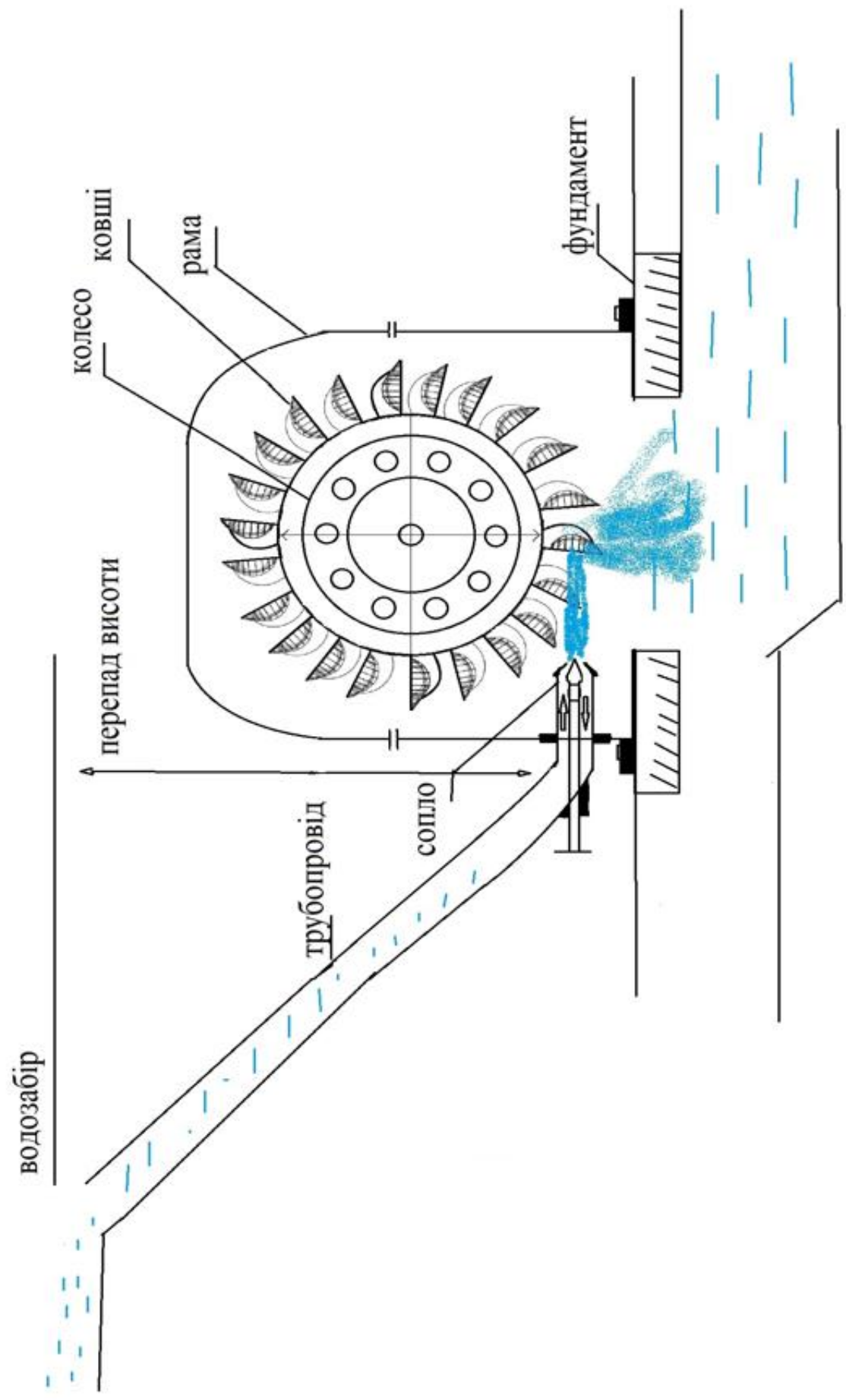
Для досягнення поставленої мети в роботі передбачено вирішення таких завдань:

- проаналізувати типи малих ГЕС та обрати оптимальний тип турбіни;
- аргументувати вибір генератора, акумуляторної батареї, інвертора та супутніх компонентів;
- здійснити розрахунок параметрів потоку: витрати води, напору, потужності;
- спроектувати загальну електричну схему системи.

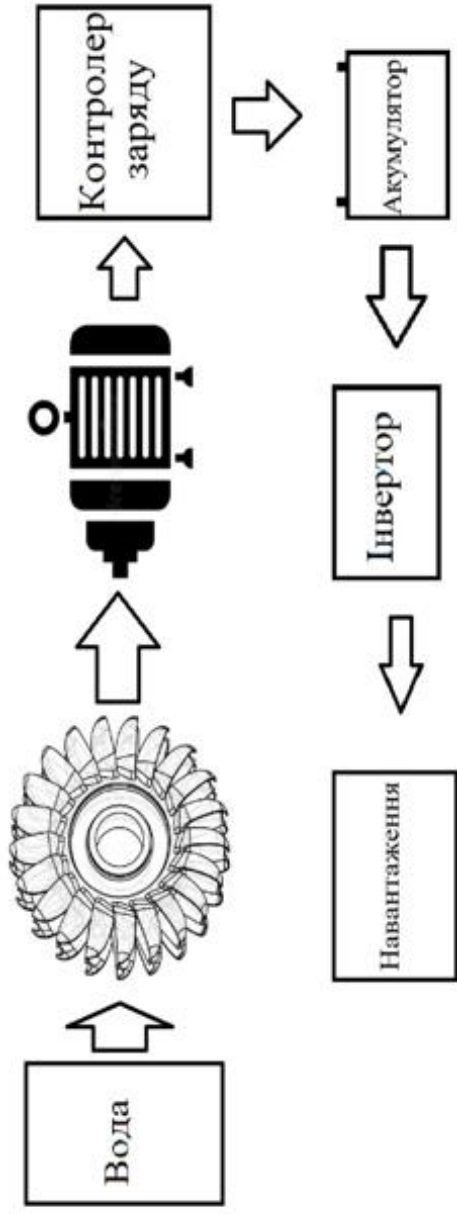
Варіанти конструкції турбін

Типи турбін	Пелтон	Банкі-Мітчелъ	Френсіса	Пропелер (Каплана)
				
Витрата води	мала	помірна	велика	велика
Напір, м	Від 30	5-25 м	10-300	До 10
перевага	Ефективна, надійна	Громізка, неефективна	Ємнісна, складна	Витрагна, громізка

КОНСТРУКТИВНА СХЕМА МІНІ-ГЕС



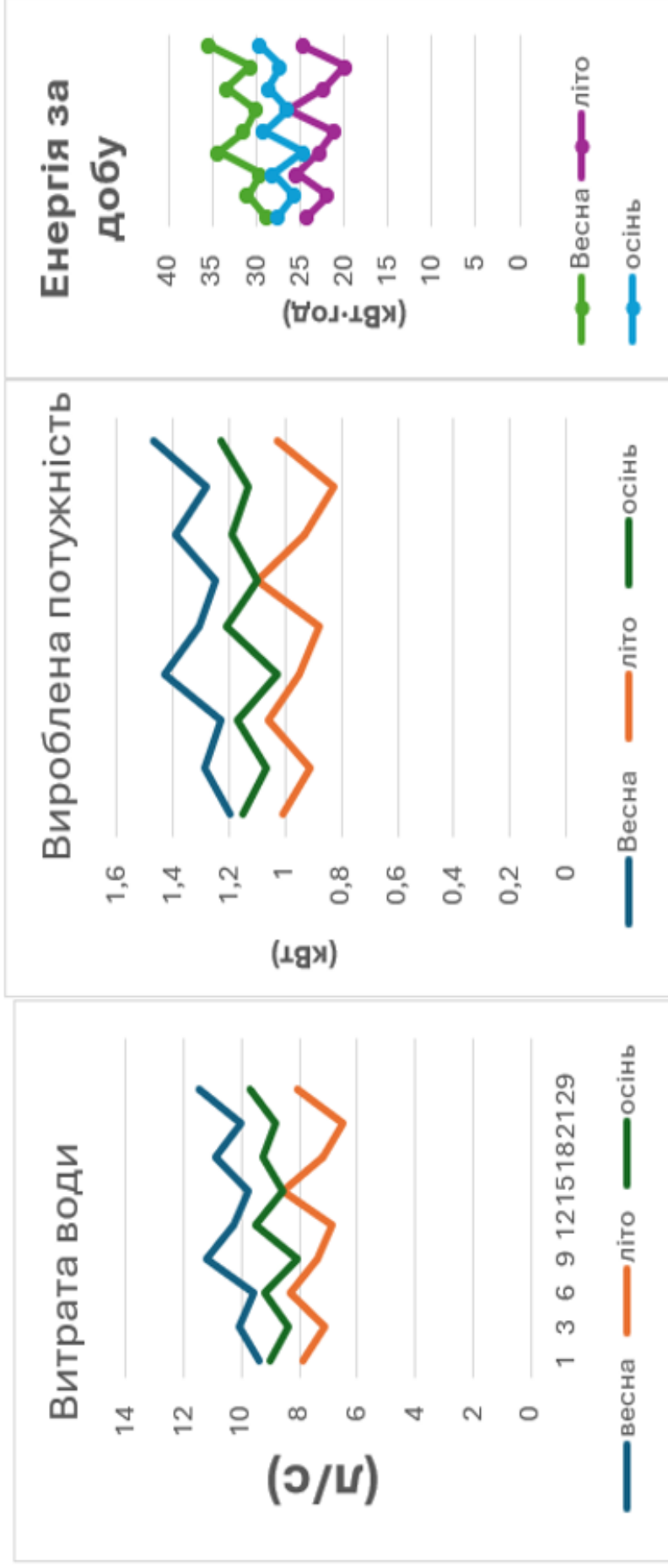
Загальна схема
процесу
перетворення
енергії води в
електричну



Структурна
схема
керування
електростанції
що
запропонована

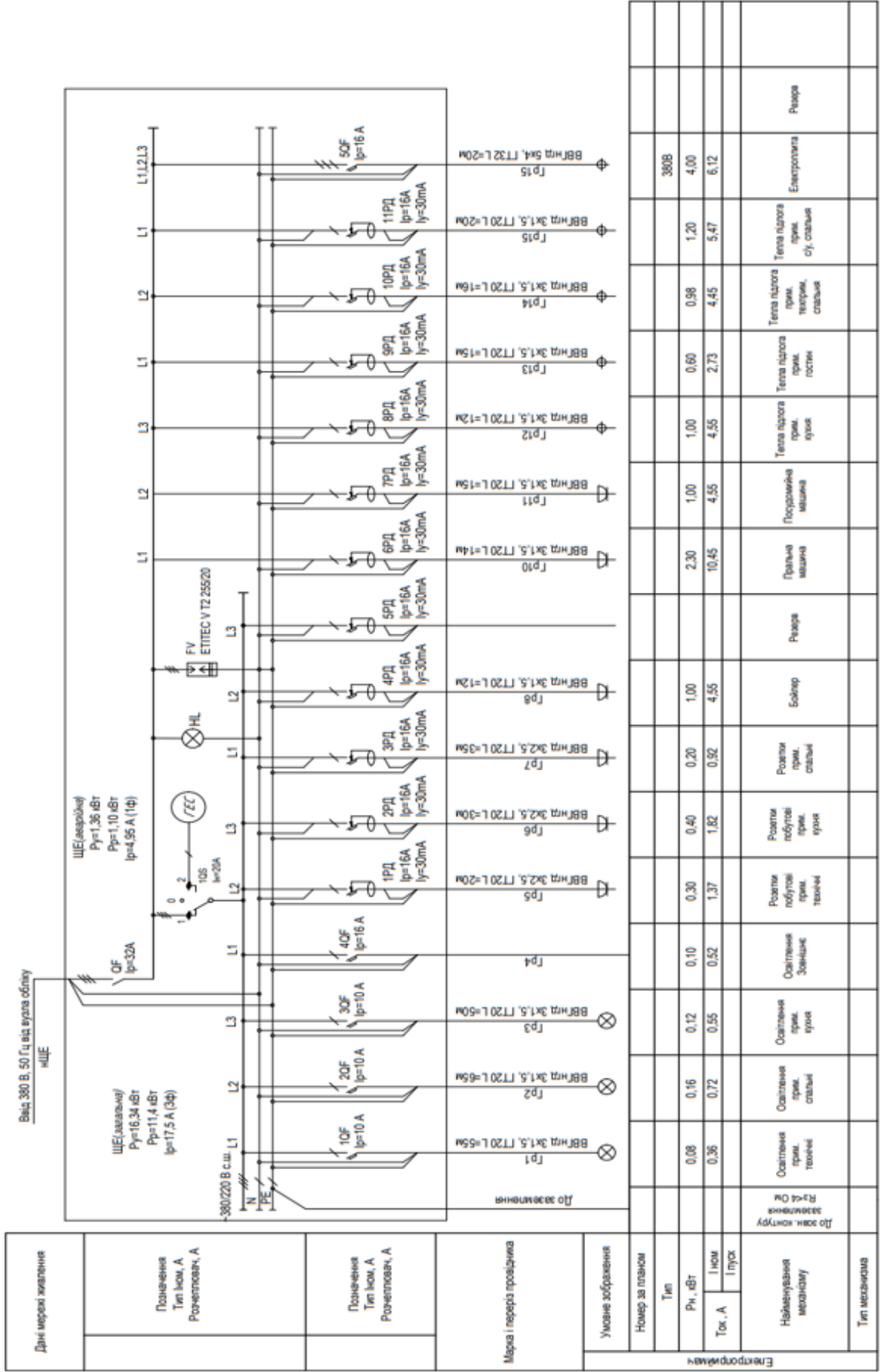


Графіки генерації



Найбільша генерація спостерігається в періоді весняних паводків та осінніх дощів. Навпаки, у літній посушливий період або взимку, коли річка може замерзати, обсяги генерації знижуються.

Електрична принципиова схема силового щита



Економічна оцінка капітальних витрат

8

Компонент	Орієнтовна Вартість, \$
Гідравлічна турбіна <u>Пелтона</u> (1 кВт)	800–1500
Синхронний генератор із постійними магнітами (PMSG, 1 кВт, 600 об/хв)	600–1000
МРРТ-контролер заряду (48 В, 25-30 А)	250–400
Акумуляторна батарея LiFePO4 (48 В, 150-200 А·год)	1800-2000
Інвертор (чиста синусоїда, 48 В / 1.5-2 кВт)	400–700
Комплектуючі до силового щита ВРП	200–400
Водовід (труби, фітинги) та водозабірні споруди	500–700
Кабелі та з'єднання (силові, керування)	150–300
Металоконструкції (рама генераторної установки, кріплення)	100–200
Загальні Капітальні Витрати (орієнтовно):	\$4800 - 7200
Середнє значення:	\$6000