

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії та енергетики

Кафедра електрифікації, автоматизації виробництва та інженерної екології

Кваліфікаційна робота  
на правах рукопису

**Ступаку Артем Андрійович**

УДК 631.363.2

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**Обґрунтування параметрів вибору основного обладнання  
малої ГЕС**

141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»  
(шифр і назва спеціальності)

Подається на здобуття освітнього ступеня бакалавр  
Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання  
ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне  
джерело

\_\_\_\_\_ Ступак А.А.  
(підпис, ініціали та прізвище здобувача вищої освіти)

Керівник роботи  
Ярош Я.Д.  
д.т.н., професор

Житомир – 2024

## АНОТАЦІЯ

Ступак А.А. Обґрунтування параметрів вибору основного обладнання малої ГЕС. Рукопис. Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня бакалавра за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка – Поліський національний університет, Житомир, 2024.

У кваліфікаційній роботі розглянуті теоретичні і практичні аспекти параметрів вибору основного обладнання малої гідроелектростанції. Результатом цього дослідження стала оцінка доцільності впровадження малих гідроелектростанцій та вивчення їх потенціалу для підвищення енергоефективності як на нових, так і на об'єктах які можна реконструювати. Визначено параметри основного обладнання гідроелектростанцій

**Ключові слова:** гідроенергетика, мала гідроелектростанція, обладнання, гідрогенератор, трансформатор, турбіна.

## ABSTRACT

Stupak A.A. Justification of the selection parameters of the main equipment of a small hydropower plant. Manuscript. Qualifying work for obtaining a bachelor's degree in specialty 141 - Electric power, electrical engineering and electromechanics - Polissia National University, Zhytomyr, 2024.

In the qualification work, the theoretical and practical aspects of the selection parameters of the main equipment of a small hydroelectric power station are considered. The result of this study was an assessment of the feasibility of implementing small hydroelectric power plants and studying their potential for increasing energy efficiency both at new and at facilities that can be reconstructed. The parameters of the main equipment of hydroelectric power stations have been determined

**Key words:** hydropower, small hydropower plant, equipment, hydrogenerator, transformer, turbine.

## ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ .....	2
ВСТУП .....	4
РОЗДІЛ 1. Сучасний стан малої гідроенергетики України .....	6
1.1. Визначення малої гідроенергетики .....	6
1.2. Сучасний стан розвитку малої гідроенергетики України .....	9
Висновки до розділу 1 .....	12
РОЗДІЛ 2. ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ВИБОРУ ОСНОВНОГО ОБЛАДНАННЯ МАЛОЇ ГЕС .....	13
2.1. Типові компоненти основного обладнання малої гідроелектростанції .....	13
2.2. Розрахунок параметрів вибору основного обладнання на прикладі Лугинської малої ГЕС .....	20
Висновки до розділу 2 .....	26
РОЗДІЛ 3. Вибір структурної електричної схеми Лугинської малої ГЕС .....	27
Висновки до розділу 3 .....	31
ВИСНОВКИ.....	32
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	35
ДОДАТКИ.....	39

## ВСТУП

**Актуальність теми та аналіз останніх досліджень.** Розвиток «зеленої» енергетики має вирішальне значення як для міжнародного, так і для локального ринків електроенергії, що робить її перспективним сектором для української економіки. Щоб досягти цього, необхідно досліджувати нові та вдосконалені джерела відновлюваної енергії, включаючи будівництво малих гідроелектростанцій. Отже, все більше значення надається науковим дослідженням для розробки стратегічних та ефективних заходів для впровадження малої гідроенергетики в Україні, пристосованих до унікальних характеристик системи розподілу енергії, що робить дослідження актуальним.

Питання функціонування, будови, електрообладнання малих ГЕС досліджували: Акімов А., Бабич М., Бегун С., Білуха А., Боярчук В., Бумарсков С., Васько П., Ващишак І., Вовчак В., Возна Н., Дегтяренко О., Дівнич Н., Дубровська В., Закорчевна Н., Ібрагімова М., Карамушка О., Кригуль Р., Крока Т., Ландау Ю., Мороз А., Мусінкевич В., Нагорнева Н., Пелєвін А., Пізнак В., Рибалко А., Самченко О., Стаднік М., Суходоля О., Тептя В., Тесленко О., Халіков В., Чумаченко О., Шашков С., Шкляр В., Шолудько В., Яцик А. та інші.

**Метою дослідження** є обґрунтування основних параметрів обладнання малої гідроелектростанції. Для досягнення мети були сформульовані та реалізовані наступні основні **завдання**:

- було визначено критерії малої гідроенергетики;
- визначено стан розвитку малої гідроенергетики України;
- досліджено типові компоненти основного обладнання малої гідроелектростанції;
- розраховано параметри вибору основного обладнання на прикладі малої гідроелектростанції

– побудовано структуру електричної схеми малої гідроелектростанції.

**Об'єктом дослідження** є мала гідроенергетика України. **Предметом дослідження** є процес обґрунтування параметрів вибору основного обладнання малої ГЕС.

**Методи дослідження.** Для досягнення поставлених завдань використовуються методи імітаційного комп'ютерного моделювання, а також методи індукції та дедукції, методи узагальнення та проектування, табличний та графічний методи.

**Інформаційна база дослідження.** Основою для написання теоретичної частини роботи стали дослідження вітчизняних науковців та українських науковців щодо малої гідроенергетики. Практично-аналітична частина проекту базувалася на окремих фактичних даних функціонування існуючої гідроелектростанції. При написанні теоретичної частини були використана інформація з наукових видань та інтернет-джерел, що висвітлює малу гідроенергетику

**Практичні значення одержаних результатів.** Результатом цього дослідження стала оцінка доцільності впровадження малих гідроелектростанцій та вивчення їх потенціалу для підвищення енергоефективності як на нових, так і на об'єктах які можна реконструювати.

**Перелік публікацій автора за темою кваліфікаційної роботи.** Окремі положення кваліфікаційної роботи були викладені автором в тезах на наступну тематику: Малі гідроелектростанції: основні компоненти [19]; Визначення малої гідроенергетики [27].

**Структура та обсяг кваліфікаційної роботи.** Основна частина кваліфікаційної роботи викладено на 34 сторінках основного тексту. Ілюстративний матеріал подано у 6 таблиць та 9 рисунків. Структурно робота містить вступ, два розділи по два підрозділи і один розділ без підрозділів, висновки, список використаних джерел (32 найменування), 2 додатки.

## РОЗДІЛ 1. Сучасний стан малої гідроенергетики України

### 1.1. Визначення малої гідроенергетики

Всі гідроелектростанції в цілому можна класифікувати як великі гідроелектростанції і малі гідроелектростанції. Важливе питання, яке виникає, полягає в тому, що робить гідроелектростанцію великою чи малою? В основному гідроелектростанції розрізняють за встановленою потужністю на великі і малі. Іншим важливим аспектом, пов'язаним із ознаками малої ГЕС, є відсутність великих водосховищ, що є необхідними для великих гідроенергетичних проєктів [27, с. 159].

Мала гідроенергетика використовується в більшості з 148 країн світу. Її сумарна встановлена потужність становить майже 79 ГВт. У всьому світі в цілому використовується до 38,0% загального потенціалу малих гідроелектростанцій [1].

На сьогодні не існує міжнародного консенсусу щодо визначення малої ГЕС. Проаналізуємо верхню межу встановленої потужності малих ГЕС в деяких країнах, коли гідроенергетика нижче цього рівня вважається малою (табл. 1.1).

Таблиця 1.1

#### Верхня межа встановленої потужності для малої гідроенергетики, прийнята різними країнами.

№	Країна	Верхня межа потужності, МВт	№	Країна	Верхня межа потужності, МВт
1	Швеція	1,5	11	Камбоджа	15
2	Італія	3	12	Австралія	20
3	Бельгія	10	13	Колумбія	20
4	Греція	10	14	Великобританія	20
5	Іран	10	15	Індія	25
6	Ірландія	10	16	Бразилія	30
7	Португалія	10	17	Сполучені Штати	30
8	Іспанія	10	18	Китай	50
9	Туреччина	10	19	Нова Зеландія	50
10	Франція	12	20	Філіппіни	50

Джерело: [31]

У різних країнах прийнято різні критерії для збереження верхньої межі встановленої потужності від 1,5 до 50 МВт. Можна побачити, що обмеження встановленої потужності проектів малих ГЕС становить лише 1,5 і 3 МВт у Швеції та Італії відповідно, і досягає 50 МВт у таких країнах, як Філіппіни, Нова Зеландія та Китай. Верхня межа потужності, в Україні така як в Італії, Бельгії, Греції, Ірландії, Португалія, Іспанія тощо [31].

Розбіжність у класифікації малих гідроелектростанцій пояснюється специфікою природних умов, екологічними законами країн і ступенем розвитку їх економіки [7]. Якщо звернутися до існуючої класифікації в Україні то до малих ГЕС відносять гідроелектростанції потужністю не вище 10 МВт та не менше 1 МВт, до міні ГЕС - потужністю з не вище 1 МВт та не менше 200 кВт, до мікро ГЕС – менше 200 кВт [24], тобто умовно всі ГЕС з потужністю менше 10 МВт можна відносити до малих ГЕС.

У сучасних типах малих ГЕС, які будують на річках, застосовують в основному звичайні схеми використання напору і основні проектні рішення в них суттєво не відрізняються порівняно з малими ГЕС, які будували в минулі роки [14]. За способом створення, показниками напору і потужністю малі ГЕС діляться на кілька типів (табл. 1.2).

*Таблиця 1.2*

### **Класифікаційні характеристики малих ГЕС**

Класифікаційна характеристика	Тип	Характеристика
Встановлена потужність	Малі ГЕС	Від 1 до 10 МВт
	Міні ГЕС	Від 200 до 1000 кВт
	Мікро ГЕС	До 200 кВт
Спосіб створення напору води	Руслові ГЕС	Водний напір утворюється за рахунок побудованої дамби, яка повністю перегороджує річку
	Дериваційні ГЕС	Водний напір утворюється за рахунок напірної або безнапірної деривації (відведення води з русла річки по каналу або системою водовідведення)
Показник напору	Низьконапірні ГЕС до 20 м	Низьконапірний русловий гідровузел передбачає створення ГЕС із напором води в кілька метрів, водосховище якого зазвичай обмежується зоною природного затоплення заплави в разі сильних паводків
	Середньонапірні від 20 до 70 м	Середня величина напору води виникає за рахунок існуючої дамби або будівництва деривації
	Високо напірні від 70 м і вище	Напір виникає за рахунок деривації

Джерело: [14, с. 88].

Гідроелектростанції в першу чергу класифікують принципом використання природних ресурсів і відповідною концентрацією використаної води. Тут можна виділити наступні типи малих ГЕС: дериваційні, пригреблеві, руслові та гідроакумулюючі [8, с. 13]. Класифікація ГЕС, в т.ч. і за способом створення напору, величиною напору, встановленою потужністю наведена в додатку А. Малі ГЕС, як правило – це низьконапірні руслові ГЕС на невеликих тихих річках та дериваційні чи пригреблеві ГЕС на швидких чи гірських річках.

Основні характеристики малих ГЕС за конструктивними елементами наведено в таблиці 1.3.

*Таблиця 1.3*

### **Основні характеристики конструктивних елементів малих ГЕС**

Елементи	Тип малих ГЕС		
	Малі (1-10 МВт)	Міні (200 кВт-1 МВт)	Мікро (<200кВт)
Будівля ГЕС, м <sup>2</sup>	100-225	20-120	Відсутня - до 30
Водосховище, га	0-50	0-10	0
Довжина греблі, м	15-50	10-25	0-10
Турбінний водовід:			
- довжина, м	25-1000	10-1000	0-100
- діаметр, м	1,0-2,25	0,5-1,5	0,3-1,0
Довжина відводного каналу, м	50-300	25-100	0-10

Джерело: [14, с. 88].

Основні характеристики конструктивних елементів малих ГЕС показують, що не існує чіткої відмінності по належності ГЕС до малих чи міні або мікро чи міні, основним критерієм є їх потужність.

Звичайно, збільшення потужності установки малої гідроелектростанції призводить до зниження тарифів на електроенергію завдяки економії масштабу. Однак важливо зазначити, що для малої ГЕС зменшення потужності установки гідроенергетичного проекту призводить до зменшення розміру гідроенергетичної схеми, що означає менше будівельних робіт, невелике гідромеханічне та електричне обладнання та, як наслідок, низьку вихідну потужність. Крім того, малі ГЕС потужністю можуть використовувати спеціальні резервуари для достатнього водопостачання. Це



означає, що проекти малих ГЕС також відіграють значну роль для водосховищ.

## **1.2. Сучасний стан розвитку малої гідроенергетики України**

У світі відродився ентузіазм щодо створення та використання малих гідроелектростанцій. Ці заводи будуються з передовими технологіями, включаючи передову автоматизацію та віддалений моніторинг. Світова спільнота визнала економічні та екологічні переваги малої гідроенергетики, що призвело до її швидкого розширення [14, с. 88].

У першій половині 1960-х років в Україні спостерігається різке зростання кількості малих гідроелектростанцій, які досягли 1,5 тисячі. Однак незабаром ця тенденція була переломлена завдяки впровадженню централізованого електропостачання. Протягом усього десятиліття Радянський Союз зосереджувався на будівництві великих електростанцій, у тому числі гідроелектростанцій, теплових і атомних установок. У зв'язку з цим малі електростанції почали занепадати, що згодом призвело до повної зупинки їх будівництва та значного зниження їх експлуатації. Ця зміна була зумовлена в першу чергу значно нижчою вартістю та більшим обсягом енергії, виробленої цими потужними установками [7].

Враховуючи обмеження природоохоронного законодавства щодо землекористування та споживання води, малі гідроелектростанції в Україні мають потенціал виробляти приблизно 1270 млн. кВт/год електроенергії на рік. Це становить приблизно 28% загального гідропотенціалу всіх річок країни. Розрахункова досяжна встановлена потужність малих гідроелектростанцій становить близько 375 МВт [1]. Однак станом на початок 2023 року діючі станції мали сумарну встановлену потужність приблизно 120 МВт [11].

Малі річки України, які становлять близько 95% від загальної кількості,

є основним джерелом енергії для малої гідроенергетики. У країні близько 63 000 малих річок і водотоків загальною довжиною 135 800 км. Серед них близько 60 000 дуже малих річок, довжина яких не перевищує 10 км. Ці коротші річки мають середню довжину 1,9 км і загальну довжину 112 000 км. Більшість цих малих річок мають площу водозбору від 20,1 до 500 км<sup>2</sup>, що становить 87% від загальної кількості та 72% від загальної довжини малих річок України. Зокрема, з площею водозбору від 50,1 до 100 км<sup>2</sup> нараховується 890 малих річок чи 28% від загальної кількості, а з площею водозбору від 20,1 до 50 км<sup>2</sup> – 797 річок чи 25%. Для подальшої класифікації малих річок на основі площі водозбору, є 10 916 річок чи 17,3% усіх малих річок з площею водозбору 10 км<sup>2</sup> або менше, 10 647 річок чи 16,9% з площею водозбору від 50,1 до 100 км<sup>2</sup> та 10591 річка чи 16,8% з площею водозбору від 101 до 200 км<sup>2</sup> [14, с. 89].

Існуюча нормативна система регулювання в Україні пропонує сприятливі перспективи для розвитку проектів малої гідроенергетики в регіонах, де економічна доцільність і екологічні фактори співпадають. Ці об'єкти мікрогідроенергетики мають потенціал зробити значний внесок у майбутню енергетичну стратегію України, особливо в регіональному масштабі [18]. Тим не менш, існує декілька основних перешкод, які заважають розвитку малої гідроенергетики в Україні, до яких належать:

- реалізація проектів малої гідроенергетики в Україні є неорганізованою та без належної соціально-економічної та екологічної оцінки;
- при проектуванні, будівництві та експлуатації проектів малих ГЕС часто нехтували встановленими стандартами;
- крім того, державна підтримка малої гідроенергетики є недостатньою, оскільки відсутній науково обґрунтований план розвитку;
- існуючі нормативні акти та рекомендації не виконуються ефективно, а сектору не вистачає належного нагляду, часто пріоритетом є інтереси інвесторів над скоординованим регіональним розвитком;

- крім того, високі процентні ставки, встановлені банками, ускладнюють забудовникам отримання фінансування для будівництва або реконструкції малих гідроелектростанцій;
- крім того, бракує нормативно-технічної бази для одночасної роботи малих ГЕС і регіональних енергетичних мереж;
- наразі вибір місць для будівництва малих гідроелектростанцій в Україні здійснюється переважно інвесторами без належного врахування екологічних проблем [7].

Серед суттєвих недоліків малих гідроелектростанцій можна виділити наступні основні фактори, що мають шкідливий вплив на навколишнє середовище: будівництво малих гідроелектростанцій може мати різний негативний вплив на навколишнє середовище. До них відносяться зміни гідрологічного режиму річки, що може призвести до деградації прибережної рослинності та збільшення кількості паводків. Це також може мати згубний вплив на іхтіофауну, оскільки відсутність місць корміння для риби може призвести до зникнення унікальних видів риби та інших гідробіонтів. Крім того, будівництво може призвести до активізації зсувних, обвальних і ерозійних процесів, а також замулення водойм і забруднення прилеглих територій. Крім того, занепокоєння викликає неестетичний вигляд дериваційних русел та зниження туристичної привабливості прирічкових територій. Тому вкрай важливо керувати роботою цих об'єктів відповідно до належної екологічної практики. Це дозволить впроваджувати ефективні рішення для вирішення таких проблем, як якість води, боротьба з повенями, рибальство, рекреація та поповнення стоку, особливо в контексті прикордонного режиму річок [30].

Завдяки використанню ділянок покинутих малих гідроелектростанцій реалізація проектів малої гідроенергетики має потенціал для значного покращення навколишнього середовища, стимулювання економічного зростання та сприяння децентралізації енергетики.

## Висновки до розділу 1

Гідроенергетика є одним із відновлюваних джерел енергії з найвищою ефективністю перетворення, ніж інші відновлювані джерела енергії. Очікується, що реалізація проектів малої гідроенергетики відіграватиме значну роль у формуванні загальної енергетичної системи, вирішуючи різні проблеми постачання енергії у віддалені та важкодоступні сільські регіони, а також зменшить негативний вплив війни на електроенергетику. Крім того, мала гідроенергетика зможе вирішити низку економічних, екологічних та соціальних проблем, з якими стикнулася Україна сьогодні.

У різних країнах прийнято різні критерії для збереження верхньої межі встановленої потужності від 1,5 до 50 МВт. Можна побачити, що обмеження встановленої потужності проектів малих ГЕС становить лише 1,5 і 3 МВт у Швеції та Італії відповідно, і досягає 50 МВт у таких країнах, як Філіппіни, Нова Зеландія та Китай. Верхня межа потужності, в Україні така як в Італії, Бельгії, Греції, Ірландії, Португалія, Іспанія тощо. Якщо звернутися до існуючої класифікації в Україні то до малих ГЕС відносять гідроелектростанції потужністю не вище 10 МВт та не менше 1 МВт, до міні ГЕС - потужністю з не вище 1 МВт та не менше 200 кВт, до мікро ГЕС – менше 200 кВт, тобто умовно всі ГЕС з потужністю менше 10 МВт можна відносити до малих ГЕС.

## **РОЗДІЛ 2. ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ВИБОРУ ОСНОВНОГО ОБЛАДНАННЯ МАЛОЇ ГЕС**

### **2.1. Типові компоненти основного обладнання малої гідроелектростанції**

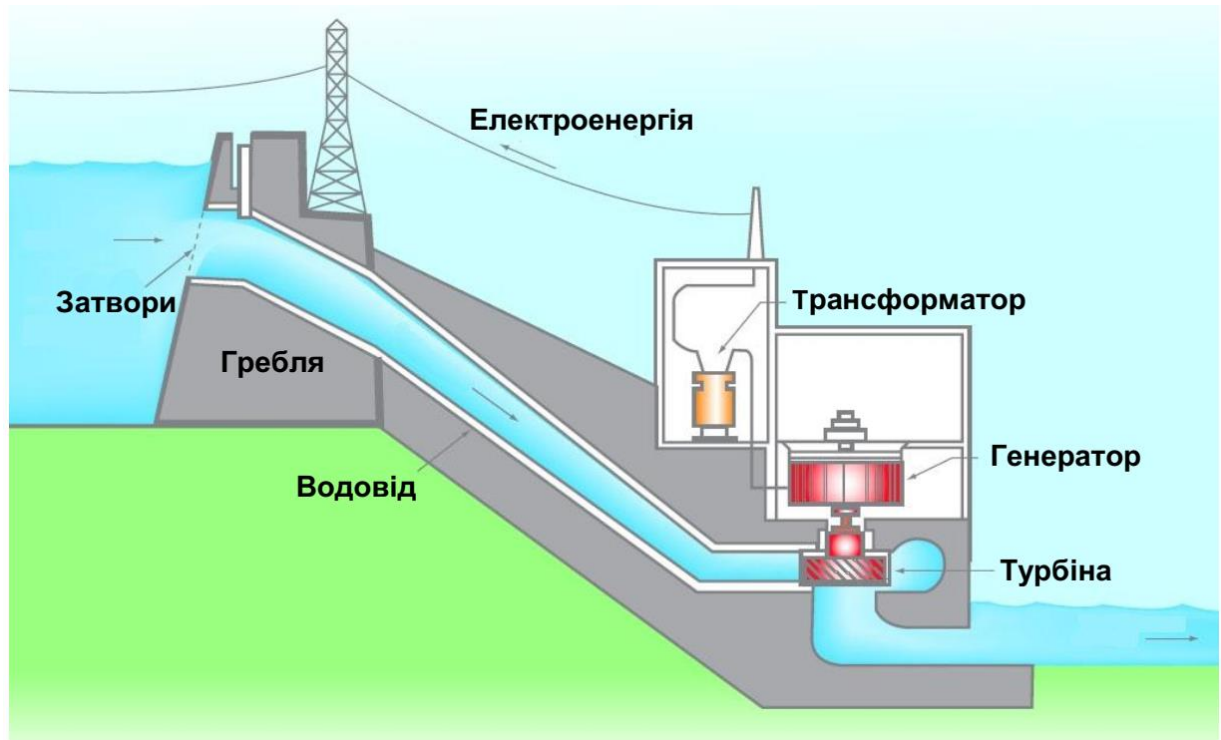
Складовими частинами малих гідроелектростанцій є приміщення електростанції, генератори, турбоагрегати, водозабірні і водовідвідні споруди, системи контролю та регулювання. Основні компоненти малої гідроелектростанції можна розділити на три основні категорії, компоненти як показано нижче:

1) будівельні компоненти: їх можна визначити як компоненти, які знаходяться в прямому контакті з водою і не мають рухомих частин, наприклад дамба, будівля електростанції та хвостовий канал. Електростанція повинна бути сконструйована таким чином, щоб передбачити простір для складання агрегату, кімнату управління, де зберігаються всі креслення та інструкції з обслуговування, кімнату для персоналу, туалет і місце для стенду з інструментами та обладнанням машинного цеху.

2) механічні компоненти: їх можна визначити як компоненти, які знаходяться в прямому контакті з водою та мають рухомі частини, такі як турбіна, затвори та клапани. Гідротурбіна є найважливішим компонентом гідроелектростанції, яка перетворює потенційну енергію води в механічну енергію, а потім приводить в дію генератор для виробництва електроенергії.

3) електричні компоненти: їх можна визначити як компоненти, які не контактують з водою та мають рухомі частини, такі як генератори, трансформатори та автоматичні вимикачі. Термін електромеханічне обладнання стосується компонентів, пристроїв і машин, які використовуються на малих гідроелектростанціях: електричні генератори – для перетворення механічної енергії в електричну енергію, трансформатори – для перетворення напруги електричної енергії в мережу тощо [19, с. 259].

Типова схема малої гідроелектростанції (на прикладі греблевої) показана на рис. 2.1.



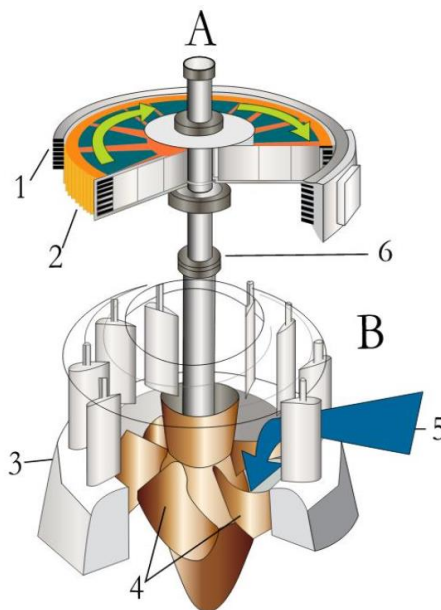
**Рис. 2.1. Типова схема малої гідроелектростанції**

Джерело: [8, с. 29]

У сфері гідроенергетики всі споруди обладнані турбінами, які ефективно перетворюють енергію текучої води в енергію обертання ротора турбіни. За принципом роботи гідротурбіни поділяються на два основних типи: активні та реактивні, кожна з яких має свою унікальну конструкцію. Вибір конкретної турбіни визначається такими факторами, як тиск і витрата води. Активні турбіни, також відомі як турбіни вільного струменю, насамперед використовують кінетичну енергію струменя води, що вільно тече. І навпаки, реактивні турбіни переважно використовують потенційну енергію всередині потоку. Кожен тип гідротурбіни підходить для певного діапазону тиску та витрати води та має свою окрему область застосування. Класифікація турбін заснована на їх конструкції, яка включає поворотно-лопатеві (Каплана), радіально-осьові (Френсіса), пропелерні (Томсона), ковшові (Пелтона), похило-струменеві (Турго) та дворазові (Бенкса) види турбін [8].

Вибір турбін для малих гідроелектростанцій визначається напором води. На гідроелектростанціях високого тиску використовуються ковшеві та радіально-осьові турбіни, які були спеціально розроблені для цієї мети. На гідроелектростанціях середнього тиску, навпаки, використовуються турбіни, оснащені поворотно-лопатевими і радіально-осьовими механізмами. Що стосується станцій низького тиску з обмеженою потужністю, то вони розраховують на встановлення поворотно-лопатевих турбін [8]. Основні типи турбін для малих ГЕС наведені в додатку Б.

Турбіна, з'єднана з електрогенератором, розпочинає його дію. Коли турбіна обертається, серія магнітів, прикріплених до валу, проходить повз мідні пластини та генератор. Це обертання ротора в нерухомій обмотці генерує електроенергію [8]. При виборі гідрогенераторів, як і інших типів генераторів, враховуються розмір і потужність приводних турбін (як показано на малюнку 2.2).



А Електрогенератор. В Гідротурбіна

1 – Статор, 2 – ротор, 3 – направляючий апарат, 4 – лопаті турбіни, 5 – потік води, 6 – ротор турбогенератора

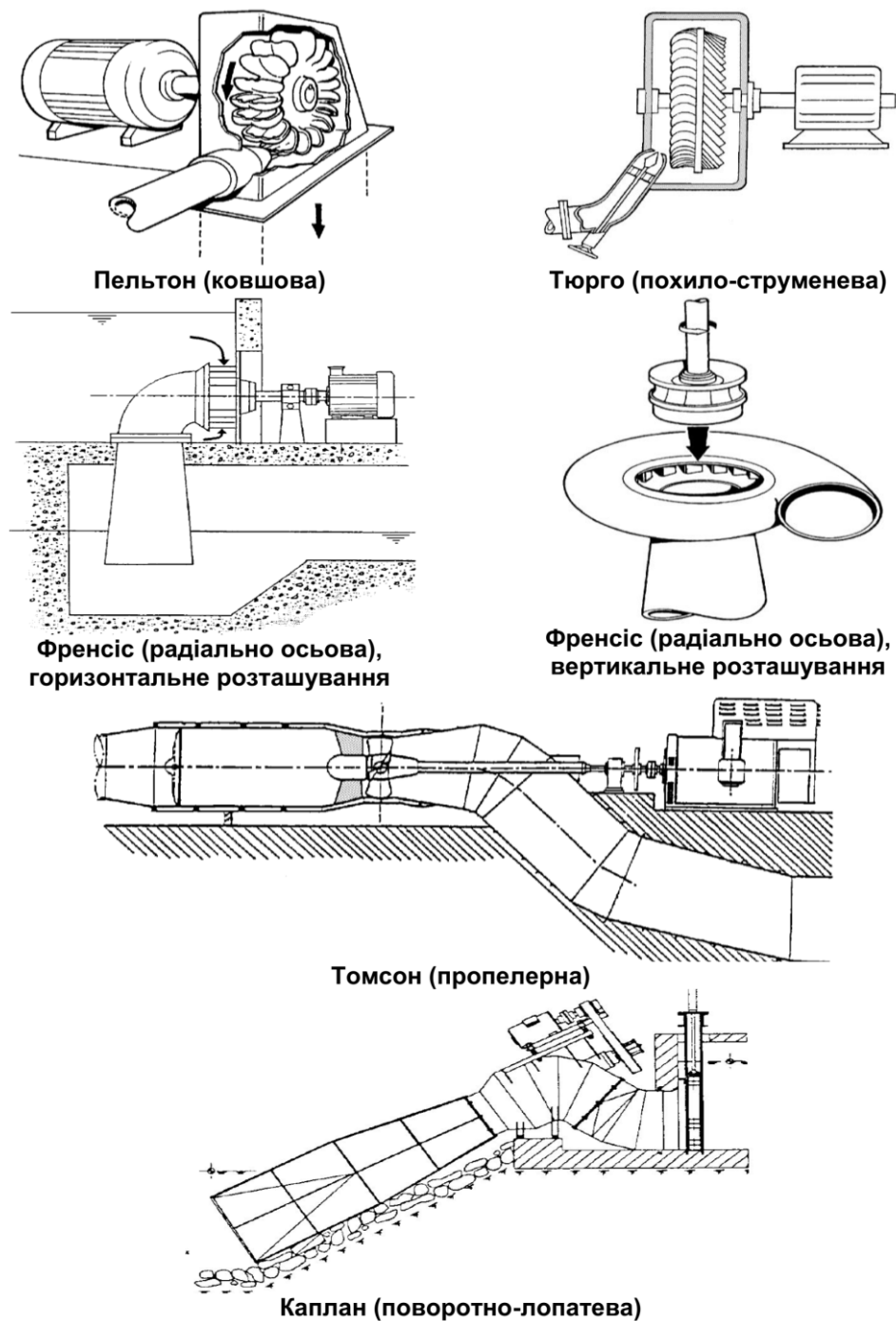
### Рис. 2.2. Гідротурбогенератор

Джерело: [8, с. 33]

Залежно від положення вала генератори можна розділити на вертикальні та горизонтальні. Для генераторів середньої та великої

потужності зазвичай використовується конструкція з вертикальним валом. Таке розташування є кращим, тому що воно часто призводить до менших розмірів машинного відділення, поліпшених умов роботи турбіни, полегшення монтажу та зменшення ваги гідравлічного агрегату [8].

На рисунку 2.3 наведено схематичні зображення різних типів гідротурбогенераторів.



**Рис. 2.3. Схематичні зображення різних типів гідротурбогенераторів**

Джерело: [8, с. 34]



Як правило, будівля електростанції будується із застосуванням залізобетону і складається з одного або двох рівнів. Її основною функцією є розміщення основного обладнання, такого як турбіни, генератори та системи керування, а також допоміжного обладнання. Конструкція будівлі електростанції може відрізнятися в залежності від її розташування. Наприклад, якщо вона розташована у заплавах, то будівля електростанції може бути розроблена як водонепроникна конструкція для захисту генератора та іншого електричного обладнання від пошкодження водою. Крім того, електроенергія, вироблена на електростанції, часто передається в електромережу через підвищувальний трансформатор. Трансформатор можна розташувати зовні будівлі, всередині або навіть на даху [10].

Трансформатор – це пристрій, призначений для передачі енергії між двома ланцюгами змінного струму, як правило, з різною напругою. Він складається з первинної обмотки, яка отримує енергію, вторинної обмотки, яка передає енергію до другого контуру, і сердечника, виготовленого з феромагнітного матеріалу. Серед багатофазних трансформаторів найчастіше використовуються трифазні. На відміну від цього, однофазний трансформатор складається з однієї первинної обмотки та однієї вторинної обмотки. Він може працювати незалежно в однофазній системі або підключатися до інших подібних трансформаторів у багатофазній системі. З іншого боку, трифазний трансформатор має три первинні та три вторинні обмотки, що робить його придатним для використання в 3-фазній системі [10].

До переваг однофазного трансформатора можна віднести його здатність витримувати високі потужні навантаження та легкість заміни в разі поломки. У багатофазних установках потрібен лише один резервний трансформатор. Що стосується переваг трифазного трансформатора, то він пропонує простіші зовнішні підключення, меншу вагу, займаний простір і вартість порівняно з підключенням трьох окремих трифазних трансформаторів. Насправді трифазний трансформатор важить від 6 до 189%

менше і займає приблизно на 50% менше місця, ніж група з трьох однофазних трансформаторів з однаковою потужністю. Крім того, якщо одна фаза трифазного трансформатора з обмоткою, з'єднаною трикутником, буде пошкоджена, він може працювати на 58% потужності шляхом короткого замикання первинної та вторинної обмоток пошкодженої фази в конфігурації відкритого трикутника [10].

Як правило, трансформатори, які використовуються на невеликих гідроелектростанціях, повинні мати відповідний рівень водонепроникності та здатність ефективно працювати в середовищах з підвищеним рівнем вологості, оскільки ці зони мають високий вміст вологи. Крім того, враховуючи, що малі гідроелектростанції часто будуються у віддалених і складних місцях, розмір трансформаторів стає вирішальним фактором, який слід враховувати [8].

В будівлі електростанції, як правило, є різні вузли та елементи, наприклад водозливна арматура та запірна арматура. Ці клапани використовуються в ситуаціях, коли необхідно вимкнути турбіну або коли об'єм потоку перевищує пропускну здатність турбіни. У випадках, коли неможливо розмістити ці елементи всередині будівлі електростанції, слід виділити окреме приміщення для гідророзподільників. Проте деякі мікро- та малі гідроелектростанції розраховані на роботу без будівлі електростанції, оскільки вони можуть витримувати будь-які погодні умови. Для таких систем, як трубопровідні конструкції з турбінами, не завжди потрібна спеціальна будівля електростанції [21].

Водопропускна труба турбіни служить каналом для течії води від водозабірної споруди або дамби до будівлі електростанції. Водоприймачі відіграють вирішальну роль у направленні води до водопроводів турбіни. Будучи невід'ємною частиною дамб і водозабірних споруд, ці приймачі повинні бути оснащені спеціальними обов'язковими елементами. Всмоктуюча труба переносить воду, яка пройшла через турбіну, у відповідний

канал. Цей канал, як правило, відкритий канал, служить з'єднанням і повертає воду до водойми. При цьому енергія води розсіюється [21].

Системи керування та регулювання відіграють вирішальну роль в управлінні турбіною, генератором і передачею електроенергії від електростанції до підстанції. Важливим аспектом цих систем керування є їх здатність використовувати телеметричні дані про навколишнє середовище для прийняття обґрунтованих рішень щодо роботи гідроелектростанції. Ці дані можуть містити інформацію про рівні стоку річки, параметри якості води та підтримання загального стану річкової системи. Враховуючи такі фактори, як рибальство, рівень забруднення, рівень води у водоймі та планування екологічних концесій, ці системи контролю сприяють ефективним заходам із захисту навколишнього середовища [15].

Ключові компоненти, які беруть участь у захисті електричних систем, включають генератор, трансформатор і підключення до мережі. Щоб забезпечити захист генератора, реалізуються різні заходи, такі як налаштування статора на виявлення перевантаження по струму, зниженої напруги, зворотного ходу та замикання на землю. У блоках з потужністю понад 2 МВт можуть бути вжиті додаткові запобіжні заходи, включаючи використання диференціальних реле, реле втрати поля та реле зворотної послідовності фаз. Захист трансформатора, з іншого боку, в основному залежить від включення реле максимального струму. Для агрегатів потужністю понад 2 МВт також застосовуються диференціальні реле. Крім того, трансформатори зазвичай оснащені реле Бухгольца для захисту від короткого замикання обмотки, низького рівня масла та загального короткого замикання. Додаткові захисні засоби включають реле температури масла, реле температури обмотки та запобіжні клапани [15].

Щоб захистити від збоїв, мережевий захист є важливим для забезпечення належного відключення від мережі. Електропостачальна компанія зазвичай встановлює мінімальну схему захисту, яка включає автоматичні вимикачі, захист від імпульсних перепадів, коливань частоти

мережі та інші відповідні стандарти. У наш час стало звичним включати менш критичні захисні функції невеликих машин в програмне забезпечення ПЛК.

## **2.2. Розрахунок параметрів вибору основного обладнання на прикладі Лугинської малої ГЕС**

Для розрахунку параметрів вибору основного обладнання на прикладі ГЕС було обрано р. Жерев, а саме Лугинську ГЕС (поблизу смт Лугини Коростенського району Житомирської області). Спочатку розглянемо гідроенергетичний потенціал річки розміщення Лугинської ГЕС (рис. 2.4)



**Рис. 2.4. Вигляд Лугинської ГЕС**

Джерело: власні дослідження

Жерев – це річка в Україні в Коростенському районі Житомирської області Ліва та найбільша притока річки Уж (басейн Прип'яті). Загальна довжина річки 95 км, площа басейну 1475 км<sup>2</sup>. Річка Жерев витікаючи з с. Білокоровичі в межах досліджуваного об'єкту (Лугинської малої ГЕС) в селищі Лугини (має в межах селища праву притоку р. Конявка) тече на південний схід де в селищі Народичі впадає в річку Уж.

Для вибору типу гідротурбіни Лугинської малої ГЕС використовуються дані безпосередньо виміряні на греблі. Потрібні показники:  $Q = 16 \text{ м}^3/\text{с}$  – розрахункова середня багаторічна витрата води, напір води  $H = 3 \text{ м}$  [13, с. 57]. За допомогою додатку Б, вибрано гідротурбіну Каплана.

В програмному забезпеченні RETScreen здійснено аналізу характеристик агрегату використавши дані про місцезнаходження об'єкту. Зазначена програма використовує дані агенції NASA по кліматичним показникам для заданого регіону [32].

Отримані результати ілюструє рис 2.5.

		Одиниця	Розміщення кліматичних даних	Місцезнаходження обладнання	Джерело
Широта			50,2	50,1	
Довгота			35,5	34,7	
Кліматична зона			5A - Прохолодна - Волога		
Підняття		м	182	100	NASA
Розрахункова температура опалення		°C	-12,3		NASA - NASA
Розрахункова температура охолодження		°C	26,5		NASA
Амплітуда коливань температури землі		°C	24,0		NASA

Місяць	Температура повітря	Відносна вологість	Опади	Денна сума сонячної радіації - на горизонтальній поверхні	Атмосферний тиск	Швидкість вітру	Температура землі	Градусо-дні опалювального сезону 18 °C	Градусо-дні з від'ємною температурою 10 °C
	°C	%	мм	кВтгод/м <sup>2</sup> /день	кПа	м/с	°C	°C-д	°C-д
Січень	-6,1	84,2%	76,98	1,14	99,8	4,4	-7,2	748	0
Лютий	-5,8	81,8%	65,76	1,93	99,8	4,4	-6,6	665	0
Березень	-0,2	76,8%	67,93	3,05	99,8	4,4	-0,4	564	0
Квітень	9,0	61,6%	44,23	3,98	99,5	4,1	9,8	271	0
Травень	15,8	49,7%	61,46	5,27	99,5	3,8	17,2	70	178
Червень	19,3	54,6%	75,06	5,32	99,2	3,5	20,7	0	280
Липень	21,8	53,7%	84,25	5,38	99,2	3,4	23,4	0	365
Серпень	21,3	48,2%	53,60	4,67	99,4	3,5	23,4	0	351
Вересень	15,3	57,7%	57,98	3,19	99,6	3,8	16,5	82	158
Жовтень	8,2	68,4%	58,92	1,98	99,9	4,2	8,3	305	0
Листопад	-0,2	80,0%	64,17	1,10	100,0	4,3	-0,5	545	0
Грудень	-5,4	82,1%	63,38	0,86	99,9	4,4	-6,2	724	0
<b>Щорічний</b>	<b>7,8</b>	<b>66,5%</b>	<b>773,73</b>	<b>3,16</b>	<b>99,6</b>	<b>4,0</b>	<b>8,3</b>	<b>3 974</b>	<b>1 332</b>
Джерело	NASA	NASA	NASA	NASA	NASA	NASA	NASA	NASA	NASA
Виміряно в					м	10	0		

Рис. 2.4. Кліматичні показники розташування Лугинської малої ГЕС.

Джерело: власні дослідження в програмі RETScreen

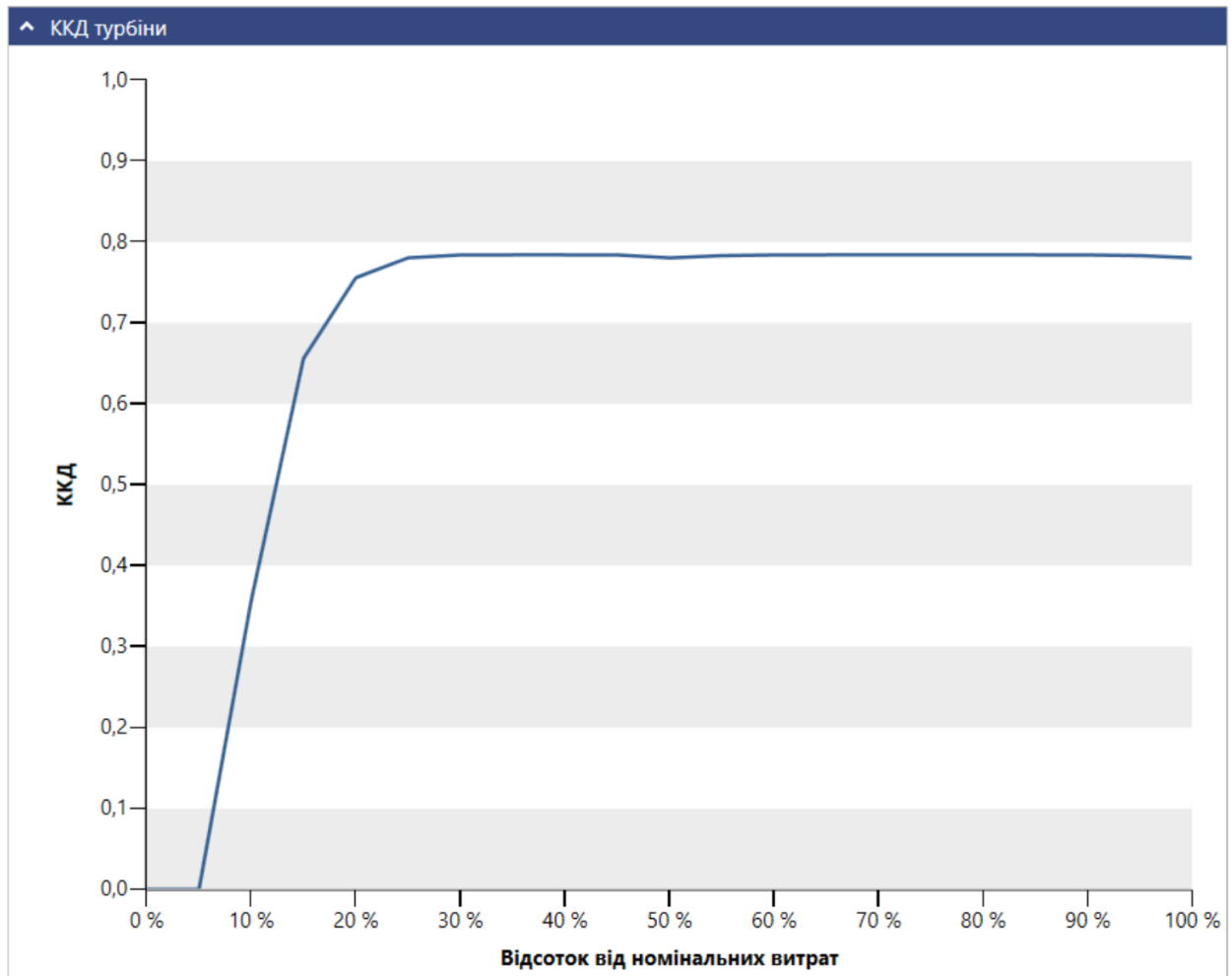
Всі попередні дані (ст. 37) вносимо до програми RETScreen (рис. 2.5).

Гідротурбіна - Рівень 2		
<b>Оцінка ресурсів</b>		
Запропонований проект		Руслова
Гідрологічний метод		Заданий користувачем
Загальний напор	м	3
Максимальний рівень води в нижньому б'єфі	м	1,4
Залишкова витрата	м <sup>3</sup> /с	0,1
% часу, коли є стійкий стік	%	95%
Стійкий потік	м <sup>3</sup> /с	
<b>Гідротурбіна</b>		
Розрахунковий потік	м <sup>3</sup> /с	16
Тип		Каплан
ККД турбіни		Стандартний
Кількість турбін		2
Виробник		Hydro Innovation
Модель		Каплан
Розрахунковий коефіцієнт		4,5
Корегування ККД	%	0%
Максимальний ККД турбіни	%	78,4%
Потік при максимальному ККД	м <sup>3</sup> /с	12
ККД турбіни при розрахунковому стоці	%	78%
<b>Втрати</b>		
Максимальні гідравлічні втрати	%	8%
Інші втрати	%	1%
ККД генератора	%	95,5%
Можливість використання	%	95%
<b>Резюме</b>		
Електрична потужність	кВт	300
		Стійкий

Рис. 2.5. Результати розрахунків програми RETScreen.

Джерело: власні дослідження в програмі RETScreen

Показники зазначені в полі «втрати», які представлені на рис. 2.5, взяті як середні показники синхронних генераторів. Також програма RETScreen розрахувала ККД турбіни відносно номінальних витрат води, а це дає можливість проаналізувати роботу турбіни (рис. 4.3).



**Рис. 2.6. ККД турбіни**

Джерело: власні дослідження в програмі RETScreen

Гідрогенератор для Лугинської ГЕС було підбрано по розрахунковим значенням його номінальної потужності за довідковими даними серійних типів, а ще було враховано синхронну частоту обертання. По каталогу НП ЗАО «Електромаш» [32] вибираємо тип генератора SSE-569-150 (150 кВт) з каталогу Schneider Electric Україна, яке поставляє генератори, трансформатори та засоби керування енергоспоживанням та автоматизації.

Параметри гідрогенератора зображені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1

### Параметри гідрогенератора SSEД-569-150

Параметр	Значення
Номінальна активна потужність $P_{\text{НОМ}}$ , кВт	150
Номінальна напруга $U_{\text{НОМ}}$ , В	400
Коефіцієнт потужності $\cos \varphi$	0,8
Номінальна частота обертання $n_{\text{НОМ}}$ , об/хв	428
ККД	95,5%

Джерело: дані каталогу Schneider Electric Україна

У результаті проектування та розрахунків малої ГЕС на Лугинській греблі (р. Жерев) встановлено, що при ефективному використанні гідротурбіни Каплана в синхронній співпраці з гідрогенератором SSEД-569-150 можемо отримувати 300 кВт чистої електроенергії.

За вимірювання електричних параметрів генераторів Лугинської ГЕС відповідатимуть цифрові мультиметри DIRIS A40 від Socomes, Франція, оснащені комунікаційними модулями. Потім ці вимірювання передаються на програмований логічний контролер (ПЛК) для подальшого аналізу. Крім того, мультиметри мають цифровий дисплей, на якому відображається вимірювана інформація. Для покращення візуального представлення використовуються стрілочні аналогові амперметри та вольтметри змінного струму для відображення значень струму та напруги генераторів, оскільки люди, як правило, краще реагують на стрілочні пристрої. Контролер використовує вимірювальні перетворювачі (ПНС-11 - Мікрол, Україна) для вимірювання струмів і напруг збуджень генераторів, перетворення їх в уніфіковані аналогові сигнали та цифрові сигнали Modbus RTU. Ці значення візуально представляють за допомогою магнітоелектричних амперметрів і вольтметрів. Вимірювання температури в різних зонах статорів і редукторів генератора здійснюється за допомогою термометрів опору Pt100 і

перетворювача Modbus MV-110 виробництва Польща.

Другий аспект, який враховано в проекті Лугинської ГЕС – це система збудження. Управління збудниками генераторів здійснюється тиристорними випрямлячами, які вмикаються через понижувальні трансформатори від шин 0,4 кВ станції. Ці випрямлячі відомі своєю високою швидкістю, і ними можна керувати безпосередньо з аналогових виходів контролера за допомогою уніфікованих сигналів постійного струму 4..20 мА, що усуває потребу в додатковому перетворенні.

Для автоматизації процесу синхронізації між генераторами та мережею для Лугинської ГЕС був обраний автосинхронізатор CircutorSynchroMAX фірми Circutor, Іспанія. Цей пристрій отримує вимірювання напруги в реальному часі як від генератора, так і від мережі, обчислює значення напруги та частоти та визначає різницю фаз між ними. Потім він генерує сигнали для регулювання частоти генератора та ініціює підключення до мережі з урахуванням часу включення. Автосинхронізатор активується контролером, який також зв'язує вимірювання напруги від мережі та генераторів, що дозволяє паралельно працювати з автосинхронізатором.

Автосинхронізатор подає сигнали як на збільшення або зниження частоти, так і на підключення генератора до мережі. Потім ці сигнали передаються на контролер, який відповідає за керування напругою та частотою генератора, а також за активацію відповідного перемикача. Для забезпечення точного налаштування напруги генератора під напругу мережі під час синхронізації використовуються два перетворювачі ПНС-12 фірми «Мікрол», Україна. Ці перетворювачі здатні перетворювати змінну напругу в уніфікований аналоговий сигнал. Один перетворювач використовується для формування заданого значення напруги мережі, а інший перетворювач формує регульоване значення напруги генератора.

Розроблена в Україні система OpenSCADA (ТОВ «Світовир», м. Львів) використовуватиметься для візуалізації виробничих процесів Лугинської ГЕС, а також збору та реєстрації вимірювальної інформації та статусів



пристроїв, що охоплює всю систему.

Завдяки впровадженню системи SCADA в Лугинській ГЕС буде покращено управління та представлення даних вимірювань, а також з'явиться можливість ведення журналів статистичної інформації як щодо звичайних операцій, так і несподіваних інцидентів. Аналіз цих даних допомагає спрогнозувати майбутню продуктивність системи та виявити основні причини аварій, що зрештою дозволяє вживати профілактичних заходів.

Для Лугинської малої ГЕС регулювання гідрогенераторів пропонуємо здійснювати в таких режимах: через контроль рівня води для підтримки стабільності та через активне регулювання енергії для забезпечення певної кількості виробленої активної енергії в кіловатах.

Завдяки використанню реактивної енергії стає можливим виробляти певну кількість реактивної енергії в кіловольт-амперах (кВАр), використовуючи. Під час автономної роботи електростанція працює автономно без необхідності синхронізації з мережею, задовольняючи виключно власні потреби в електроенергії.

Генератор має можливість функціонувати незалежно або у співпраці з іншими генераторами. Генератор дозволяє безпосередньо керувати всіма режимами роботи в безпосередній близькості завдяки місцевому ручному регулюванню. З пульта управління можна дистанційно керувати всіма режимами роботи генератора за допомогою ручного регулювання.

Доступ до автоматичного регулювання панелі керування генератором можна отримати та контролювати як з панелі HMI (LMI) в операторській, так і з системи SCADA, якою керують через комп'ютер у тій же кімнаті. WebBrowser дозволяє здійснювати автоматичне дистанційне налаштування через мережу Ethernet за допомогою WebServer.

## **Висновки до розділу 2**

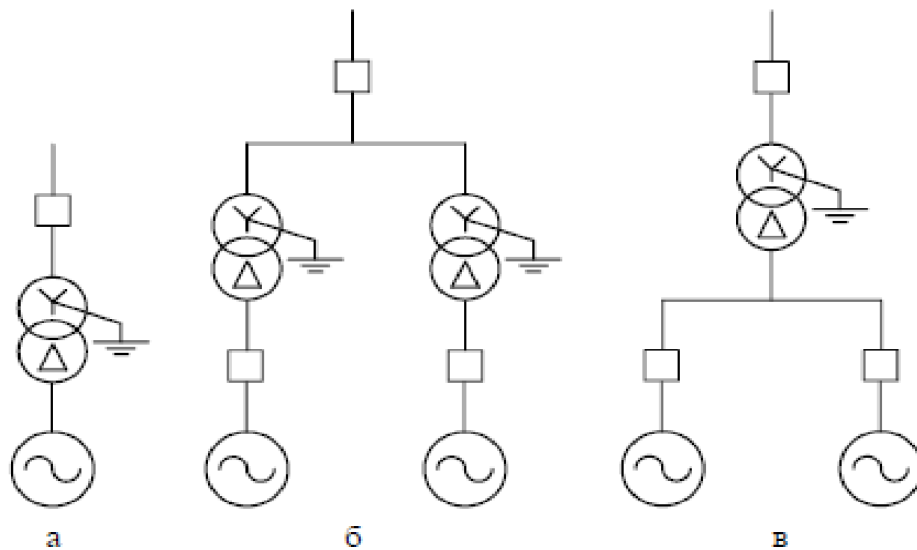
Складовими частинами малих гідроелектростанцій є приміщення електростанції, генератори, турбоагрегати, водозабірні і водовідвідні споруди, системи контролю та регулювання.

Основне обладнання Лугинської ГЕС складається синхронних генераторів потужністю 150 кВт, гідротурбіни Каплана. Напруга для вироблення електроенергії встановлюється на рівні 0,4 кВ. Для забезпечення ефективної роботи на станції впроваджено автоматику. Основним керуючим пристроєм, який використовується на станції, є програмований логічний контролер.

### РОЗДІЛ 3. ВИБІР СТРУКТУРНОЇ ЕЛЕКТРИЧНОЇ СХЕМИ ЛУГІНСЬКОЇ МАЛОЇ ГЕС

Щоб гарантувати забезпечення живлення в різних режимах роботи Лугинської малої ГЕС та відповідати критеріям надійності, гнучкості, зручності та безпеки, первинне електричне коло має відповідати певним стандартам. Враховуючи значну роль і відповідальність гідроелектростанцій у забезпеченні надійного електропостачання споживачів та надійного функціонування енергосистем, особливо під час надзвичайних ситуацій, зараз рівень вимог надійності підвищився.

Гідрогенераторні блоки, зображені на малюнку 3.1, вибираються на основі таких факторів, як надійність системи, кількість і потужність блоків, а також конкретне обладнання, для підтримки якого вони призначені.

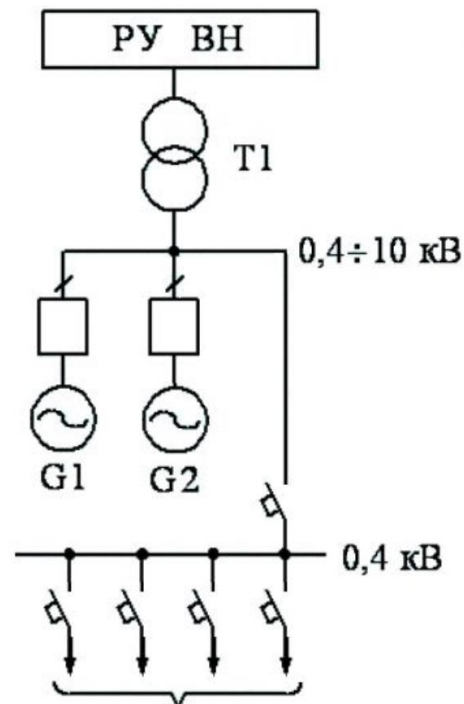


**Рис. 3.1. Види гідрогенераторних блоків**

Джерело: власні дослідження

На малюнку 3.1 показано різні категорії гідрогенераторних установок. Існує три варіанти блоків: простий блок (а), посилений блок з трансформатором на кожен гідрогенератор (б) або посилений блок з одним трансформатором на два гідрогенератори (в).

На малюнку 3.2 зображено принципову електричну схему Лугинської малої ГЕС.



Агрегатні та загальностанційні приймачі

**Рис. 3.2.** Принципова електрична схема Лугинської малої ГЕС

Джерело: власні дослідження

Для оптимізації ефективності та спрощення обслуговування Лугинської малої ГЕС доцільно вибрати посилений блок з одним трансформатором, який обслуговує два гідрогенератори, враховуючи обмежену потужність і кількість блоків.

Підвищувальний трансформатор Лугинської малої ГЕС повинен забезпечити передачу потужності генераторів в електромережу вищої напруги при цьому врахувавши витрати потужності на власні потреби гідроелектростанції.

За формулою 3.1 обчислимо повну потужність генератора:

$$S_{\text{Гном}} = \frac{P_{\text{Г}}}{\cos \varphi} = \frac{300}{0,8} = 375 \text{ кВ} \cdot \text{А}, \quad (3.1)$$

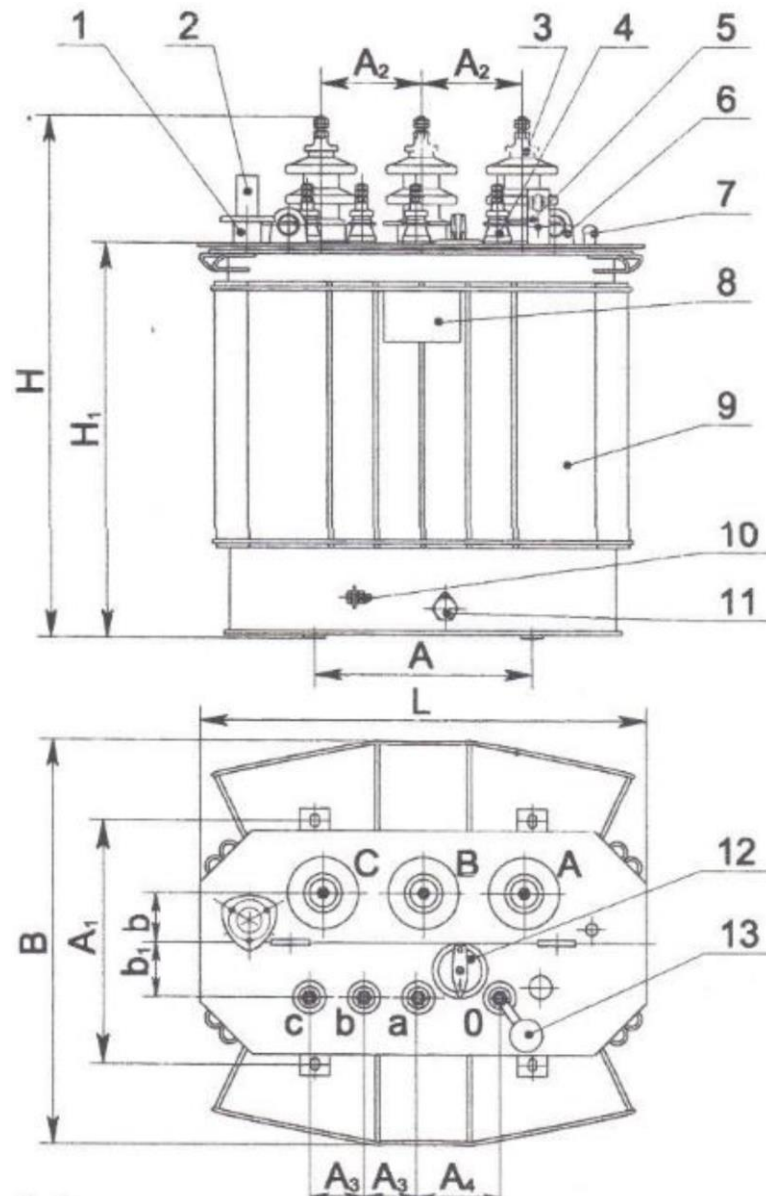
де  $S_{\text{Гном}}$  повна потужність генераторів

За формулою 3.2 обчислимо розрахункову потужність трансформатора:

$$S_{\text{розр}} = S_{\text{Гном}} - S_{\text{в.п.}} = 375 - 375 \cdot 0,04 = 360 \text{ кВ} \cdot \text{А}, \quad (3.2)$$

де  $S_{\text{в.п.}}$  потужність власних потреб гідроелектростанції, кВ·А.

Трансформатор вибираємо по каталогу ТОВ «Світовир» (м. Львів) - ТСЗ 400/10-УЗ: трансформатор призначений як для внутрішнього так і зовнішнього встановлювання. Наводимо схему трансформатора (рис. 3.3) та дані по трансформатору ТСЗ 400/10-УЗ приведені в таблиці 3.1.



1 – патрубок; 2 – запобіжний клапан; 3 – ввід ВН; 4 – ввід НН; 5 – маслоказівник; 6 – транспортний кріюк; 7 – термометр; 8 – табличка; 9 – зак; 10 – жазим заземлення; 11 - пробка; 12 - перемикач; 13 - запобіжник

**Рис. 3.3. Трансформатор ТСЗ 400/10-УЗ**

Джерело: власні дослідження

Таблиця 3.1

**Основні характеристики трансформатора ТСЗ 400/10-УЗ**

Тип трансформатора	S <sub>н</sub> , кВА	Каталожні дані					
		U <sub>ном</sub> , кВ		U <sub>к</sub> , %	ΔP <sub>к</sub> , кВт	ΔP <sub>х</sub> , кВт	I <sub>х</sub> , %
		ВН	НН				
ТСЗ - 400/10	400	10	0,4	3,5	2,8	0,9	3

Джерело: власні дослідження

Для остаточного вибору за формулою 3.3 перевіримо коефіцієнт завантаження трансформатора, який повинен бути не вище 0,9.

$$k_3 = \frac{S_{\text{розр}}}{S_T} = \frac{360}{400} = 0,9 \quad (3.3)$$

де  $S_{\text{Гном}}$  повна потужність генераторів

Отже, для проекту поновлення роботи Лугинської малої ГЕС обираємо силовий трансформатор ТСЗ 400/10-УЗ.

Трансформатор струму ТЛШ-Є10У2 був по каталогу ТОВ «Світовир» був вибраний для вимірювання величини струму та подальшої її передачі приладам захисту. Основні характеристики трансформатора представлені в таблиці 3.2

Таблиця 3.2

**Основні характеристики трансформатор струму ТЛШ-Є10У2**

Умова вибору	Розрахункові значення	Каталожні значення
$U_c \leq U_H$	10 кВ	10 кВ
$I_{\text{расч}} \leq I_{\text{ном}}$	21,8 А	1500 А
$i_y \leq I_{\text{прСКВ}}$	0,89 кА	130
$B_K \leq I_T^2 t_r$	0,037 кА <sup>2</sup> ·с	9500 кА <sup>2</sup> ·с

Джерело: власні дослідження

Основними компонентами розподільного пристрою є первинний вимикач. Первинний вимикач служить для підключення або відключення

генератора від мережі. Процедури заземлення проводяться відповідно до правил, встановлених оператором мережі. Крім того, для полегшення вимірювання в місці підключення до розподільчої мережі встановлені лічильники.

Для забезпечення захисту генераторно-трансформаторних ліній за допомогою параметричних засобів використовуються різні реле захисту. До них відносяться реле AL-5 для захисту від максимального струму, а також реле NL-6, NL-11 і EL-11 для захисту від напруги. Крім того, система генерації отримує переваги від захисту, який забезпечує ПЛК. Використовуючи дані вимірювань, ПЛК може виявляти потенційні аварії та реагувати на них, ініціюючи такі дії, як вимикання генераторів, активація направляючих пристроїв для турбін генератора та блокування тиристорних перетворювачів.

### **Висновки до розділу 3**

Щоб забезпечити надійну та безпечну роботу, первинна конструкція енергосистеми повинна бути здатна доставляти електроенергію в різних режимах, відповідаючи необхідним стандартам зручності та безпеки. Гідроелектростанції, зокрема, стикаються з підвищеним рівнем відповідальності у забезпеченні електроенергією, що призводить до ще більших вимог. Зі збільшенням переданої потужності підвищується складність і надійність системи. Для задоволення цих потреб була розроблена головна електрична схема для Лугинської малої ТЕС, яка включає один підвищувальний трансформатор для двох генераторів. Придатність такої конструкції визначається відносно невеликою потужністю гідроелектростанції.

## ВИСНОВКИ

Гідроенергетика є одним із відновлюваних джерел енергії з найвищою ефективністю перетворення, ніж інші відновлювані джерела енергії. Очікується, що реалізація проектів малої гідроенергетики відіграватиме значну роль у формуванні загальної енергетичної системи, вирішуючи різні проблеми постачання енергії у віддалені та важкодоступні сільські регіони, а також зменшить негативний вплив війни на електроенергетику. Крім того, мала гідроенергетика зможе вирішити низку економічних, екологічних та соціальних проблем, з якими стикнулася Україна сьогодні.

У різних країнах прийнято різні критерії для збереження верхньої межі встановленої потужності від 1,5 до 50 МВт. Можна побачити, що обмеження встановленої потужності проектів малих ГЕС становить лише 1,5 і 3 МВт у Швеції та Італії відповідно, і досягає 50 МВт у таких країнах, як Філіппіни, Нова Зеландія та Китай. Верхня межа потужності, в Україні така як в Італії, Бельгії, Греції, Ірландії, Португалія, Іспанія тощо. Якщо звернутися до існуючої класифікації в Україні то до малих ГЕС відносять гідроелектростанції потужністю не вище 10 МВт та не менше 1 МВт, до міні ГЕС - потужністю з не вище 1 МВт та не менше 200 кВт, до мікро ГЕС – менше 200 кВт, тобто умовно всі ГЕС з потужністю менше 10 МВт можна відносити до малих ГЕС.

Складовими частинами малих гідроелектростанцій є приміщення електростанції, генератори, турбоагрегати, водозабірні і водовідвідні споруди, системи контролю та регулювання. Основні компоненти малої гідроелектростанції можна розділити на три основні категорії, компоненти як показано нижче:

- 1) будівельні компоненти: їх можна визначити як компоненти, які знаходяться в прямому контакті з водою і не мають рухомих частин, наприклад дамба, будівля електростанції та хвостовий канал. Електростанція повинна бути сконструйована таким чином, щоб передбачити простір для



складання агрегату, кімнату управління, де зберігаються всі креслення та інструкції з обслуговування, кімнату для персоналу, туалет і місце для стенду з інструментами та обладнанням машинного цеху.

2) механічні компоненти: їх можна визначити як компоненти, які знаходяться в прямому контакті з водою та мають рухомі частини, такі як турбіна, затвори та клапани. Гідротурбіна є найважливішим компонентом гідроелектростанції, яка перетворює потенційну енергію води в механічну енергію, а потім приводить в дію генератор для виробництва електроенергії.

3) електричні компоненти: їх можна визначити як компоненти, які не контактують з водою та мають рухомі частини, такі як генератори, трансформатори та автоматичні вимикачі. Термін електромеханічне обладнання стосується компонентів, пристроїв і машин, які використовуються на малих гідроелектростанціях: електричні генератори – для перетворення механічної енергії в електричну енергію, трансформатори – для перетворення напруги електричної енергії в електричну мережу тощо.

Основне обладнання Лугинської ГЕС складається синхронних генераторів потужністю 150 кВт, гідротурбіни Каплана. Напруга для вироблення електроенергії встановлюється на рівні 0,4 кВ. Для забезпечення ефективної роботи на станції впроваджено автоматику. Основним керуючим пристроєм, який використовується на станції, є програмований логічний контролер.

Щоб забезпечити надійну та безпечну роботу, первинна конструкція енергосистеми повинна бути здатна доставляти електроенергію в різних режимах, відповідаючи необхідним стандартам зручності та безпеки. Гідроелектростанції, зокрема, стикаються з підвищеним рівнем відповідальності у забезпеченні електроенергією, що призводить до ще більших вимог. Зі збільшенням переданої потужності підвищується складність і надійність системи. Для задоволення цих потреб була розроблена головна електрична схема для Лугинської малої ТЕС, яка включає один підвищувальний трансформатор для двох генераторів.

Придатність такої конструкції визначається відносно невеликою потужністю гідроелектростанції.

За вимірювання електричних параметрів генераторів Лугинської ГЕС відповідатимуть цифрові мультиметри DIRIS A40 від Socomes, Франція, оснащені комунікаційними модулями. Потім ці вимірювання передаються на програмований логічний контролер (ПЛК) для подальшого аналізу. Крім того, мультиметри мають цифровий дисплей, на якому відображається вимірювана інформація. Для автоматизації процесу синхронізації між генераторами та мережею для Лугинської ГЕС був обраний автосинхронізатор CircutorSynchroMAX фірми Circutor, Іспанія. Цей пристрій отримує вимірювання напруги в реальному часі як від генератора, так і від мережі, обчислює значення напруги та частоти та визначає різницю фаз між ними. Потім він генерує сигнали для регулювання частоти генератора та ініціює підключення до мережі з урахуванням часу включення. Завдяки впровадженню системи SCADA в Лугинській ГЕС буде покращено управління та представлення даних вимірювань, а також з'явиться можливість ведення журналів статистичної інформації як щодо звичайних операцій, так і несподіваних інцидентів. Аналіз цих даних допомагає спрогнозувати майбутню продуктивність системи та виявити основні причини аварій, що зрештою дозволяє вживати профілактичних заходів.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Акімов А., Карамушка О., Ландау Ю. Мала гідроенергетика на захисті України. URL: <https://zn.ua/ukr/energetics/velikij-potentsial-maloji-vodi.html> (дата звернення 12.04.2024).
2. Боярчук В., Бабич М., Шолудько В., Кригуль Р. Дослідження функціональних та вартісних показників малих гідроелектростанцій. Вісник Львівського національного аграрного університету. *Агроінженерні дослідження*. 2013. № 17. С. 281-285.
3. Бумарсков С. А. Про досвід проектування гідротурбін для низьконапірних і високонапірних малих ГЕС. *Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. Сер.: Технічні науки*. 2013. Вип. 2. С. 309-313.
4. Васько П.Ф, Мороз А.В., Ібрагімова М.Р. Мала гідроенергетика в структурі електроенергетичної галузі України. *Відновлювана енергетика*. 2015. № 3. С. 53-61.
5. Ващишак І. Р. Проектування гравітаційно-коловоротних ГЕС для малих річок Прикарпаття. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2021. Т. 31, № 2. С. 93-97.
6. Відновлювана енергетика та енергоефективність у XXI столітті: Матеріали XXIV міжнародної науково-практичної конференції (Київ, 18–19 травня 2023 р.). К.: Інститут відновлюваної енергетики НАН України. 2023. 516 с. URL: <https://doi.org/10.36296/renewable.conf.18-19.05.2023> (дата звернення 14.04.2024).
7. Вовчак В., Тесленко О., Самченко О. Мала гідроенергетика України Т. II. Технологічні особливості малих ГЕС. Інститут проблем екології та енергозбереження. К., 2018. 145 с. URL: <https://energyukraine.org/wp-content/uploads/2018/05/Otchet-MGES2.pdf> (дата звернення 14.04.2024).

8. Вовчак В., Тесленко О., Самченко О. Мала гідроенергетика України. Т. I. Аналітичний огляд. Інститут проблем екології та енергозбереження. К., 2018. 181 с. URL: <https://energyukraine.org/wp-content/uploads/2018/05/Otchet-MGES1.pdf/2018/05/Otchet-MGES2.pdf> (дата звернення 19.04.2024).

9. Водний кодекс України від 6 червня 1995 року № 213/95-ВР в останній редакції від 19 квітня 2024 року. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/213/95-%D0%B2%D1%80#Text> (дата звернення 18.04.2024).

10. Возна Н. Я., Пітух І. Р. Теоретичні засади та метод моніторингу станів технологічного обладнання малих гідроелектричних станцій на основі образно-кластерної моделі. *Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки*. 2019. № 3. С. 197-203.

11. Дегтяренко О. Г., Шашков С. В. Еколого-економічна доцільність реалізації проектів будівництва та відновлення об'єктів малої гідроенергетики. *Міжнародна та національна економічна безпека*. 2015. № 1(4). С. 112-117.

12. Дівнич Н. Малі ГЕС. Енергетична незалежність чи екологічна катастрофа? URL: <https://zbruc.eu/node/1912> (дата звернення 15.04.2024).

13. Дубровська В. В., Шкляр В. І., Пелєвін А. С. Обґрунтування доцільності встановлення малих ГЕС на річці Гнилоп'ять басейну Дніпра. *Відновлювана енергетика*. 2018. № 3. С. 54-66.

14. Закорчевна Н.Б., Нагорнева Н.А. Сучасний стан малої гідроенергетики в Україні. *Екологічні науки*. 2021. № 3. С. 86-95.

15. Ібрагімова М. Р. Визначення проектних параметрів малої ГЕС за регулювання потужності по водотоку. *Відновлювана енергетика*. 2016. № 1. С. 55-60.

16. Ібрагімова М. Р. Енергетичний аспект регулювання потужності малої ГЕС по водотоку річки за різних гідрологічних параметрів стоку. *Відновлювана енергетика*. 2016. № 2. С. 50-56.

17.Крока Т., Рибалко А., Рибалко О. Організація STEM-дослідження на прикладі теоретичного пошуку економіко-технічних характеристик малої гідроелектростанції. *Нова педагогічна думка*. 2022. № 3. С. 31-41.

18.Кульматицький С. О., Кульматицька А. С. Використання малих ГЕС для покращення електропостачання підприємств. *Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки*. 2018. № 3. С. 64-68.

19.Кухарець М.М., Ступак А.А. Малі гідроелектростанції: основні компоненти: матеріали науково-практичної конференції науково-педагогічних працівників, докторантів, аспірантів та молодих вчених факультету інженерії та енергетики «Студентські читання–2023». 25 жовтня 2023 р. Житомир: Поліський національний університет, 2023. С. 258-259.

20.Мусінкевич В. В., Тептя. В. В. Аналіз розвитку малих гідроелектростанцій в Україні та їх участь у покритті графіка навантаження електромережі URL: <https://ir.lib.vntu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/26848/7153.pdf?sequence=3&isAllowed=y> (дата звернення 15.04.2024).

21.Пилипович О. В., Іванов Є. А., Микітчак Т. І., Штупун В. П. Будівництво та експлуатація об'єктів малої гідроенергетики в Українських Карпатах: нові виклики для довкілля. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*. 2020. Вип. 33. С. 22-33.

22.Пізнак В., Халіков В. Перспективи розвитку малої гідроенергетики в Україні. *Логос*. 2020. URL:<https://ojs.ukrlogos.in.ua/index.php/2663-4139/article/view/7246> (дата звернення 15.04.2024).

23.Про альтернативні види палива: Закон України від 14 січня 2000 року №1391-XIV в останній редакції від 27 липня 2023 року. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1391-14#Text> (дата звернення 24.04.2024).

24.Про альтернативні джерела енергії: Закон України від 20 лютого 2003 року №555-555-IV в останній редакції від 01 січня 2024 року. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/555-15#Text> (дата звернення 24.04.2024).

25. Про схвалення Енергетичної стратегії України на період до 2050 року: розпорядження КМУ від 21 квітня 2023 р. № 373-р URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/373-2023-%D1%80#n6> (дата звернення 15.04.2024).

26. Стаднік М. І., Васильківський В. А. Аналіз надійності роботи агрегатів малої ГЕС та розробка рекомендацій до її підвищення. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2018. № 2. С. 73-80.

27. Ступак А.А. Визначення малої гідроенергетики: збірник тез доповідей науково-практичної конференції за підсумками I-го туру Всеукраїнського конкурсу студентських наукових робіт з галузевих спеціальностей «Студентські наукові читання» 20 березня 2024 р. Житомир: Поліський національний університет, 2024. С. 159-161.

28. Суходоля О. М., Сидоренко А. А., Бегун С. В., Білуха А. А. Сучасний стан, проблеми та перспективи розвитку гідроенергетики України. Національний інститут стратегічних досліджень. Серія: «Національна безпека». 2014. Вип. 8. ДП «НВЦ «Пріоритети», 112 с.

29. Чумаченко О. Г. Економічні перспективи малої гідроенергетики як складової ВДЕ України. *Наукові праці Міжрегіональної академії управління персоналом. Економічні науки*. 2022. Вип. 3. С. 97-101.

30. Яцик А. В. Еколого-гідрологічне обґрунтування розвитку та реконструкції малих ГЕС в Україні (на прикладі р. Південний Буг). *Гідроенергетика України*. 2012. № 2. С. 30-39.

31. Sunil Kumar Singal, Varun Goel, Himanshu Nautiyal, Dimitrios E. Papantonis Small Hydropower (2023). Design and Analysis. Classification of small hydropower schemes (Проектування та аналіз малих ГЕС: класифікація схем малих ГЕС), pp 15-23. URL: <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-91757-5.00004-X>

32. RETScreen Software Online User Manual. URL: [https://unfccc.int/resource/cd\\_roms/na1/mitigation/Module\\_5/Module\\_5\\_1/b\\_tools/RETScreen/Manuals/Ground\\_Source\\_Heat\\_Pumps.pdf](https://unfccc.int/resource/cd_roms/na1/mitigation/Module_5/Module_5_1/b_tools/RETScreen/Manuals/Ground_Source_Heat_Pumps.pdf) (дата звернення 24.04.2024).




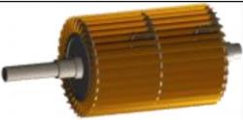
## **ДОДАТКИ**

### Класифікація ГЕС

Особливість ГЕС	Тип ГЕС	Характеристика ГЕС	Застосування ГЕС
Спосіб створення напору	Руслові ГЕС	Напір води створюється за рахунок побудованої греблі, яка повністю перегороджує річку	Рівнинні та великі гірські ріки
	Пригреблеві ГЕС	Високонапірні станції	Великі рівнинні ріки
	Дериваційні ГЕС	Напір води створюється за рахунок напірної чи безнапірної деривації (відведення води від русла річки по каналу або системі водоводів)	Гірські річки
Величина напору	Низьконапірні до 20 м	Низьконапірний русловий гідровузол передбачає створення ГЕС з напором води в кілька метрів, водосховище ЯКОЇ зазвичай обмежується зоною природного затоплення заплави при сильних паводках.	Невеликі за водністю рівнинні та невеликі гірські ріки
	Середньонапірні від 20 до 70 м;	Середня величина напору води створюється за рахунок греблі.	Великі рівнинні та невеликі гірські ріки
	Високонапірні від 70 до 200 м і вище;	Високий напір створюється завдяки природному перепаду або завдяки будівництву греблі чи каналу.	Великі гірські ріки (водойми)
Встановлена потужність	Потужні ГЕС від 25 МВт і більше	Потужні гідроелектростанції мають, як правило, дуже великі розміри, і виробляють більше 25 МВт (50 МВт) потужності. Створення напору здійснюється за рахунок будівництва великих гребель.	Великі гірські ріки
	Середні ГЕС до 25 МВт	Середні по потужності ГЕС виробляють від 10 до 25 МВт (50 МВт) енергії.	Великі рівнинні та невеликі гірські ріки
	Малі ГЕС до 10 МВт	Малі ГЕС розрізняють за потужністю. Згідно з сучасною міжнародною класифікацією за нормативом ООН, до МГЕС відносять гідроелектростанції потужністю від 1 до 10 МВт (30 МВт*), до міні-ГЕС — від 100 до 1000 кВт, до мікроГЕС — не більше 100 кВт.	Невеликі рівнинні ріки з малим уклоном та малі гірські ріки



## Основні типи турбін для малих ГЕС

№ п/п	Тип гідротурбіни	Зовнішній вигляд	Основні показники	Характеристика
1	Томсон (пропелерна)		Напір: 6 ... 150 м Вихідна потужність: 15 кВт ... 4 МВт Виконання турбіни горизонтальне	Турбіна має найвищу швидкохідність серед всіх типів турбін. Це дозволяє при малих швидкостях потоку отримувати більш високу швидкість обертання. Високі обороти турбіни в свою чергу дозволяють застосовувати більш швидкохідні, а значить, більш легкі і дешеві електрогенератори або зменшувати витрати на передавальні пристрої (редуктори або ремінні системи передач). Турбіни застосовують при найнижчих напорах, коли швидкості потоку невеликі.
2	Каплан (поворотно-лопатева)		Напір: 7 ... 40 м Вихідна потужність: 600 кВт ... 2 МВт Виконання турбіни вертикальне	Лопаті в турбіні можуть виготовлятися, як фіксованими, так і поворотними. У першому випадку лопаті нерухомо закріплені під обраним кутом, відповідним робочим тискам і оптимальним навантаженням генератора. Поворотні лопаті виправдано застосовувати у великих турбінах при значних коливаннях напору і роботі генератора в умовах зі змінним навантаженням. За допомогою поворотних лопатей можна підтримувати незмінну частоту обертання робочого колеса і частоту вироблення напруги в генераторах.
3	Френсіс (радіально-осьова)		Напір: 30 ... 200 м Вихідна потужність: 250 кВт ... 2.5 МВт Виготовляються в вертикальному і горизонтальному виконаннях	Вода на робоче колесо радіально-осьової турбіни надходить із зовнішнього боку колеса і рухається по радіусу до центру турбіни. Пройшовши між лопатями складної просторової зігнутої форми, вода віддає енергію ротору, примушуючи його обертатися.
4	Пельтон (ковшова)		Напір: 40 ... 700 м Вихідна потужність: 30 кВт ... 4 МВт Виготовляються в вертикальному і горизонтальному виконаннях	Цей тип турбін застосовують при великих напорах. Напірний трубопровід заходить до будівлі гідроелектростанції і закінчується соплом, що направляють струмінь на робоче колесо турбіни. Струмінь води, що вилітає з сопла, прокочується по увігнутій поверхні ковша і змінює напрямок свого руху на протилежне.
5	Тюрго (похило-струменева)		Напір: 35 ... 130 м Вихідна потужність: 30 кВт ... 2 МВт Виготовляються в вертикальному і горизонтальному виконаннях	Це активна турбіна, відома як турбіна Банкі-Мічелла (Banki-Michell), застосовується в більш широкому діапазоні напорів, ніж у турбін Каплана, Френсіса і Пельтона. Вода в турбіну підводиться до робочого колеса голчастим соплом. Робоче колесо має велике число лопатей, що змінюють напрямок руху струменів, що на них натікають, і викидаються з сопла під кутом до осі обертання колеса.
6	Банкі (дворазова)		Напір: 6 ... 15 м Вихідна потужність: 1 кВт ... 15 кВт Виконання турбіни горизонтальне	Активна турбіна поперечно-струменевої течії. Особливість: подвійне перетворення енергії, яке відбувається під час «попадання» води на лопаті на вході і виході з полого ротора. Використання двох робочих фаз не забезпечує ніякої переваги за винятком того, що це дуже ефективний і простий спосіб відведення води з ротора.