

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ім. ПОТЕБНІ Ю.М.

Електротехніки та енергоефективності  
(повна назва кафедри)

**Кваліфікаційна робота**  
перший (бакалаврський) рівень  
(рівень вищої освіти)

на тему «Підвищення ефективності систем власних потреб  
гідроелектростанцій»

Виконав: студент 4 курсу, групи ЕТ-18-16д  
спеціальності 141 Електроенергетика,  
електротехніка та електромеханіка  
(код і назва спеціальності)

спеціалізації \_\_\_\_\_  
(код і назва спеціалізації)

освітньої програми Електроенергетика,  
електротехніка та електромеханіка  
(назва освітньої програми)

Постнов О.В.  
(ініціали та прізвище)

Керівник к.т.н., доц. Єрофеева А.А.  
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Рецензент д.т.н., проф. Коваленко В.Л.  
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Запоріжжя  
2022

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Інженерний навчально-науковий інститут ім. Потебні Ю.М.  
Кафедра електротехніки та енергоефективності  
Рівень вищої освіти перший  
(бакалаврський) рівень  
Спеціальність 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка  
(код та назва)  
Спеціалізація \_\_\_\_\_  
(код та назва)  
Освітня програма Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

**ЗАТВЕРДЖУЮ**  
Завідувач кафедри  
д.т.н., проф. В.Л. Коваленко  
«13» \_\_\_\_\_ 2022 року

**ЗАВДАННЯ  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ**

Постнову Олегу Валерійовичу  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи «Підвищення ефективності систем власних потреб гідроелектростацій»

керівник роботи Єрофєєва Аліна Анатоліївна, к.т.н., доцент  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ЗНУ від «17» січня 2022 року № 90 - с

2 Строк подання студентом роботи 17 червня 2022 р.

3 Вихідні дані до роботи: тариф на електроенергію для підприємства 3,22 грн/кВт·год; споживання ВП - 1750 кВт; зменшення потужності сонячних панелей 0,64% за рік.

4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1) Аналіз впровадження енергозберігаючих заходів на підприємстві 2) Вибір обладнання для проекту 3) Техніко-економічне обґрунтування впровадження заходів з підвищення енергоефективності систем власних потреб.

5 Перелік графічного матеріалу 1) Типи споживачів ВП 2) Коефіцієнти попиту 3) Схема живлення системи ВП 4) Типи генераторів 5) Типи АКБ 6) Технічні характеристики генератора 7) Технічні характеристики сонячної панелі 8) Технічні характеристик інвертора 9) Технічні характеристики АКБ 10) Техніко-економічні показники підвищення ефективності систем власних потреб ГЕС.

## 6 Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання виправ	завдання прийняв
Розділ 1	Єрофеева А.А., к.т.н. доцент		
Розділ 2	Єрофеева А.А., к.т.н. доцент		
Розділ 3	Єрофеева А.А., к.т.н. доцент		

7 Дата видачі завдання 01.02.2022 р.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз впровадження енергозберігаючих заходів	21.04.2022 – 24.05.2022	
2	Розрахунок заходів з підвищення ефективності систем власних потреб	24.05.2022 – 07.06.2022	
3	Техніко-економічне обґрунтування впровадження заходів з підвищення енергоефективності систем власних потреб	07.06.2022 – 17.06.2022 –	

Студент

(підпис)

О.В. Постнов

(ініціали та прізвище)

Керівник роботи

(підпис)

А.А. Єрофеева

(ініціали та прізвище)

**Нормоконтроль пройдено**

Нормоконтролер

(підпис)

С.В. Башлій

(ініціали та прізвище)

Постнов О.В.  
Доктор технічних наук  
Кваліфікаційний  
експерт за спеціальністю  
«Електроенергетика,  
електромеханіка,  
електроніка»  
Інститут ім. Ю.М.  
2022  
Пояснювальні  
записки  
Анотація  
потреб (ВП)  
розрахунки  
розр.  
потреб. Р  
всех

## РЕФЕРАТ

Постнов О.В. «Підвищення ефективності систем власних потреб гідроелектростанцій».

Кваліфікаційна випускна робота для здобуття ступеня вищої освіти бакалавра за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка, науковий керівник к.т.н., доцент Єрофєєва А.А., Запорізький національний університет, Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні, кафедра електротехніки та енергоефективності, 2022.

Пояснювальна записка містить 75 сторінок, 11 рисунків, 7 таблиць, 28 джерел посилань.

Анотація. Проведено аналіз енергетичного стану систем власних потреб (ВП), проведені розрахунки встановленого обладнання, економічні розрахунки впроваджених заходів.

Розраховано проект нового джерела живлення для систем власних потреб. Було обрано необхідне обладнання для проекту. Зроблені розрахунки необхідних капітальних вкладень. Розрахований термін окупності.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ГЕС ТА СИСТЕМИ ВЛАСНИХ ПОТРЕБ	8
1.1 Загальні відомості про ГЕС .....	8
1.2 Класифікації ГЕС .....	10
1.3 Система власних потреб .....	12
1.4 Трансформатори власних потреб .....	16
1.5 Власні потреби ГЕС .....	20
1.6 Генератори з ДВЗ для ВП .....	26
1.7 Використання сонячної енергії для ВП.....	33
1.8 Типи АКБ.....	35
2. ОЦІНКА ВИБРАНОГО ОБЛАДНАННЯ І АНАЛІЗ СПОЖИВАННЯ СИСТЕМ ВП .....	39
2.1 Витрата електроенергії на ВП електростанцій.....	39
2.2 Вибір генератора.....	40
2.3 Побудова СЕС .....	42
2.4 Вибір інвертора .....	46
2.5 Вибір АКБ.....	48
2.6 Побудова блоку АКБ.....	50
3. ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ЗАХОДІВ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМ ВП .....	53
3.1 Установка сонячних панелей без блоку АКБ .....	53
3.2 Сонячні панелі з блоком АКБ.....	55
ВИСНОВКИ.....	58
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ.....	59
ДОДАТКИ .....	62

## ВСТУП

Електричні станції, які є основою однієї з найважливіших галузей народного господарства країни - електроенергетики та енергетики в цілому, - це особливо важливі об'єкти, що забезпечують розвиток промислової та економічної сфер держави, соціальний розвиток, покращення умов життя людей. В даний час розвиток електроенергетики відбувається у напрямку укрупнення генеруючих потужностей, збільшення економічності та надійності обладнання, що досягається впровадженням мікропроцесорної техніки та обладнання сучасного рівня, повною механізацією процесу виробництва електричної та теплової енергії на електростанціях. Технологічний цикл виробництва електроенергії на сучасних електростанціях повністю механізовано. Є численні механізми потреб як основного енергетичного, і допоміжних цехів станцій.

Електростанції є також об'єктами особливої небезпеки життя багатьох людей, а безпека їх функціонування насамперед визначається ступенем надійності системи власних потреб. Тому якісна розробка електропостачання систем потреб електростанцій - одне з найбільш відповідальних і найважливіших завдань. Нормальна робота обладнання власних потреб, отже, і самої електростанції, забезпечується за умови надійної системи електропостачання власних потреб. Використання електроенергії передбачає її транспортування, трансформацію та розподіл. Останні «процедури» здійснюються на трансформаторних чи розподільних підстанціях (ТРП, РП).

Технологічний цикл виробництва електроенергії на сучасних електростанціях повністю механізовано. Є численні механізми потреб як основного енергетичного устаткування. На гідроелектростанціях електрична енергія витрачається на управління гідро- та електротехнічним обладнанням, охолодження генераторів та трансформаторів, обігрів гідротехнічного обладнання у зимовий час, вентиляцію, освітлення. Гідроенергетика є керованим (або диспетчеризованим) поновлюваним джерелом енергії.

Частково це пояснюється для контролю над джерелом за допомогою його можливостей зберігання та більшої передбачуваності його генерація порівняно з вітряною та сонячною енергією. Однак гідроенергетика мінлива протягом більш тривалого часу, оскільки це залежить від опадів і стоку води.

Власні потреби важливий елемент підстанцій. Пошкодження в системі власних потреб можуть призвести до порушення роботи основного обладнання та виникнення аварій. Підстанції можуть проектуватися з постійним черговим персоналом, з виїзним персоналом та автоматизовані підстанції без персоналу. Схеми власних потреб (ВП) гідроелектростанцій мають суттєві відмінності від схем ВП теплових електростанцій, незважаючи на те, що джерела енергії для систем ВП залишаються незмінними: генератори та енергосистема.

# 1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ГЕС ТА СИСТЕМИ ВЛАСНИХ ПОТРЕБ

## 1.1 Загальні відомості про ГЕС

Гідроенергетика заснована на дуже простій фізичній концепції. Гідроелектростанції перетворюють потенціальну або гравітаційну енергію води спочатку в механічну, а потім в електричну енергію: потік води обертає турбіну, яка підключена до генератора. Електрика генерується потім надходить на підстанцію, де напруга збільшується, а потім розподіляється до кінцевого споживача або подається [1] в електромережу. Гідроенергетика є відновлюваною енергією в її основі на кругообіг води, який є нескінченною системою. Гідроенергетика – це технологія, яка залежить від конкретного об'єкта, і її необхідно адаптувати до конкретних особливостей місцевої гідрологія, рельєф і геологія. Однак при цьому дизайн змінюється відповідно до місцевих умов. Ворота - це бар'єри, що дозволяють регулювати вихід води. Вони можуть мати різні форми, такі як стаціонарні колісні ворота, розсувні ворота, радіальні ворота та гусеничні ворота, і вони використовуються для водозабору, донного виходу або відведення річки працює. Водозливні ворота також використовуються для контролю скидання паводків у водоймищах

Сьогодні сучасні гідроелектростанції – це величезні споруди на гігавати встановленої потужності. Проте принцип роботи будь-якої ГЕС залишається загалом досить простим, і скрізь майже цілком однаковим. Напір води, спрямований на лопаті гідротурбіни, приводить її у обертання, а гідротурбіну у свою чергу, будучи з'єднаною з генератором, обертає генератор. Генератор виробляє електроенергію, яка подається на трансформаторну станцію, а потім і на ЛЕП.

Потужність гідроелектростанції залежить від кількості та від напору води, що проходить через турбіни. Безпосередньо напір утворюється завдяки



спрямованому руху потоку води. Це може бути вода накопичена у греблі, коли в певному місці на річці будується гребель, або ж натиск виходить завдяки деривації потоку, - це коли вода відводиться від русла спеціальним тунелем або каналом. Так, гідроелектростанції бувають гребельними, дериваційними та гребельно-дериваційними.

Процес виробництва електроенергії на гідроелектростанціях можна поділити на кілька етапів:

1. Для отримання достатньої потужності руху води гідроелектростанції зводять поблизу великих річок або штучних споруд, таких як платини. Перебіг річок може створювати необхідний тиск для електроенергії, проте потужніші гідроелектростанції вимагають будівництва гребель на озерах чи створюваних людиною резервуарах. Для виробництва електроенергії також може використовуватися енергія падаючої води від водоспадів, проте їх розміщення не дозволяє енергетика ефективно розміщувати необхідне обладнання для генерації. Оператори гідроелектростанцій у разі контролюють скидання води, отже, і виробництво електроенергії за обсягом воду, що проходить через греблю.

2. Енергія падаючої води, яка має потенційний характер, перетворюється на механічну енергію за рахунок взаємодії з лопатями турбін. При цьому вода з верхнього б'єфу греблі потрапляє до гідроагрегату, який робить всю роботу. Кількість механічної енергії, яка дозволяє перетворювати турбіна, визначається напором води або перепадом висот греблі. Пристрій міні ГЕС на тросах

3. Обертання турбіни призводить до вироблення електроенергії генератором, з'єднаним безпосередньо з турбіною. Пропущена через гідроагрегат вода надходить у нижній б'єф гідроелектростанції.

4. Отриману від електричного генератора електроенергію перетворюють за допомогою трансформаторів та передають у мережу. Протяжність мережі від гідроелектростанції може становити десятки та сотні

кілометрів, оскільки великі греблі вимагають величезного обсягу води, що не завжди є безпечним. Великі ГЕС передають електроенергію з відривом з напругою (500...750) кВ.

Розташування ГЕС зазвичай вибирається за умов найвигіднішого використання водотоку далеко від центрів споживання електричної енергії, і тому, як правило, станція не має власного району навантаження, а вся потужність, що виробляється нею, видається в систему. При правильно спроектованій ГЕС практично ніколи не виникає питання про збільшення її встановленої потужності та пов'язану з ним зміну головної схеми електричних з'єднань. Ці дві особливості, а також вимога максимального спрощення головної схеми призвели до застосування на ГЕС найпростіших і найнадійніших блокових схем. Якщо в безпосередній близькості від ГЕС все-таки є великі споживачі електричної енергії, то наявність шин генераторної напруги для їх електропостачання може бути виправдано (і то не завжди) тільки станцій потужністю до 50 МВт. На станціях більшої потужності завжди і технічно і економічно доцільніше здійснювати живлення таких споживачів з глибоких введень підвищеної напруги, а не від важких РУ генераторної напруги.

Трансформатори власних потреб або ТВП призначені для живлення навантаження підстанцій та забезпечення своїх потреб. ТВП забезпечує роботу електроустановки та функціональність підключених споживачів навантаження. Кількісний склад і тип навантаження потреб електроустановки залежить від виду, потужності силових трансформаторів, передбачені чи ні синхронні компенсатори і зажадав від класу підключеного електрообладнання.

## 1.2 Класифікації ГЕС

Кількість енергії, яку може виробляти гідроелектростанція, пропорційна продукту гідравлічної головки та швидкості потоку. Гідравлічна

головка - це різниця рівнів води між точкою впуску і нагнітання установки. Потік води (або скидання) є об'єм води, виражений у кубічних метрах в секунду, що проходить через точку в заданій точці кількість часу. Чим більше гідравлічний напір і швидкість потоку води, тим більше потенційна енергія, яка може бути перетворена в електрику. Гідроелектростанції з невеликими потоками вимагають високого напору, тоді як рослини з низьким напором вимагають високих потоків, щоб генерувати те ж саме кількість електричної енергії. Через більш високий тиск води, вищі напори також дозволяють а більша швидкість потоку через меншу турбіну, що зменшує вартість обладнання. Були розроблені різні типи турбін, наприклад Пелтон, Френсіс і Каплан найбільш часто використовувані, щоб мати найвищий ККД в потужності генерація для різних діапазонів напору та потоку. Гідроелектростанції часто класифікують за принципом роботи і типом потоку. Відповідно можна виділити два основних типи ГЕС:

Установки, обладнані резервуаром, які можна далі розділити на:

- акумулюючі електростанції;
- ГЕС;
- проточні електростанції, які мають короткий час перебування.

Крім того, важливо також враховувати:

- морські та припливні електростанції на основі вбудованих технологій;
- гібридні електростанції.

Гідроелектростанції також можна класифікувати за розміром, який постійно змінюється і охоплює від кількох кіловат до кількох гігават. Ця класифікація призвела до розрізняють «міні гідроелектростанції», «малі гідроагрегати» та «великі гідроагрегати». Тим не менш, немає загально визнане визначення цих категорій: насправді в різних країнах різні юридичні визначення категорії розміру, які відповідають їх місцевому управлінню енергією та ресурсами потреби. У більшості країн Європи «міні

гідроелектростанція» вважається нижчою за 1 МВт, «мала». гідро» нижче 10 МВт і «велика ГЕС» понад 10 МВт. У будь-якому випадку важливо підкреслити, що велика різноманітність розмірів електростанцій дозволяє гідроенергетиці задовольнити обидві великі централізовані міські енергетичні потреби, а також децентралізовані потреби сільської місцевості. Хоча основна роль гідроенергетики полягає в забезпеченні електроенергією централізованої енергетичної системи, вона також часто працює ізольовано (поза мережею) у сільських та віддалених районах для задоволення місцевих потреб в енергії.

### 1.3 Система власних потреб

На підставах ліній електропостачання працює безліч одиниць обслуговуючого обладнання. Для таких споживачів застосовується трансформатор власних потреб (ТВП). Агрегат стабілізує роботу подібних установок на різних категоріях об'єктів. Цей тип транспортно-форматних приладів знижує напруження для правильного функціонування споживачів. Який принцип дії покладений на основний постачання, що це таке, а також його призначення буде розподіли даного.

Для електропостачання [2] власних потреб ГЕС передбачають щонайменше два незалежні джерела живлення. Як незалежні джерела живлення використовуються:

- обмотка нижчої напруги підвищуючого (блочного) трансформатора за наявності генераторного вимикача та підвищуючого трансформатора з боку вищої напруги;
- гідрогенератор;
- обмотка нижчої напруги автотрансформатора зв'язку розподільних пристроїв підвищених напрузі;
- шини розподільних пристроїв напругою (35...220) кВ;

- дизель-генератори;
- районна підстанція, що підключена до енергосистеми.

На електростанціях, на яких всі генератори включені на шини розподільного пристрою генераторної напруги, електропостачання власних потреб здійснюється від цих шин, а на електростанціях, на яких всі генератори включені за схемою блоків генератор-трансформатор, - шляхом влаштування відгалужень від блоку з установкою в ланцюгах цих відгалужень трансформаторів власних потреб (ТВП). Причому за наявності вимикача між генератором і трансформатором відгалуження влаштовується між вимикачем і трансформатором, а за його відсутності пристрій таких відгалужень не рекомендується. Виняток становлять ТВП потужністю до 1000 кВ А, призначені для живлення власних потреб тільки даного блоку. На багатоагрегатних ГЕС кількість відгалужень до загальностанційних ТВП, як правило, дорівнює трьом, для того щоб при виведенні одного з трансформаторів у ремонт виконувалася умова наявності двох незалежних джерел живлення власних потреб. У схемах укрупненого блоку можливе приєднання ТВП, призначеного для електропостачання власних потреб даного блоку між вимикачем і генератором.

ВП гідроелектростанцій мають суттєві відмінності від схем ВП теплових електростанцій, незважаючи на те, що джерела енергії для систем ВП залишаються незмінними: генератори та енергосистема. Ці відмінності виявляються у значно меншій частці енергії, що споживається механізмами власних потреб ГЕС, у малій частці або повній відсутності електродвигунів напругою 6 кВ, відносно більшій частці загальностанційного навантаження порівняно з агрегатною і, нарешті, у значній територіальній роз'єднаності загальних механізмів власних потреб (рисунок 1.1). При побудові схем власних потреб слід враховувати, що багато ГЕС працюють у полупіковій чи пікової частини графіка системи з декількома пусками та зупинками

протягом доби, коли комутації, [3] пов'язані з переходом з робітників на пускорезервні трансформатори власних потреб та назад, дуже небажані.

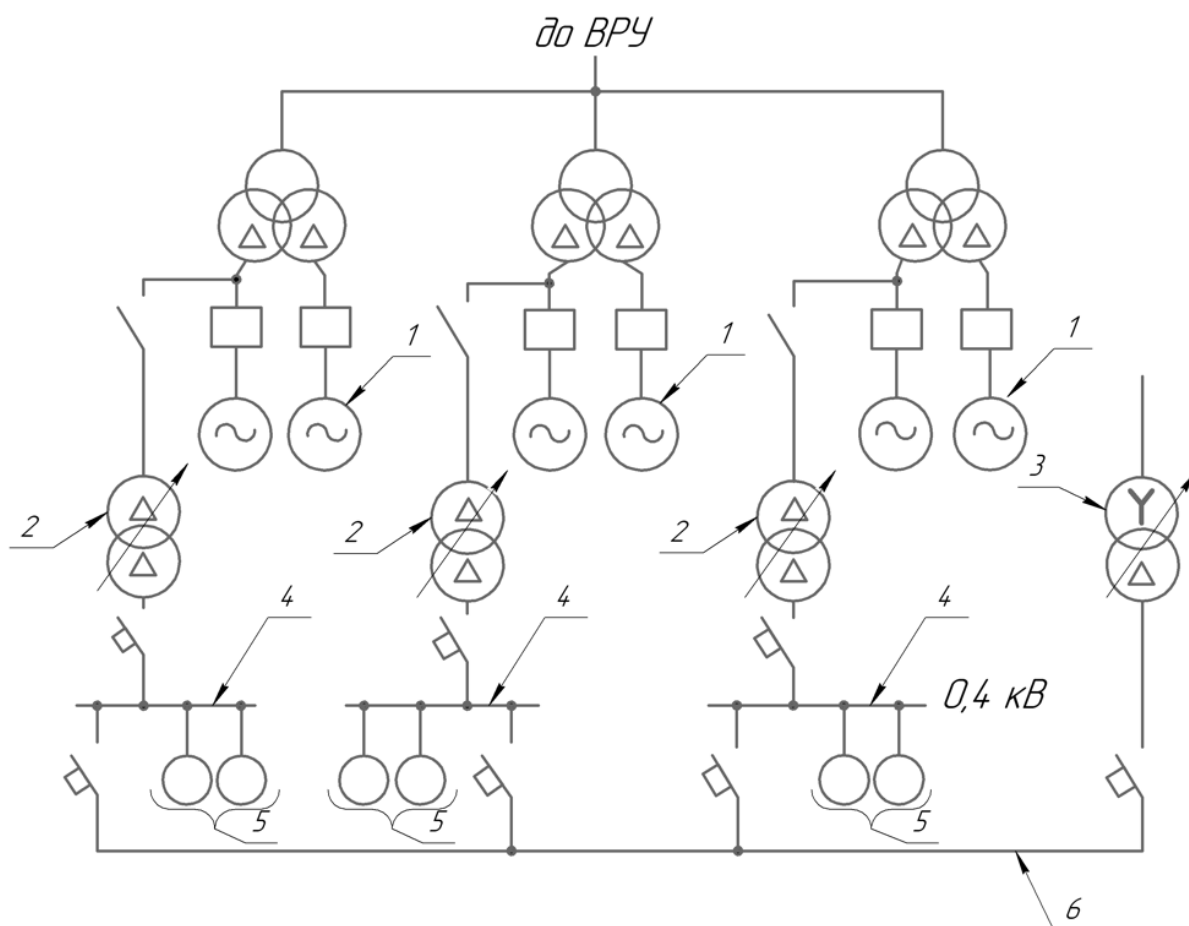


Рисунок 1.1 – Принципова схема живлення та резервування власних потреб ГЕС із роздільним живленням загальностанційних та агрегатних споживачів

1 – гідрогенератор; 2 - робочий трансформатор агрегатних потреб; 3 - секція 0,4 кВ агрегатних с. п.; 4 - магістраль резервного живлення 0,4 кВ агрегатних потреб; 5 - резервний трансформатор агрегатних власних потреб; 6 - резервна магістраль 6 (10) кВ; 7 - секція РУ 6(10) кВ; 8 - трансформатор загальностанційних потреб; 10 - головний трансформатор власних потреб; 11 АТ зв'язку

Залежно від призначення всі споживачі власних потреб можна розділити на наступні групи. Споживачі, що не допускають перерви у роботі: система масляного господарства, система технічного водопостачання агрегатів, система пневматичного господарства, система збудження генераторів, система пожежогасіння, пристрої для аварійного закриття затворів, приводи вимикачів та роз'єднувачів, вторинні пристрої, освітлення.

Структура системи потреб ГЕС насамперед залежить від прийнятого методу електропостачання основних груп споживачів потреб: агрегатних і загальностанційних. До загальностанційних належать: насоси технічного водопостачання; насоси відкачування води зі спіральних камер та труб, що відсмоктують; насоси господарського водопостачання; дренажні насоси; пожежні насоси; пристрої заряду, обігріву та вентиляції акумуляторних батарей; крани, підйомні механізми затворів греблі, щитів, шандорів труб, що відсмоктують, сороутримувачі решіток; компресори ОРУ; опалення, освітлення та вентиляція приміщень та споруд; пристрої обігріву затворів, решето: та пазів.

Можливі два принципові підходи при створенні схем власних потреб: об'єднане живлення агрегатних та загальностанційних навантажень та їх роздільне живлення. На гідроелектростанціях малої та середньої потужності за умови, що навантаження системи власних потреб відносно невелике і розташоване в будівлі станції та поблизу нього, електроенергія може розподілятися при напрузі 0,4 кВ. У цьому випадку електроприймачі гідроагрегатів та електроприймачі загальностанційного призначення живляться від загальних робочих трансформаторів із вторинною напругою 0,4 кВ. За умовами обмеження струмів короткого замикання в мережі 0,4 кВ потужність цих трансформаторів, що працюють окремо, зазвичай не перевищує 1000 кВ. А. При блоковій схемі без вимикачів у ланцюзі генераторів включення цих основних робочих трансформаторів власних потреб проводиться глухим відгалуженням до генераторного струмопроводу.

Це призводить до необхідності використання пускорезервного трансформатора при пусках та зупинках. На ГЕС широкого поширення набули укрупнені блоки з вимикачами в ланцюзі генераторів.

#### 1.4 Трансформатори власних потреб

Трансформатори власних потреб або ТВП призначені для живлення навантаження підстанцій, КРУ задля забезпечення своїх потреб. ТВП забезпечує роботу електроустановки та функціональність підключених споживачів навантаження. Кількісний склад і тип навантаження потреб електроустановки залежить від виду, потужності силових трансформаторів, передбачені чи ні синхронні компенсатори і зажадав від класу підключеного електрообладнання.

До навантаження ТВП відносяться: обігрівачі релейних шаф, осередків приводів силових вимикачів навантаження, а при використанні постійного струму зарядних пристроїв аварійного та освітлення, що діє. ТВП забезпечує дію релейних захистів, систем пожежогасіння, засобів оперативного зв'язку та телемеханіки. До ТВП ПС класу напруги до 220 кВ із трансформаторами з можливістю[4] до підвищеного навантаження підключена форсована система охолодження високовольтних трансформаторів та споживачів, які відповідають за життєздатність електроустановки.

Перелік навантаження для потреб електроустановок:

- Електродвигуни для системи обдування та охолодження трансформатора.
- Обігрів осередків масляних вакуумних вимикачів та шаф керування з електричними апаратами та приладами контролю та вимірювання.
- Системи пожежогасіння.
- Пристрої обігріву.



- Мережа освітлення електроустановки.
- Електроживлення приводів комутувальних пристроїв.

До власних потреб підстанцій відносяться також електроприймачі, наявність яких зумовлено специфікою експлуатації обладнання підстанцій: кондиціонування приміщення щита управління (гаряча кліматична зона), обігрів доріжок до обладнання на відкритій частині підстанції (у районах із рясним снігопадом) тощо. Найбільш важливими пристроями, що живляться електрикою від трансформаторів власних потреб, є апаратура систем керування, релейний захист, охоронне обладнання, сигналізація, телемеханіка та автоматичні прилади. Від них залежить повноцінна робота установок. При короткочасному відключенні можливе часткове або повне припинення подачі електроенергії по лініях.

Склад навантажень потреб ПС залежить від класу напруги і потужності основних трансформаторів. Для ПС класу напруги до 220 кВ ТСН може підключатися форсована система охолодження силових трансформаторів. Трансформатори власних потреб мають забезпечити функціонування систем РЗіА, пожежогасіння. Від них запитуються обігрівальні пристрої шаф та осередків, зарядні пристрої аварійного та штатного освітлення. Найзначнішими, найвідповідальнішими приймачами ВП є системи управління, автоматичні прилади, охоронне устаткування, сигналізація, релейний захист, телемеханіка.

Схема приєднання трансформатора потреб визначається типом оперативного струму. ТВП[5] підключений через запобіжники до введення низької напруги силового трансформатора до високовольтних вимикачів.

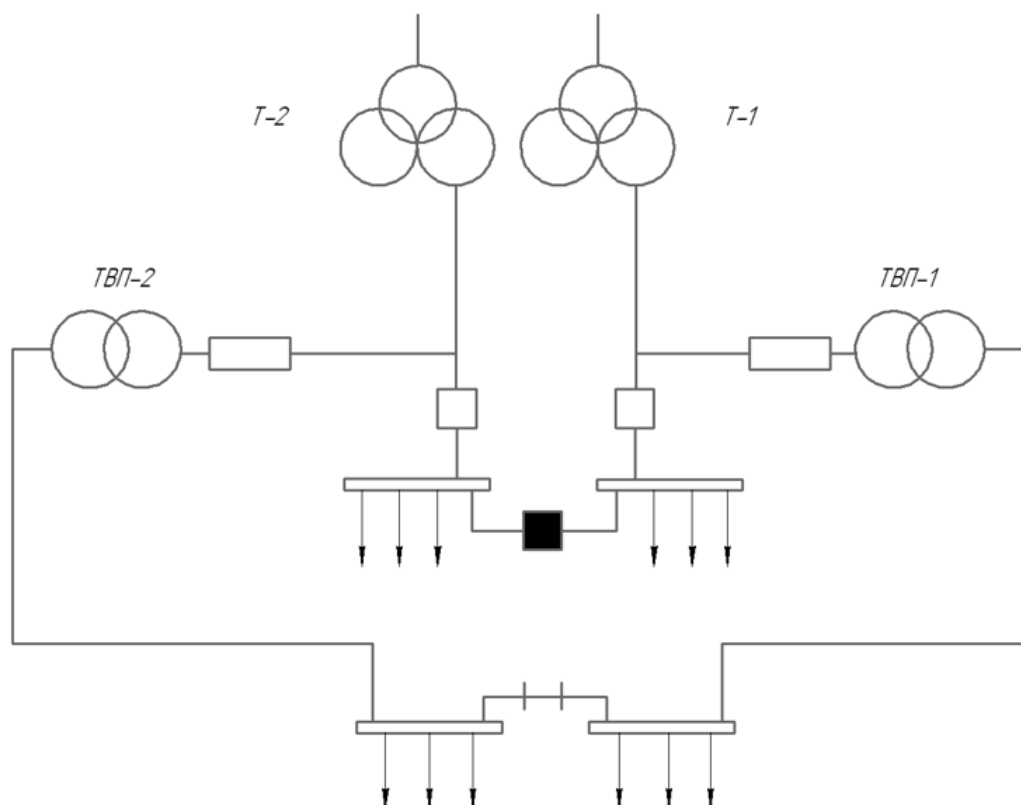


Рисунок 1.2 – Схема підключення ТВП та ПС зі змінним оперативним струмом

У зв'язку з необхідністю забезпечити максимально високу надійність роботи ПС при експлуатації трансформаторів власних потреб, по-перше: вони запитуються від різних секцій (якщо їх два); по-друге: жодних приймачів, крім потреб до ТСН може бути підключено; по-третє: ТСН мають працювати незалежно від АВР[6]. Також для більшої надійності роботи ПС ТСН підключається із застосуванням нейтралі (заземленої чи ізольованої). У лінію нейтралі встановлюється котушка індуктивності, яка необхідна компенсації ємнісного струму при фазному замиканні землю.

Схема підключення трансформаторів потреб залежить від виду оперативного струму підстанції. Оперативний струм на підстанції може бути постійним, випрямленим чи змінним. Постійний оперативний струм повинен застосовуватися на всіх підстанціях 330 кВ та вище, а також на підстанціях (110...220) кВ при числі вимикачів на боці ВН три та більше. Отже, на проєктованій підстанції буде постійний оперативний струм, оскільки на боці ВН встановлено понад три вимикачі. Джерелом постійного оперативного струму є акумуляторна батарея. Оскільки підстанція з постійним оперативним струмом трансформатори власних потреб підключаються до збірних шин розподільчого[7] пристрою 10 кВ. Схема підключення трансформаторів ВП показано на рисунку 1.3.

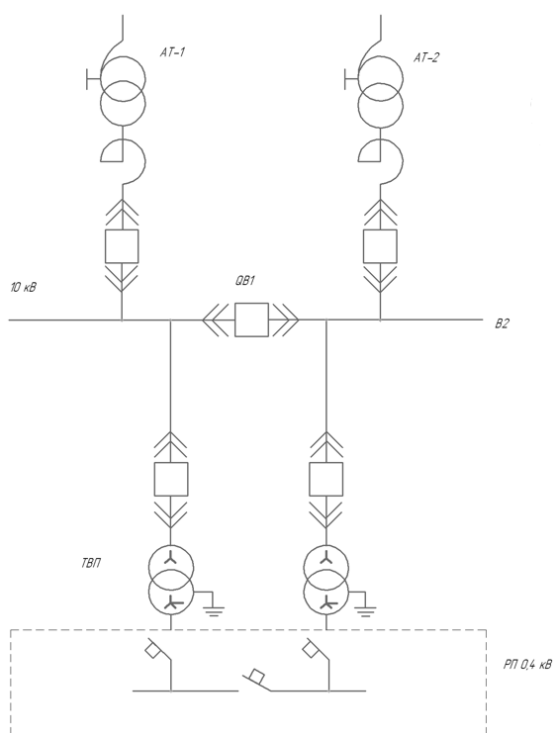


Рисунок 1.3 – Схема живлення власних потреб підстанцій

## 1.5 Власні потреби ГЕС

Власне споживання електричної енергії на ГЕС значно менше: (1...2) % для станцій малої та середньої потужності та (0,2...0,5) % для потужних станцій. Таке ж споживання мають гідроакumuлюючі електростанції в турбінному режимі. Споживання електроенергії ГАЕС у насосному режимі приблизно в 1,5 рази перевищує витрати на власні потреби при роботі в турбінному режимі. Основними джерелами живлення системи власних потреб є понижуючі трансформатори або реакційні лінії, підключені безпосередньо до висновків генераторів або їх розподільних пристроїв. Пускорезервні джерела живлення власних потреб також пов'язані із загальною електричною мережею (рисунок 1.4), оскільки зазвичай приєднуються до розподільних пристроїв станції, найближчих [8] підстанцій, третинних обмоток автотрансформаторів зв'язку.

Однією з важливих питань при побудові системи потреб є вибір джерела живлення. Найбільш простим рішенням, що набув поширення, є схема з безпосереднім електричним зв'язком системи власних потреб із мережею енергосистеми. Недоліком такої схеми є залежність напруги та частоти у системі власних потреб від режиму енергосистеми. Іншим рішенням може бути живлення власних потреб [9] електрично не пов'язаного з мережею енергосистеми генератора на валу головного агрегату.

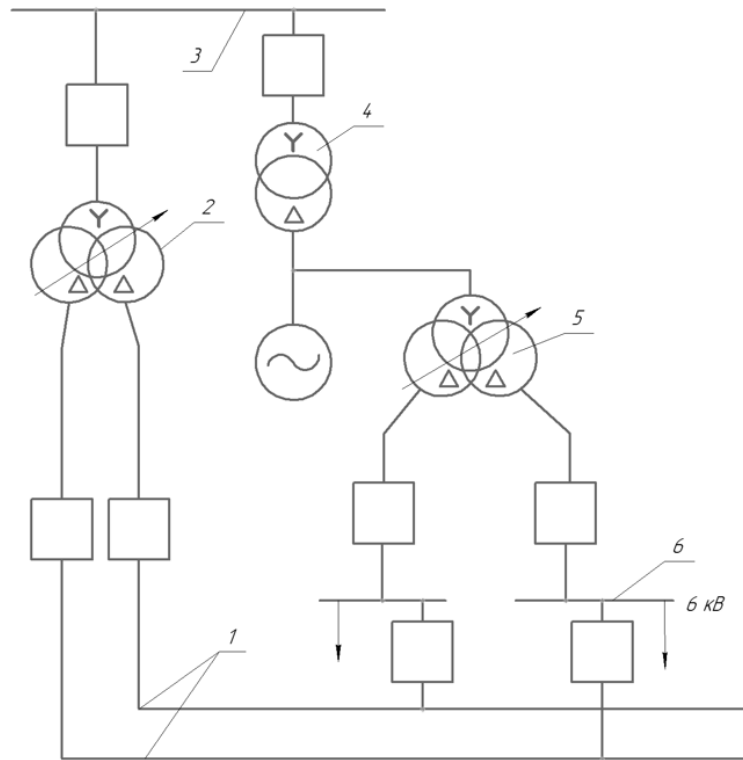


Рисунок 1.4 – Схема живлення системи ВП від генератора та енергосистеми

- 1 - магістралі резервного живлення; 2 - пускорезервний трансформатор ВП;  
 3 - розподільний пристрій вищої напруги станції; 4 блок генератор-трансформатор; 5 - робочий трансформатор; 6 - розподільний пристрій власних потреб

Споживчі ВП на ГЕС діляться на два типи:

- на агрегатні (маслонасоси МНУ, насоси відкачування води з кришки турбіни, охолодження головних трансформаторів та ін.)
- загальностанційні (насоси технічного водопостачання, насоси відкачування води з труб, що відсмоктують, дренажні та пожежні насоси, опалення, освітлення, вентиляція) ін).

Частина цих споживачів є відповідальними (технічне водопостачання, охолоджувачі трансформаторів, маслонасоси МНУ, система пожежогасіння, механізми закриття затворів напірних трубопроводів).

Електроприймачі СН ГЕС поділяються на категорії з допустимих перерв живлення:

- Перша категорія – перерва електропостачання споживачів допускається на час автоматичного відновлення живлення. Електроприймачі першої категорії у нормальному режимі забезпечуються електроенергією від двох незалежних взаємно резервуючих джерел живлення. Зі складу електроприймачів першої категорії виділяється особлива група відповідальності електроприймачів (за вимогами безпеки); постачання якої має передбачатися додаткове живлення від третього незалежного резервуючого (аварійного) джерела живлення.

- Друга категорія – перерва електропостачання допускається на час включення черговим персоналом резервного джерела живлення. Електроприймачі другої категорії в нормальному режимі забезпечуються електроенергією від двох незалежних взаємно резервуючих джерел живлення.

- Електроприймачі третьої категорії можуть отримувати живлення від джерела.

До електроприймачів ВП ГЕС першої категорії належать:

- насоси маслонапірних установок регулювання гідротурбін;
- насоси та вентилятори системи охолодження трансформаторів; - аварійна вентиляція; - зарядні пристрої акумуляторних батарей;
- обладнання зв'язку, телемеханіки та АСУТП;
- обладнання автоматичного пожежогасіння та системи безпеки;
- Охоронне освітлення периметра.

До електроприймачів ВП ГЕС особливої групи належать:

- механізми управління основними та аварійними затворами водоприймача та водоскиду;
- механізми керування затворами з боку нижнього б'єфу;
- евакуаційне висвітлення.

До електроприймачів СН ГЕС другої категорії відносяться:

- дренажні насоси;
- насоси відкачування проточної частини турбіни;
- компресорне господарство, зокрема. для відтискання води з камери робочого колеса (переведення в режим СК);
- обігрів силових шаф, шаф управління, приводів, осередків КРУ зовнішньої установки, повітрозбірників;
- Влаштування РПН;
- робоче освітлення та аварійне освітлення безпеки для продовження роботи

До електроприймачів ВП ГЕС третьої категорії належать:

- обладнання санітарно-технічних систем (опалення та вентиляція приміщень), у т.ч. припливно-витяжна вентиляція приміщень акумуляторних батарей; - приводи роз'єднувачів та РПН;
- обігрів електрорухових приводів роз'єднувачів та РПН;
- вантажопідйомні пристрої;
- маслохімічна та інші лабораторії;
- Устаткування для ремонтних робіт.
- компресорне господарство, зокрема. для відтискання води з камери робочого колеса (переведення в режим СК);
- обігрів силових шаф, шаф управління, приводів, осередків КРУ зовнішньої установки, повітрозбірників;
- Влаштування РПН;
- робоче освітлення та аварійне освітлення безпеки для продовження роботи

Однак автономні джерела енергії або генератори на валу основного агрегату для живлення власних потреб значно збільшують вартість одиниці встановленої потужності[10] електростанцій, ускладнюють їх експлуатацію та є менш надійними, ніж при електропостачанні системи власних потреб від

основного генератора через відпаювання. Ймовірність безвідмовної роботи трансформатора власних потреб набагато вища, ніж генератора, турбіни, джерела пари та їх механізмів власних потреб. кращих умовах, ніж запуск джерела обмеженої потужності. Електропостачання власних потреб від автономних джерел могло б виявитися корисним при аваріях, що супроводжуються глибоким зниженням частоти і напруги, коли знижується продуктивність механізмів, а при глибокому зниженні напруги втрачається також стійкість рухового навантаження. Це призводить до припинення подачі поживної води, зриву вакууму турбін, скидання навантаження та відключення агрегатів. В результаті в системі може початися лавиноподібне зниження частоти та напруги.

Основні вимоги, що висуваються до системи потреб, полягають у забезпеченні надійності та економічності роботи механізмів потреб. Перша вимога є найважливішою, оскільки порушення роботи механізмів власних потреб спричиняє розлад складного технологічного циклу виробництва електроенергії, порушення роботи основного обладнання, а іноді й станції в цілому та розвиток аварії в системну. Система живлення потреб електричних станцій займає особливе становище серед інших споживачів енергосистеми (рисунок 1.5). Справді, порушення електропостачання механізмів власних потреб викликає порушення[11] роботи не лише самої станції, а й споживачів енергосистеми у разі нестачі потужності.



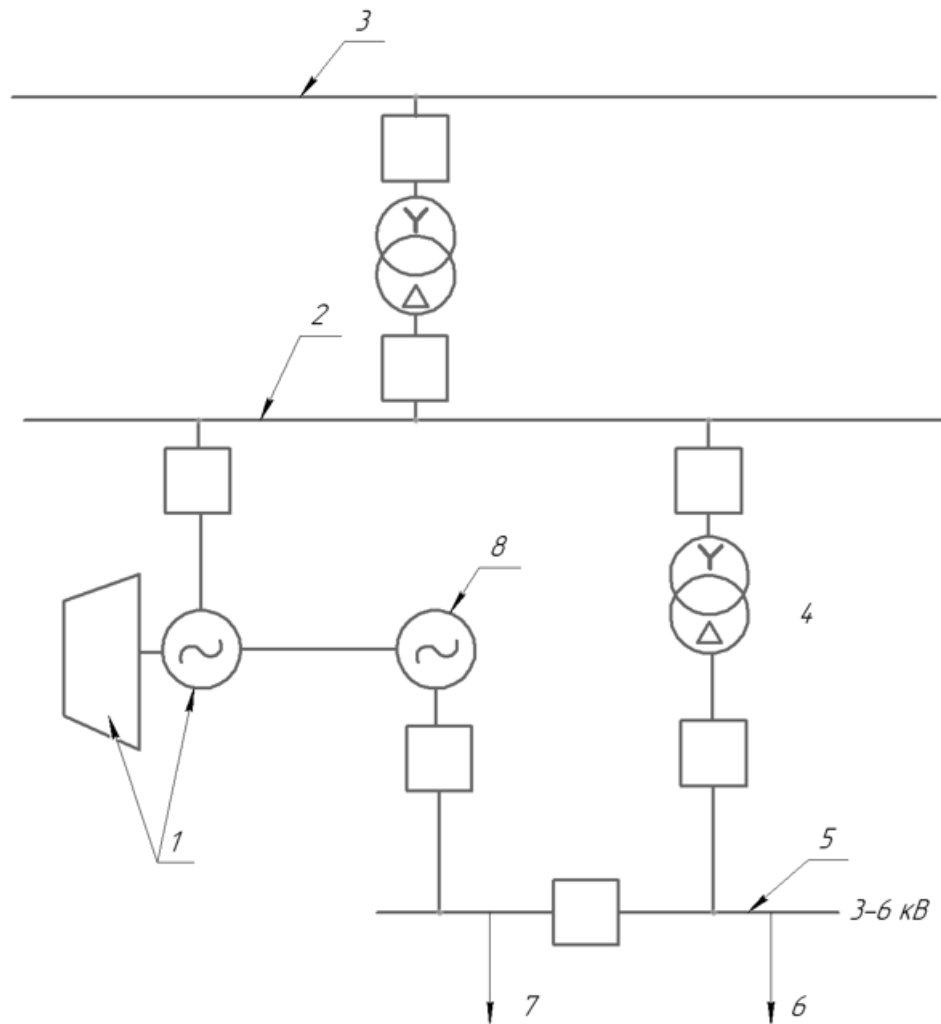


Рисунок 1.5 – Схема живлення системи власних потреб з допоміжним генератором 1 - головний турбогенератор; 2, 3 - розподільні пристрої відповідно генераторної та вищої напруги; 4 - трансформатор власних потреб; 5 - розподільні пристрої власних потреб; 6 - невідповідні споживачі власних потреб; 7 - відповідальні споживачі власних потреб; 8 - допоміжний генератор власних потреб

Дуже важливою є і вимога економічності, оскільки тут споживання енергії на власні потреби більше, ніж у будь-якій галузі промисловості. Підвищення економічності досягається за рахунок зниження витрати електричної та теплової енергії в системі власних потреб, удосконалення основного та допоміжного обладнання, розумного скорочення капіталовкладень у систему власних потреб, раціональних способів

регулювання продуктивності механізмів. З іншого боку, простота і пов'язана з нею надійність роботи системи потреб мають не менше значення, ніж економія електроенергії.

Однак автономне джерело не може усунути основної причини важкої системної аварії — невідповідності між навантаженням і потужністю станцій. Незалежне від мережі живлення власних потреб може часом лише затримати розвиток аварії, але [12] з виключити її. Кардинальним вирішенням питання є правильне використання засобів системної автоматики і насамперед частотного розвантаження після вичерпання обертового резерву потужності. Тому основною схемою живлення системи потреб станцій всіх типів у час є схема, наведена на рис. 1.4, надійність та стійкість якої забезпечується: широким застосуванням у системі власних потреб асинхронних електродвигунів з короткозамкненим ротором, пуском їх від повної напруги мережі без будь-яких регулюючих пристроїв та відмовою від захисту мінімальної напруги на відповідальних механізмах; успішним самозапуском електродвигунів при відновленні напруги після відключення коротких замикань в енергосистемі та в мережі власних потреб;

## 1.6 Генератори з ДВЗ для ВП

Крім використання трансформаторів ВП які отримують електроенергію з гідрогенератора ГЕС, можна використовувати як джерело енергії дизельні, бензинові та газові генератори як резерв. Централізоване подання електроенергії іноді дає збої, це пов'язано і з погодою, і з аваріями, і з перевантаженням, і з профілактичними [13] роботами на мережах. І хоча аварійне відключення – це раптове явище, підготуватися до нього все-таки можливо. Генератори часто застосовуються для резервного забезпечення електроенергією у приватних будинках, котеджах, різних підприємствах, у сфері медицини, телекомунікації, а також у банківській галузі. При повній

відсутності енергопостачання в місцевості генератор служить постійним джерелом струму.

Резервний дизельний генератор найчастіше підключається за стандартною схемою. Відмінності у варіантах підключення можуть бути залежними від вихідної напруги, на яку розрахований електрогенератор (однофазний або трифазний), від наявності або відсутності панелі автоматичного включення резерву (АВР), від місця розташування блоку контролю стану зовнішньої мережі (в панелі АВР або панелі управління) автономної електростанції). Нижче на рисунку 1.6 наведено однолінійну електричну схему підключення генераторної установки з панеллю АВР:

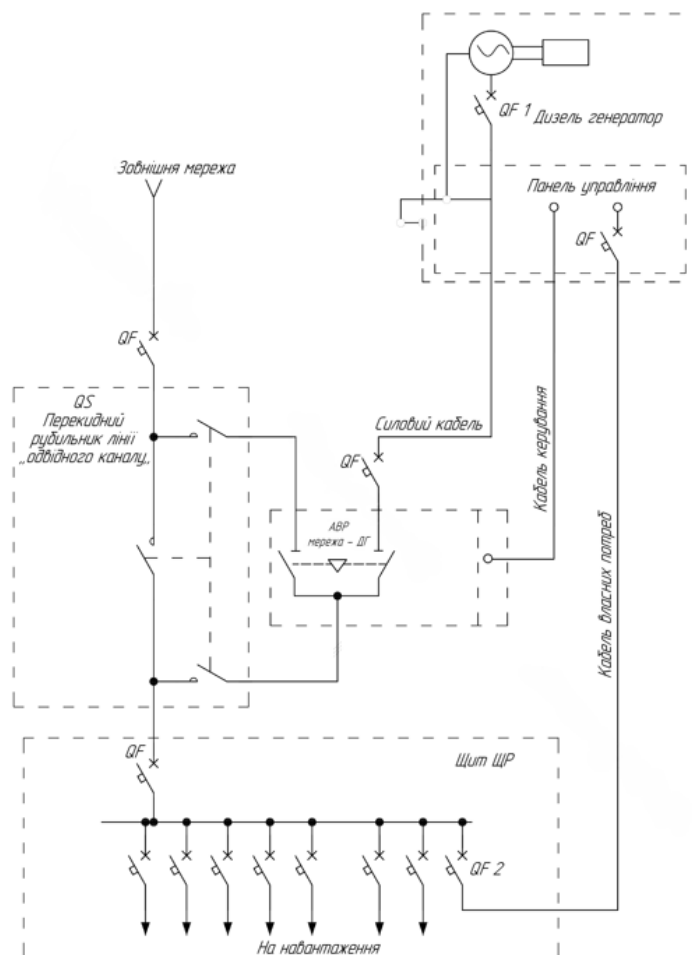


Рисунок 1.6 – однолінійна електрична схема підключення генераторної установки з панеллю АВР

На даній схемі вказані такі елементи:

- Дизель-генератор. Резервна дизельна електростанція.
- АВР мережа – ДГ. Панель автоматичного увімкнення резерву, яка здійснює перемикання живлення навантаження між зовнішньою мережею та дизельною електростанцією.
- QS. Перекидний рубильник лінії обвідного каналу. Цей рубильник здійснює перемикання живлення навантаження безпосередньо від мережі, виключаючи з ланцюга енергопостачання панель АВР. Ця опція не є обов'язковою для схеми резервного електроживлення, але вона дуже зручна, тому що дозволяє вимкнути панель АВР (наприклад, для ремонту) без необхідності тривалого відключення навантаження.
- Панель управління. Панель управління дизель-генератором.
- Щит ЩРдг. Електрощитова, в якій розташовані автоматичні вимикачі навантажень, які резервуються від автономного генератора.
- QF1. Вихідний автоматичний вимикач генератора.
- QF2. Автоматичний вимикач захисту кабелю власних потреб. Зазвичай встановлюється в електрощитовій.
- Силовий кабель. Цей кабель прокладається між резервним генератором та панеллю АВР. По ньому на навантаження передається електроенергія, яку виробляє дизель-генератор. З боку генераторного агрегату силовий кабель підключається безпосередньо на клем вихідного автоматичного вимикача (QF1). З іншого боку, силовий кабель підключається на відповідні клеми панелі АВР.
- Кабель керування. Цей кабель прокладається між резервною електростанцією та панеллю АВР. Призначення кабелю керування (сигнального кабелю) змінюється залежно від розташування блоку контролю зовнішньої мережі. Даний блок здійснює контроль наявності зовнішньої мережі, контроль відповідності якості основного енергопостачання заданим параметрам (за напругою та частотою), дає

команди на запуск та зупинку генератора електрики, а також керує перемиканням панелі АВР. Якщо блок контролю зовнішньої мережі розташований на панелі АВР, то по кабелю управління від панелі АВР на дизельний генератор надходить сигнал про запуск або зупинку. Якщо блок контролю зовнішньої мережі розташований в панелі управління автономної електростанції, то по даному кабелю здійснюється управління перемикання панелі АВР. В останньому випадку від зовнішньої мережі на електрогенератор необхідно прокласти додатковий кабель (не показаний на наведеній вище електричній схемі), який підключається на панель управління, і за яким здійснюється контроль наявності та якості основного енергопостачання.

- Кабель власних потреб. Даний кабель прокладається від генераторної установки до електрощитової. Коли дизельна електростанція не працює, по даному кабелю здійснюється живлення автоматичного підігріву охолоджуючої рідини двигуна та автоматичного заряджання акумуляторних батарей від зовнішньої мережі. Необхідно пам'ятати, що власний кабель повинен бути захищений окремим автоматичним вимикачем, який на схемі показаний як QF2.

Однак не завжди дизельні генератори резервують всі навантаження на об'єкті. Часто споживачів поділяють на групи залежно від їхньої критичності (наприклад, за величиною[14] фінансових втрат у разі їх відключення від електроживлення). Найменш критичною є група навантажень яка живиться тільки від зовнішньої мережі, та її енергопостачання резервується перемиканням між двома мережевими вводами. Більше критичні навантаження виділяються в так звану «Особливу групу 1 категорії». Крім двох мережових вводів даних споживачів також резервують дизельні генератори, які запускаються у разі зникнення основного енергопостачання з обох вводів.

Дуже часто на об'єкті є два незалежні введення від основного енергопостачання, що підвищує стійкість до відмови системи електроживлення в цілому. В даному випадку дизельні генератори підключаються аналогічним способом, як і в наведеній вище схемі, тільки між двома мережевими введеннями [15] додається ще одна панель АВР яка показана на рисунку 1.7 (АВР мережа - мережа на однолінійній схемі).

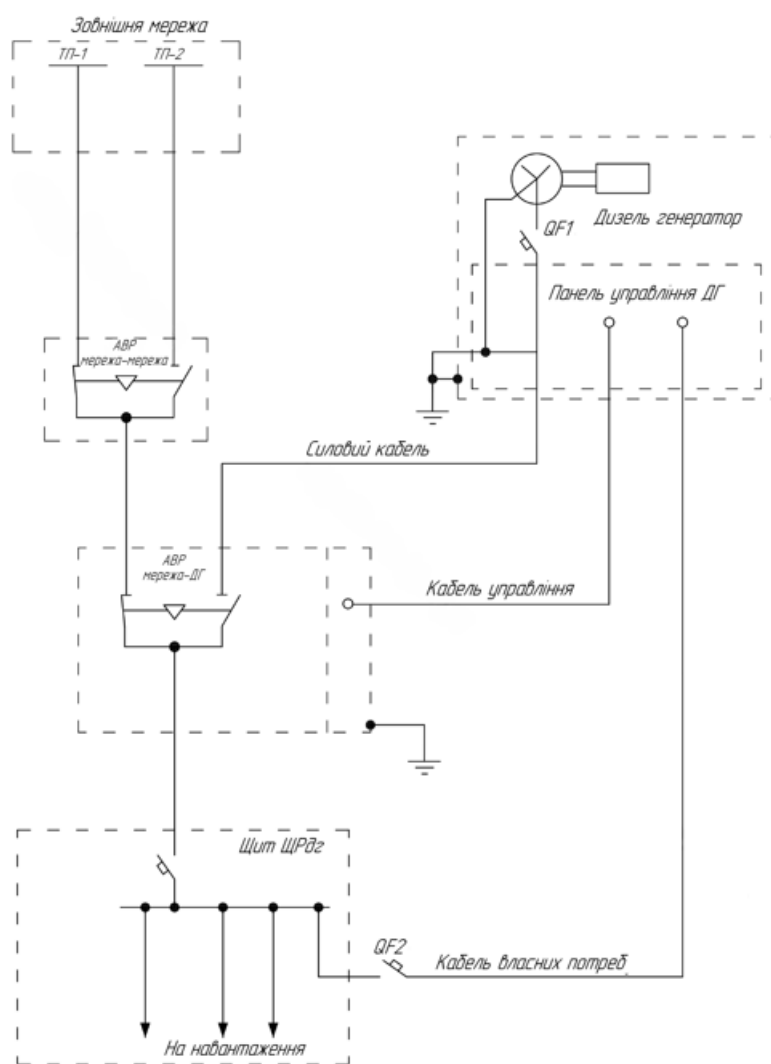


Рисунок 1.7 – однолінійна електрична схема підключення генераторної установки з панеллю АВР з двома введеннями

Вибір генератора потрібно робити, [16]виходячи не тільки з потрібної потужності генератора, але і виду палива, на якому він працює. Це може бути бензин, дизельне паливо (солярка) та газ. Відразу треба виділити, що ці види

палива відрізняються ціною, наприклад, електроенергія, отримана від бензинового двигуна, дорожче, ніж та, яку виробляє дизель-генератор або газова електростанція. Дизельні генератори, у свою чергу, мають власну сферу застосування - це виробництво, де навантаження бувають настільки посилені, що бензогенератор їх просто не витримає.

Бензиновий генератор – найпопулярніший тип резервної електростанції. Він дуже зручний у переміщенні, завдяки порівняно невеликій вазі, а також має компактні розміри (особливо інверторні бензинові генератори), у зв'язку з чим є найпоширенішим для побутових споживачів. За своєю будовою, функціоналом та принципом роботи він мало підходить для промислових робіт хоча в нього є деякі переваги.

- Порівняно низький рівень шуму (до 70 дБ), особливо, якщо це модель в шумопоглинаючому корпусі, а двигун обладнаний глушником. Такий генератор можна встановлювати просто неба, йому не потрібно окремого приміщення або контейнера. Окрім закритого виконання, бензогенератор для приміщення часто проводиться на рамі у відкритому вигляді, та охолоджується за допомогою повітряного (природного) охолодження.
- В основному бензинові генератори оснащені чотиритактними двигунами внутрішнього згорання. Марка палива обов'язково вказана в паспорті на генератор, в основному використовується бензин А-95 або А-92, що залежить від конкретного виробника генератора. Технічна конструкція будь-якого бензинового двигуна в генераторі така, що тривалу безперервну роботу вони витримують важко або не тягнуть зовсім. Межа роботи без перерви становить у різних моделях близько 5-8 годин, а потім необхідно витримувати технологічні паузи щонайменше дві години. Дизель-генератору таких пауз не потрібно, зате бензинові генератори легко заводяться навіть за низьких температур повітря, чого не скажеш про дизель.

- Ще один аргумент на користь бензинових електростанцій – їхня невелика вартість. Якщо взяти за основу однакові технічні характеристики, то модель побутового генератора на бензині буде найдешевшою порівняно з моделями газу та дизельного палива.

Проте незважаючи на свої плюси у цього типу генераторів дуже значні мінуси, а саме:

- Необхідність технічних перерв під час роботи;
- Невисокий ресурс двигуна, який становить не більше 4000 мотогодин;
- Найчастіше велика витрата досить недешевого бензину, що призводить до високої собівартості одного кіловата електроенергії;
- Невисока велика потужність двигуна у портативних генераторів, яка зазвичай варіюється в межах 1-20 кіловат.

Наступний тип генераторів, дизельні. Вони виробляються як у стаціонарному виконанні, і у портативному вигляді. Останні охолоджуються природним повітряним шляхом, а генераторах стаціонарного типу передбачається водяне ( рідинне) охолодження.

До їх переваг можна віднести:

- Дизельні ДВЗ добре справляються з великими навантаженнями. Завдяки цій властивості, генератори на дизельному паливі можуть видавати до кілька мегават потужності.
- Можуть працювати без технологічних пауз
- Тривалий моторесурс, який досягає до сорока тисяч мотогодин та економне споживання дизпалива (якщо порівнювати з бензиновими генераторами).

Дизель-генератори також мають свої недоліки:

- Підвищений рівень шуму. Залежно від вимог до апарату – генератори можуть поставлятися у шумозахисному корпусі (капоті, кожусі) або без нього. Якщо апарат поставляється без шумозахисного кожуха,



рекомендується його встановлювати в окремому приміщенні з вентиляцією - генераторною. Можна також помістити дизель-генератор у спеціальний контейнер з металевими стінками, вивідними патрубками та звукоізолюючим прошарком.

- Погано заводяться на морозі, що зв'язано з особливостями дизпалива. Щоб не потрапити в халепу з «замерзлим» генератором взимку, необхідний дизельний генератор з підігрівом двигуна. Треба встановити невелике реле, що працює від акумуляторної батареї, воно підтримуватиме стабільну температуру двигуна близько 38 градусів, і він легко заведеться.

## 1.7 Використання сонячної енергії для ВП

СЕС в даний час дуже поширені, так як у загальному випадку СЕС складається з великої кількості окремих модулів (фотобатарей) різної потужності та вихідних параметрів. СЕС широко застосовуються для енергозабезпечення як малих, і великих об'єктів. Фотоелектричні модулі та масиви виробляють електрику постійного струму. Вони можуть бути підключені як у послідовному, так і паралельному електричному пристрої до інвертора для отримання будь-якої необхідної комбінації напруги та струму. Встановлюватися фотобатарей можуть практично скрізь, починаючи від покрівлі та фасаду будівлі та закінчуючи спеціально виділеними територіями. Встановлені потужності теж коливаються у широкому діапазоні, починаючи з постачання окремих насосів, закінчуючи електропостачанням міст.

Основні частини, з яких складається СЕС:

- Батареї (панелі), що перетворюють сонячне випромінювання на струм постійної напруги.
- Контролер, який регулює заряд АКБ.
- Блок акумуляторних батарей.
- Інвертор, що перетворює напругу АКБ 220В або 380В.

Вага однієї батареї на 300 Вт дорівнює 20 кг. Найчастіше панелі монтують на дах, фасад або спеціальні стійки, встановлені поряд із будинком. Необхідні умови: розворот площини у бік сонця та оптимальний нахил (в середньому  $45^\circ$  до поверхні землі), що забезпечує перпендикулярне падіння сонячних променів.

Встановлювати сонячні панелі можна встановлювати на дахах машинних залів, бо там зазвичай багато вільного місця. Для прикладу можна взяти Дніпрогес де загальна площа ГЕС-1 та ГЕС-2 приблизно складає 11000 м<sup>2</sup>, цього достатньо для розміщення СЕС на (800...1000) кВт.

Використовувати панелі можна напряму без блоку АКБ що дуже сильно зменшить вартість реалізації проекту, але тоді треба забути про їх нічне застосування.

Сьогодні існує кілька видів[17] сонячних елементів, з яких складаються сонячні батареї. Відмінності цих модулів у технології та матеріалах, що застосовуються у їх виготовленні. На даний момент існують три типи батарей, що розділяються за матеріалом основи елемента – плівкові, кремнієві та аморфні. У свою чергу, плівкові батареї також діляться за матеріалами, що використовуються у виготовленні:

на основі телуриду кадмію. Хоча ККД елементів з телуриду кадмію невеликий, близько 11 %, однак, у порівнянні з кремнієвими панелями, ват потужності цих батарей обходиться на кілька відсотків дешевше;

на основі CIGS (CIGS – це напівпровідник, що складається з міді, індія, галію та селену), цей тип сонячних батарей має більш високу ефективність, його ККД доходить до 15 %;

На даний момент найпопулярнішими є батареї, виготовлені на основі кремнію. Пояснюється це поширеністю кремнію в природі, його невисокою вартістю та відносно високою продуктивністю порівняно з іншими видами сонячних батарей. Батареї на кремнієвій основі поділяються за типом виготовлення фотоелектричних елементів:

- монокристалічні, у такому модулі зерна кристалів орієнтовані щодо одного напрямку, т.к. по суті пластини нарізаються з одного циліндричного кристала. Батареї на основі монокристалічних модулів мають нині найвищу ефективність – до 22 %. Монокристалічний кремній виробляється з сировини високого ступеня очищення (99,999%);
- полікристалічні, в такому модулі кристали кремнію розташовані і орієнтовані хаотично, що позначається на продуктивності модуля, яка на (10...15) % нижче продуктивності монокристалічних модулів. Однак, виготовлення батарей на таких модулях менш витратне, а тому батареї мають найнижчу ціну.

## 1.8 Типи АКБ

Існує кілька типів акумуляторних батарей, які застосовуються із сонячними електростанціями. Це, як правило, [18] свинцево-кислотні, або літієві. Рідше використовуються нікель-кадмієві акумулятори, які можуть бути потрібні з кліматичних причин (великі перепади температур) або у важких умовах експлуатації. Нікель-кадмієві батареї невибагливі, витримують високі та низькі температури та незамінні, наприклад, на станціях газо- та нафтоперекачування в пустелі або на морських платформах.

Однак у середній смузі більш традиційні перші два різновиди – свинцево-кислотні та літієві.

Вибираючи АКБ, потрібно виходити з бюджету, а вже в рамках цього бюджету вибирати найвитривалішу батарею. Причому знову ж таки потрібно враховувати режим експлуатації. Важливий параметр – ємність, проте чи не важливіший за показник циклічності, якщо йдеться про роботу в циклічному режимі в умовах автономії, тобто частих циклів заряду-розряду. Якщо батарея планується для роботи в буферному режимі (використовується для підтримки, включається лише при зникненні мережі або негоді, а при досягненні встановленої мінімальної напруги, за наявності мережі, відключається), то вимоги циклічності більш помірні. Втім, бувають різні схеми енергопостачання і при виборі АКБ їх слід врахувати.

Існують декілька[19] видів АКБ:

- Свинцево-кислотні (СК) – Принцип роботи свинцево-кислотних акумуляторів заснований на електрохімічних реакціях свинцю та діоксиду свинцю у розчині сірчаної кислоти.
- Лужний акумулятор (ЛА) – Електролітом в лужних акумуляторах є розчини їдких лугів (KOH, NaOH), а активною масою - сполуки нікелю, заліза і кадмію.
- Літій-іонний акумулятор (ЛІ) – Літій-іонний акумулятор складається з електродів (катодного матеріалу на алюмінієвій фользі та анодного матеріалу на мідній фользі), розділених просоченими електролітом пористими сепараторами. Переносником заряду в літій-іонному акумуляторі є позитивно заряджений іон літію, який впроваджується у кристалічну решітку інших матеріалів (наприклад, графіт, оксиди та солі металів) з утворенням хімічного зв'язку та солі металу.

Таблиця 1.1 – Класифікація АКБ

Тип	Застосування	Позначення	Робоча температура, °C	Напруга елемента, В	Питома енергія, Вт·год/кг
Літій-іонний	Транспорт, телекомунікації, системи сонячної енергії, автономне та резервне електропостачання, мобільні джерела живлення, електроінструмент, електромобілі і т.д.	Li-Ion (Li-Co, Li-pol, Li-Mn, LiFeP, LFP, Li-Ti, Li-Cl, Li-S)	-20 ... +40	3,2-4,2	280
нікель-сольовий	Автомобільний транспорт, Ж\Д транспорт, Телекомунікації, Енергетика, в тому числі альтернативна, Системи накопичення енергії	Na/NiCl	-50 ... +70	2,58	140
нікель-кадмієвий	Електрокари, річкові та морські судна, авіація	Ni-Cd	-50 ... +40	1,2-1,35	40 – 80
залізо-нікелевий	Резервне електроживлення, тягові для електротранспорту, ланцюги керування	Ni-Fe	-40 ... +46	1,2	100
нікель-водневий	Космос	Ni-H <sub>2</sub>		1,5	75

Продовження таблиці 1.1

нікель-метал-гідридний	Електромобілі, дефібрилятори, ракетно-космічна техніка, системи автономного енергопостачання, радіоапаратура, освітлювальна техніка.	Ni-MH	-60 ... +55	1,2- 1,25	60 – 72
нікель-цинковий	Фотоапарати	Ni-Zn	-30 ... +40	1,65	60
свинцево-кислотний	Системи резервного живлення, побутова техніка, ДБЖ, альтернативні джерела живлення, транспорт, промисловість та ін.	Pb	-40 ... +40	2, 11- 2,17	30 – 60
срібно-цинковий	Військова сфера	Ag-Zn	-40 ... +50	1,85	<150
срібно-кадмієвий	Космос, зв'язок, військові технології	Ag-Cd	-30 ... +50	1,6	45 – 90

## 2. ОЦІНКА ВИБРАНОВОГО ОБЛАДНАННЯ І АНАЛІЗ СПОЖИВАННЯ СИСТЕМ ВП

### 2.1 Витрата електроенергії на ВП електростанцій

Витрата електроенергії на ВП ГЕС залежить від типу та одиничної потужності агрегатів, встановлених на електростанції, а також від кількості від кількості споживачів, що використовуються для підтримки її в робочому стані. Максимальне навантаження ВП електростанцій може приблизно оцінюватися у відсотках встановленої потужності:

Таблиця 2.1 – Порівняльна витрата електроенергії на власні потрібні атомних, газотурбінних та гідравлічних електростанцій, %

Потужність, МВт	Електростанція		
	Атомна	Газотурбінна	Гідравлічна
До 200	-	0,6 - 1,7	0,5 - 2
Понад 200	5 - 7	-	0,2 - 0,4

Тому в залежності від розміру ГЕС, необхідна потужність для ВП може досягати від десятків кіловат, до кількох мегават.

В нормативних документах[20] також наводяться таблиці коефіцієнтів попиту залежно від кількості груп споживачів та їх призначення.

Таблиця 2.2 – Коефіцієнт попиту приймачів власних потреб

Найменування приймача	Коефіцієнт попиту
Освітлення ОРУ:	
при одному	0,5
при кількох	0,35
Освітлення приміщень	0,6-0,7

Продовження таблиці 2.2

Охолодження трансформаторів	0,8-0,85
Компресори	0,4
Зарядно-підзарядні пристрої	0,12
Електропідігрів вимикачів та електроопалення	1

У подальших вимірах як приклад використовуватиметься Дніпрогес.

Витрати на ВП – 2,5 МВт

Нормативний коефіцієнт попиту ( $K_c$ ) – 0,7

Розрахункова потужність

$$P_p = P_n \times K_c$$

$$P_p = 2,5 \times 0,7 = 1,75 \text{ МВт} = 1750 \text{ кВт}$$

## 2.2 Вибір генератора

На ринку є великий асортимент дизельних генератор, що дозволяє вибрати потрібний в залежності від номінальної потужності агрегатів.

Для покриття споживання ВП при можливих аваріях[21] потрібні потужні генератори для великих ГЕС потужністю більше 1000 кВт пропонується дизельний генератор RID 1500 E-SERIES S



Таблиця 2.3 – Специфікація RID 1500 E-SERIES S

Тип генератора	Синхронний
Кіл-ть фаз	3
Режим роботи	Безперервний
V, В	380
$P_{\text{ном}}$ , кВт	1200
$P_{\text{макс}}$ , кВт	1320
$\cos\varphi$	0.8
f	50 Гц
$P_{\text{повн}}$ кВА	1650
Строк служби	20 років
$V_{\text{бака}}$	1500 л
Споживання палива, г	163 л/ч



Рисунок 2.1 – Зображення генератора RID 1500 E-SERIES S

Час безперервної роботи при повному баку.

$$t_{\text{роб}} = \frac{V_{\text{бака}}}{q} = \frac{1500}{163} = 9,2 \text{ год.}$$

Добове споживання палива.

$$t_{\text{доб}} = q * 24 = 3912 \text{ л}$$

Вартість генератора – 11600000 грн

Вартість дизельного палива (на червень 2022 року) – 56,42 грн/л

Добова вартість дизельного палива – 220715 грн

Даний генератор може використовуватися в якості резервного джерела електроенергії при аваріях на підстанції або заміні ТВП. Використання в якості основного джерела електроенергії не бажано через високу вартість палива.

### 2.3 Побудова СЕС

Використання добре спроектованої сонячної електростанції дозволить зробити її мало- або необслуговуваною що добре позначиться вартості експлуатації.

Було обрано полікристалічні сонячні панелі Altek ASP-260P. Такий тип панелей має незначні недоліки, при цьому вартість у порівнянні з монокристалічними аналогами приблизно на 10% менше.

Таблиця 2.4 - Технічні характеристики сонячної панелі Altek ASP-260P[22]

Номінальна потужність $P_{\text{ном}}$	260 Вт
Номінальна напруга $V_{\text{ном}}$	30,6 В

Продовження таблиці 2.4

Номінальний струм $I_{\text{ном}}$	8,5 А
Макс. напруга ланцюга, зібраної з даних панелей	1000 В
коефіцієнт втрати потужності залежно від нагрівання фотомодуля	-0,32%
температурний коефіцієнт ( $V_{oc}$ )	-0,34%

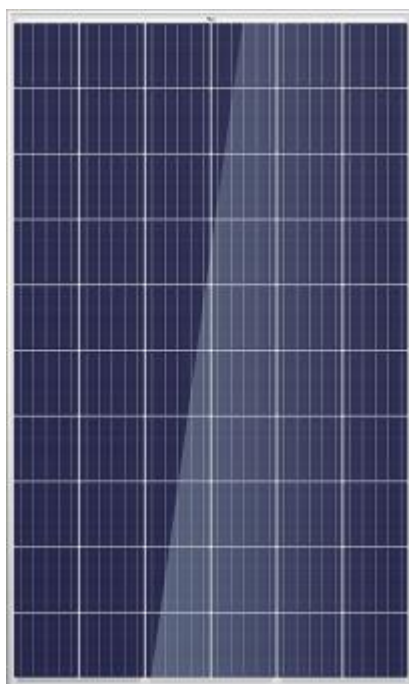


Рисунок 2.2 – Зображення сонячної панелі Altek ASP-260P

Площа даху ГЕС-1 – 4040м<sup>2</sup>

Розміри панелі.

Габарити: (Д×Ш×В): 1640\*992\*40 мм

Площа: 1,63м<sup>2</sup>

Площа СЕС з 2000 панелями

$$S = S_{\text{панелі}} \times n = 1,63 * 2000 = 3260 \text{ м}^2$$

Встановлена потужність

$$P = P_{\text{ном}} \times n = 260 * 2000 = 520000 \text{ Вт} = 520 \text{ кВт}$$

Реальна генерована потужність однієї панелі в день:

$$W = k \times P_{\text{ном}} \times E$$

$k$  – поправочні коефіцієнти для зими та літа

$P_{\text{ном}}$  – потужність панелі

$E$  – показник сонячної радіації для різних часів року  $\text{кВт/м}^2/\text{день}$

(Додаток А)

Літо:

$$W_{\text{літо}} = 0.5 \times 260 \times 5.74 = 746 \frac{\text{Вт}}{\text{год}} = 0,746 \frac{\text{кВт}}{\text{год}}$$

Зима:

$$W_{\text{зима}} = 0.7 \times 260 \times 0.86 = 156 \frac{\text{Вт}}{\text{год}} = 0.156 \frac{\text{кВт}}{\text{год}}$$

Весна:

$$W_{\text{весна}} = 0.6 \times 260 \times 4,24 = 661 \frac{\text{Вт}}{\text{год}} = 0.661 \frac{\text{кВт}}{\text{год}}$$

Осінь:

$$W_{\text{осінь}} = 0.6 \times 260 \times 4,24 = 393 \frac{\text{Вт}}{\text{год}} = 0.393 \frac{\text{кВт}}{\text{год}}$$

Денна генерація панелей влітку:

$$P_{\text{літо}} = W_{\text{літо}} \times n = 0,746 \times 2000 = 1492 \frac{\text{кВт}}{\text{год}}$$

Денна генерація всіх панелей взимку:

$$P_{\text{зима}} = W_{\text{зима}} \times n = 0,156 \times 2000 = 312 \frac{\text{кВт}}{\text{год}}$$

Денна генерація всіх панелей навесні:

$$P_{\text{весна}} = W_{\text{весна}} \times n = 0,661 \times 2000 = 1322 \frac{\text{кВт}}{\text{год}}$$

Денна генерація всіх панелей восени:

$$P_{\text{осінь}} = W_{\text{осінь}} \times n = 0,393 \times 2000 = 786 \frac{\text{кВт}}{\text{год}}$$

Площа даху ГЕС-2 – 6960м<sup>2</sup>

Встановлена потужність

$$P = P_{\text{ном}} \times n = 260 * 2500 = 650000 \text{ Вт} = 650 \text{ кВт}$$

Площа СЕС з 2500 панелями

$$S = S_{\text{панелі}} \times n = 1,63 * 2500 = 4075 \text{ м}^2$$

Денна генерація всіх панелей влітку:

$$P_{\text{літо}} = W_{\text{літо}} \times n = 0,746 \times 2500 = 1865 \frac{\text{кВт}}{\text{год}}$$

Денна генерація всіх панелей взимку:

$$P_{\text{зима}} = W_{\text{зима}} \times n = 0,156 \times 2500 = 390 \frac{\text{кВт}}{\text{год}}$$

Денна генерація всіх панелей навесні:

$$P_{\text{весна}} = W_{\text{весна}} \times n = 0,661 \times 2500 = 1652 \frac{\text{кВт}}{\text{год}}$$

Денна генерація всіх панелей восени:

$$P_{\text{осінь}} = W_{\text{осінь}} \times n = 0,393 \times 2500 = 982 \frac{\text{кВт}}{\text{год}}$$

Денна генерація влітку:  $3357 \frac{\text{кВт}}{\text{год}}$

Денна генерація взимку:  $702 \frac{\text{кВт}}{\text{год}}$

Денна генерація навесні:  $2974 \frac{\text{кВт}}{\text{год}}$

Денна генерація восени:  $1768 \frac{\text{кВт}}{\text{год}}$

Річна генерація електроенергії:  $792090 \frac{\text{кВт}}{\text{год}}$

## 2.4 Вибір інвертора

Інвертор для сонячних панелей – це тип електричного перетворювача, який перетворює вихідний постійний струм (DC) фотоелектричної сонячної панелі на змінний струм (AC) певної частоти та напруги. Це критично важливий елемент сонячної електростанції, який дозволяє звичайному обладнанню, що споживає змінний струм, працювати в поєднанні з сонячними панелями та/або акумуляторами на постійному струмі.

У роботі представлено[23] гібридний інвертор IDEALENERGY PWS1-500KTL-NA

Таблиця 2.5 – Технічні характеристики інвертора

Діапазон напруги акумулятора (В)	600~900
Макс. Вхідна напруга постійного струму (В)	600~900

Продовження таблиці 2.5

Номінальна вихідна потужність (кВА)	500
Макс. Вихідна потужність (кВА)	550
Номінальна вихідна напруга (В)	380 ( $\pm 10\%$ налаштовується)
Номінальна вихідна частота (Гц)	50-60
Номінальний вихідний струм (А)	760 (при перевантаженні 836А)
$\cos \varphi$	0,8~1
Діапазон робочих температур ( $^{\circ}\text{C}$ )	-20 – 50
Перевантажувальна здатність	105% ~ 115% 10 хв; 115% ~ 125% 1 хв; 125% ~ 150% 200ms

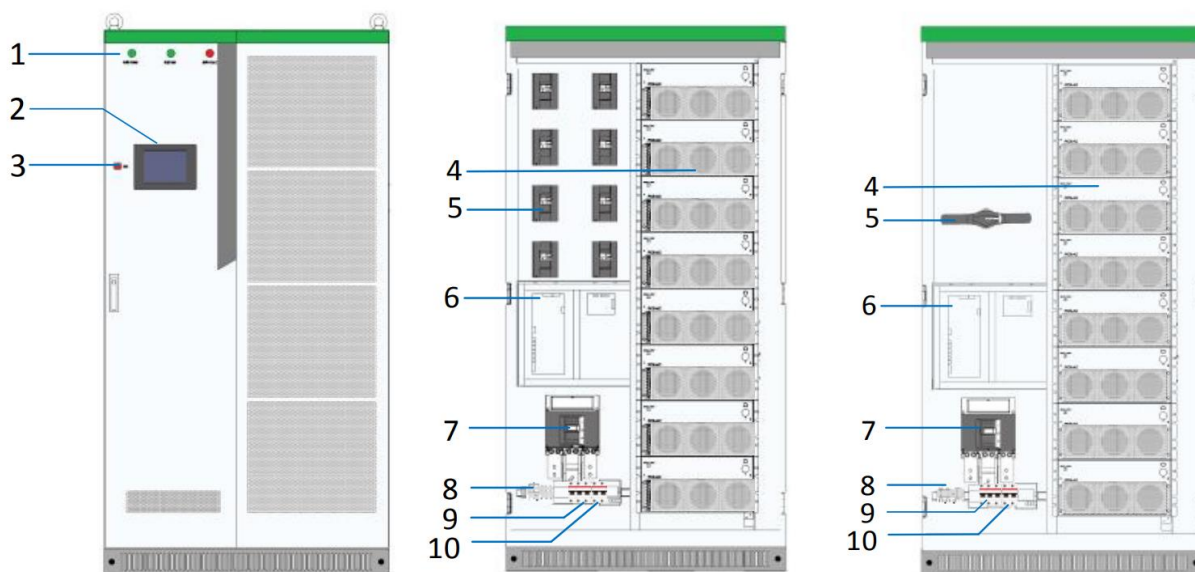


Рисунок 2.3 – Зображення гібридного інвертора IDEALENERGY PWS1-500KTL-NA

1. Індикаторні лампи 2. Сенсорний екран 3. ЕРО (аварійне вимикання)

4. PCS-AC (1~8 модулів) 62,5 кВт 1 комплект
5. Акумуляторний перемикач відгалуження постійного струму з 1 по 8 комплектів
6. Головна плата управління U2
7. Перемикач змінного струму
8. Термінал електропроводки
9. Перемикач SPD
10. Перемикач живлення AUX

Особливістю гібридного інвертора є можливість паралельної роботи з джерелом змінного струму — мережею чи генератором — у режимі інвертора. Гібридний інвертор може використовувати енергію від акумуляторів, що заряджаються від відновлюваного джерела енергії, одночасно з енергією від мережі/генератора, не відключаючись від мережі.

## 2.5 Вибір АКБ

Як буферний накопичувач енергії був обраний літій-залізо-фосфатний акумулятор через низку переваг:

- LiFePO<sub>4</sub> забезпечує більш тривалий термін служби, ніж інші літій-іонні аналоги приблизно 10 років.
- Мають дуже стабільну напругу розряду.
- LiFePO<sub>4</sub> акумулятори мають нижчу швидкість розряду, ніж свинцево-кислотні або літій-іонні.
- LiFePO<sub>4</sub> елементи повільніше втрачають ємність, ніж літій-іонні (LiCoO<sub>2</sub> [літій-кобальт оксидні], LiMn<sub>2</sub>O<sub>4</sub> [літій-марганцева шпинель])
- Морозостійкість.

Даний тип акумулятора активно застосовується як буферний накопичувач енергії в системах автономного електропостачання з використанням вітрогенераторів та сонячних батарей, а також у складській техніці.



У прикладі представлений [24] АКБ Merlion LiFePO<sub>4</sub> 51.2V 202Ah BMS 150A Strong

Таблиця 2.6 – Технічні характеристики АКБ

Напруга, В	51,2
Мін./Макс. Напруга, В	36,8/58,4
Макс. вихідний струм, А	150
Ємність, А·год	202
Макс. струм заряду, А	100
Ресурс, циклів	2000>
Діапазон робочих температур, °С	-20...+60



Рисунок 2.4 - Зображення АКБ Merlion LiFePO<sub>4</sub> 51.2V 202Ah BMS 150A Strong

## 2.6 Побудова блоку АКБ

Блок АКБ працюватиме як буферне джерело живлення, якщо в основній мережі відбудеться якийсь збій. Схема буде складатися з 60 АКБ, 15 послідовно з'єднані в 4 паралельні ряди.

Наведені нижче формула визначає взаємовідносини між струмом, який віддає батарея в навантаження, її ємністю і відносною швидкістю розряду:

$$C_{\text{розр}} = \frac{I_{\text{батр}}}{C_{\text{батр}}}$$

$C_{\text{розр}}$ , де:

$I_{\text{батр}}$  – струм в амперах, що віддається в навантаження однією батареєю,

$C_{\text{батр}}$  – номінальна ємність батареї в ампер-годинник (означає твір амперів на годинник), яка зазвичай маркується на батареї,

$C_{\text{розр}}$  – відносна швидкість розряду батареї, що визначається як розрядний струм, поділений на теоретичний струм, які батарея може віддавати протягом однієї години і при цьому буде повністю витрачено її ємність.

$$C_{\text{розр}} = \frac{150}{202} = 0,74$$

Час роботи  $t$  та відносна швидкість розряду батареї ( $C_{\text{розр}}$ ) пов'язані зворотною пропорційною залежністю:

$$t = \frac{1}{C_{\text{розр}}} = \frac{1}{0,74} = 1,35 \text{ год.} = 81 \text{ хв.}$$

Треба зазначити, що це теоретичний час роботи. У зв'язку з різноманітними зовнішніми факторами, реальний час роботи буде приблизно

на 30% менше за розрахований за цією формулою. Слід також врахувати, що допустима глибина розряду акумулятора ще більше обмежує час її роботи.

Номінальна енергія, що запасається в батареї, у ват-годинах:

$$E_{\text{батр}} = V_{\text{батр}} \times C_{\text{батр}}$$

$E_{\text{батр}}$ , де:

$E_{\text{бат}}$  — номінальна енергія, що запасається в батареї, у ват-годинах.

$$E_{\text{батр}} = 51,2 \times 202 = 10324 \text{ Вт/год} = 10,32 \text{ кВт/год}$$

Номінальна напруга блоку батарей у вольтах визначається за формулою:

$$V_{\text{блок}} = V_{\text{бат}} \times N_{\text{посл}}$$

$V_{\text{блок}}$ , де:

$V_{\text{бат}}$  — номінальна напруга батареї у вольтах,

$V_{\text{блок}}$  — номінальна напруга блоку батарей у вольтах

$N_{\text{посл}}$  — кількість батарей в одній із кількох груп послідовно з'єднаних батарей

$$51,2 \times 15 = 768 \text{ В}$$

Ємність блоку батарей в ампер-годинах,  $C_{\text{банк}}$  визначається за формулою:

$$C_{\text{блок}} = C_{\text{бат}} \times N_{\text{парл}}$$

$C_{\text{блок}}$ , де:

$C_{\text{блок}}$  – ємність блоку батарей

$C_{\text{бат}}$  – номінальна ємність батареї (А·год)

$N_{\text{парл}}$  – кількість груп з'єднаних послідовно батарей, з'єднаних паралельно

$$202 \times 4 = 808 \text{ А} \cdot \text{год}$$

Номінальна енергія у ват-годинах  $E_{\text{блок}}$ , що зберігається в блоці:

$$E_{\text{блок}} = E_{\text{батр}} \times N_{\text{посл}} \times N_{\text{парл}}$$

$$E_{\text{блок}} = 10,32 \times 15 \times 4 = 619,2 \text{ кВт/год}$$

Струм розряду блоку батарей  $I_{\text{блок}}$  :

$$I_{\text{блок}} = I_{\text{батр}} \times N_{\text{парл}}$$

$$I_{\text{блок}} = 150 \times 4 = 600 \text{ А}$$

Час роботи блоку батарей  $t_{\text{блок}}$  :

$$t_{\text{блок}} = t_{\text{батр}} \times N_{\text{парл}}$$

$$t_{\text{блок}} = 81 \times 4 = 324 \text{ хв.}$$

### 3. ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ЗАХОДІВ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМ ВП

Мета цієї роботи – дослідження впливу доступних параметрів для розвитку енергетичної системи, керуючи можливими рішеннями, заходами досягнення узгоджених цілей та розробляючи економічну моделі для кожної пропозиції. Для досягнення цієї мети може бути сформовано низку альтернативних рішень з різними характеристиками та показниками.

#### 3.1 Установка сонячних панелей без блоку АКБ

Установка сонячних панелей безпосередньо до інвертора без блоку АКБ дозволить суттєво спростити та здешевити проект.

Найбільшою перевагою цієї системи є надійність. На основі поточних витрат, максимальний обсяг системи має термін служби 20 років. Найбільшим недоліком цієї системи є вартість реалізації. Побудова системи такого розміру вимагає великих первісних (22,44 млн. грн) капітальних вкладень. Інвестиційні витрати включають покупку 4500 сонячних панелей(сумарною вартістю 16,2 млн. грн.), двох інверторів великої потужності (1,24 млн. грн.) та витрати на встановлення (5 млн. грн.).

Вартість електричної енергії – 3,22 грн/кВт·год

При розрахунку прибутку за продаж електроенергії варто враховувати деградацію елементів панелей, для полікристалічних панелей втрата потужності становить 0,64%/рік, і профілактичні роботи в період експлуатації. У інверторів представлених раніше термін роботи може досягати 10-15 років, і після закінчення цього терміну може бути необхідна їх заміна, і ці можливі витрати вписані в таблицю.

Рік	Витрати, тис. грн		Збереження, тис. грн	Потік коштів, тис. грн	Кумулятивний потік
	Обладнання	Техобслуговування	Продаж ел. енергії		
0	22440	0	0	-22440	-22440
1	0	100	2550,05	2450,05	-19989,9
2	0	100	2534,2	2434,2	-17555,7
3	0	100	2512	2412	-15143,7
4	0	100	2501,8	2401,8	-12741,9
5	0	100	2485,9	2385,9	-10356
6	0	100	2469,9	2369,9	-7986,1
7	0	100	2454,1	2354,1	-5632
8	0	100	2438,4	2338,4	-3293,6
9	0	100	2422,7	2322,7	-970,9
10	1240	100	2407	1067	96
11	0	100	2391,9	2291,9	2387,9
12	0	100	2376,6	2276,6	4664,5

Термін окупності = 9,1 року

Рік	Збереження, тис. грн	КД 5%	ДВ 5% тис. грн.	КД 10%	ДВ 10% тис. грн.
0	-22440,0	1	-17440,0	1	-17440,0
1	2450,1	0,952	2332,4	0,909	2227,1
2	2434,2	0,907	2207,8	0,826	2010,6
3	2412,0	0,864	2084,0	0,751	1811,4
4	2401,8	0,823	1976,7	0,683	1640,4
5	2385,9	0,784	1870,5	0,621	1481,6
6	2369,9	0,746	1767,9	0,564	1336,6
7	2354,1	0,711	1673,8	0,513	1207,7
8	2338,4	0,677	1583,1	0,467	1092,0
9	2322,7	0,645	1498,1	0,424	984,8
10	1067,0	0,614	655,1	0,386	411,9
		ЧВП	-1943,7	ЧПВ	-4632,5

В зв'язку з негативним значенням ЧПВ при відсоткових ставках дисконту 5 % та 10 % проводимо ще один розрахунок ДВ для зниженої ставки дисконту для того, щоб ЧПВ вийшла з позитивним знаком.

Рік	Збереження, тис. грн	КД 1%	ДВ 1% тис.грн.
0	-22440	1	-22440
1	2450,05	0,99	2425,5
2	2434,2	0,98	2385,5
3	2412	0,971	2342,0
4	2401,8	0,961	2308,1
5	2385,9	0,951	2268,9
6	2369,9	0,942	2232,4
7	2354,1	0,933	2196,3
8	2338,4	0,923	2158,3
9	2322,7	0,914	2122,9
10	1067	0,905	965,6
11	2291,9	0,896	2053,5
		ЧПВ	1019,5

Внутрішня норма прибутку складає (значення дисконтної ставки, при якій ЧДВ=0):

$$\text{ВНП} = \frac{1 - (1 - 5) \times 1019,5}{(-1019,5 - 1943,7)} = 1,37\%$$

### 3.2 Сонячні панелі з блоком АКБ

До раніше запропонованої СЕС можна додати блок АКБ, утворюючи буферне сховище енергії та можливість забезпечити життєво важливі системи електрикою на деякий час, однак це призведе до значного збільшення вартості проекту (60 АКБ – 6,6 млн. грн.). за глибини розряду від (15...25) % ресурс визначається не кількістю циклів, а умовами експлуатації. За нормальних умов: температура (20...30) °С, вологість не більше 60 % і відсутність вібрації, термін роботи батарей може досягати (15...20) років.

Рік	Витрати, тис. грн		Збереження, тис. грн	Поток коштів, тис. грн	Кумулятивний потік
	Обладання	Техобслуговування	Продаж Ел.енергії		
0	29040	0	0	-29040	-29040
1	0	100	2550,05	2450,05	-26589,95
2	0	100	2534,2	2434,2	-24155,75
3	0	100	2512	2412	-21743,75
4	0	100	2501,8	2401,8	-19341,95
5	0	100	2485,9	2385,9	-16956,05
6	0	100	2469,9	2369,9	-14586,15
7	0	100	2454,1	2354,1	-12232,05
8	0	100	2438,4	2338,4	-9893,65
9	0	100	2422,8	2322,8	-7570,85
10	1240	100	2407,3	1067,3	-6503,55
11	0	100	2391,2	2291,2	-4212,35
12	0	100	2376,6	2276,6	-1935,75
13	0	100	2361,4	2261,4	325,65

Термін окупності – 12,2 року

Рік	Збереження, тис. грн	КД 1%	ДВ 1% тис.грн.	КД 5%	ДВ 5% тис.грн.
0	-29040	1	-29040,0	1	-24040,0
1	2450,05	0,99	2425,5	0,952	2332,4
2	2434,2	0,98	2385,5	0,907	2207,8
3	2412	0,971	2342,1	0,864	2084,0
4	2401,8	0,961	2308,1	0,823	1976,7
5	2385,9	0,951	2269,0	0,784	1870,5
6	2369,9	0,942	2232,4	0,746	1767,9
7	2354,1	0,933	2196,4	0,711	1673,8
8	2338,4	0,923	2158,3	0,677	1583,1
9	2322,8	0,914	2123,0	0,645	1498,2
10	1067,3	0,905	965,9	0,614	655,3
11	2291,2	0,896	2052,9	0,585	1340,4
12	2276,6	0,887	2019,3	0,557	1268,1
13	2261,4	0,879	1987,8	0,53	1198,5
14	2231,1	0,87	1941,1	0,505	1126,7
		ЧПВ	367,4	ЧПВ	-1456,5



Внутрішня норма прибутку складає:

$$\text{ВНП} = \frac{1 - (1 - 5) \times 367,4}{(-367,4 + 1456,6)} = 1,35\%$$

Завжди потрібно враховувати, що сонячні панелі мають довгий термін окупності. але після цього буде практично стабільний дохід і за правильної експлуатації їх робота може досягати (25...30) років.

## ВИСНОВКИ

1. В кваліфікаційній роботі зроблено аналіз електроспоживання систем власних потреб ГЕС
2. Запропоновані рішення щодо підвищення ефективності систем власних потреб можуть дозволити підвищити автономність і цим надійність систем.
3. Зроблено вибір обладнання для подальшої установки на об'єкт.
4. В роботі запропоновано та розроблено ряд технічних заходів, які дозволять зробити систему більш автономною, що в свою чергу підвищить надійність використання обладнання ГЕС.
5. При складанні фінансової оцінки проекту було враховано найважливіші аспекти (закупівля компонентів, установка, техобслуговування). Вартість впровадження заходу в залежності від вибору проекту складає 1)22,44 млн. грн. та 2)29,04 млн. грн відповідно. Термін окупності – 1) 9,1 року 2) 12,2 року

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Обрезкова В.И. Гидроэнергетика: навч. посібник. Москва, Энергоиздат. 1981. 608 с.
2. Абрамов А. И., Иванов-Смоленский А. В. Проектирование гидрогенераторов и синхронных компенсаторов: 2-ге вид., перероблене та доповнене. Москва.: Высшая школа, 2009. 389 с.
3. Двоскин Л. И. Компоновки открытых распределительных устройств 330—500 кВ за рубежом и в нашей стране: навч. посібник. Москва – Ленинград. Госэнергоиздат, 1961. 88 с.
4. Б.Н. Неклепаев, И.П.Крючков Электрическая часть электростанций и подстанций: Довідкови матеріали для курсового та дипломного проектування. Москва, Энергоатомиздат. 1989. 608с.
5. В.И. Брызгалов, Л.А. Гордон, "Гидроэлектростанции": навчальний посібник. Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2002. 541 с.
6. Аршеневский Н.Н. и др. Гидроэлектрические станции: посібник для вузів. Москва.: Энергоатомиздат, 1987. 464 с.
7. ProTransformatory. Схемы подключения ТСН: веб-сайт. URL: <https://protransformatory.ru/podstancii/transformator-sobstvennyh-nuzhd#i-2>. (Дата зверенення 19.05.2022).
8. Алиев И. И. Электротехника и электрооборудование: посібник для вузів. Москва.: Высшая школа, 2002. 20с.
9. Рожкова Л.Д., Козулин В.С., Электрооборудования станций и подстанций: навч. посібник. Москва, Энергоатомиздат, 1987. 648 с.
10. Герасимова В.Г. Электротехника и электроника в 3-х кн. під ред. Кн.2. Электромагнитные устройства и электрические машины. Москва, Высшая школа. 2007 г. 272 с.

11. Андреев В.А. Релейная защита и автоматика систем электроснабжения: посібник. Высшая школа, 1991. 467 с.
12. Г.Н. Ополева Схемы и подстанции электроснабжения: довідникові матеріали. Москва, ФОРУМ-ИНФРА-М. 2006. 480 с.
13. Электрическая часть электростанций: Энергетика Оборудование Документация: веб-сайт. URL: <https://forca.ru/knigi/arhivyu/elektricheskayachast-elektrostantsiy.html> (дата звернення: 23.04.2022).
14. Кудрин Б.И. Электроснабжение промышленных предприятий: посібник для студентів вищих навчальних закладів: Інтернет Інжиниринг. 2006. 672 с.: ил.
15. Н.А.Ведешенков Электрические аппараты высокого напряжения: довідкові матеріали. Москва, Информэлектро. 2001. 120с.
16. Щавелева Д. С. Гидроэнергетические установки: методичний посібник. Ленинград, Энергоиздат, 1981. 520 с.
17. Германович В. Турилин А. Альтернативные источники энергии и энергосбережение. Практические конструкции по использованию энергии ветра, солнца, воды, земли, биомассы: навч. посібник. Санкт-Петербург, Наука и Техника. 2014. 319 с.
18. Справочник по электроснабжению и электрооборудованию: у 2 т./ Під заг. ред. А.А. Федорова. - М.: Энергоатомиздат, 1986. 592 с.
19. Електротехнічна продукція компанії Best Energy: Типи акумуляторних батарей: веб-сайт. URL: <https://best-energy.com.ua/support/battery/414-vidy-i-tipy-akkumulyatornykh-batarej-v-podrobnostyakh> (дата звернення 6.05.2022).
20. Жежеленко И. В., М.А.Короткевич Электромагнитная совместимость в электрических сетях: навчальний посібник. Минск: Высшая школа, 2012, 197 с.

21. PluseEnergy: Вибір генератора: веб-сайт. URL: <https://plusenergy.com.ua/p910138892-dizelnyj-generator-rid.html> (дата звернення 15.05.2022)
22. Системи енергозбереження: Вибір сонячних панелей: веб-сайт. URL: <https://energiya-prirody.prom.ua/p330994477-solnechnaya-panel-260vt.html> (дата звернення 17.05.2022)
23. PWS1-500KTL-NA: Вибір інвертора: веб-сайт: URL: [http://sinexcel.us/wiki/lib/exe/fetch.php?media=manual:module-based:pws1-500k:pws1-500ktl-na\\_user\\_s\\_manual\\_20171227.pdf](http://sinexcel.us/wiki/lib/exe/fetch.php?media=manual:module-based:pws1-500k:pws1-500ktl-na_user_s_manual_20171227.pdf) (дата звернення 21.05.2022)
24. Каталог АКБ: Вибір АКБ: веб-сайт. URL: [https://voltmarket.ua/litievye-akkumulyatory/merlion/lifepo4512v202ahbms150astrong?gclid=CjwKCAjw77WVBhBuEiwAJ-YoJDAfo\\_-7KfsyAUzWfqTWPq29ptZDruAsyThlnPE0lrwAb8YUED-gxoCkxgQAvD\\_BwE](https://voltmarket.ua/litievye-akkumulyatory/merlion/lifepo4512v202ahbms150astrong?gclid=CjwKCAjw77WVBhBuEiwAJ-YoJDAfo_-7KfsyAUzWfqTWPq29ptZDruAsyThlnPE0lrwAb8YUED-gxoCkxgQAvD_BwE) (дата звернення 26.05.2022)
25. Середній місячний рівень сонячної радіації у містах України: Сонячні енергетичні системи Атмосфера: веб-сайт. URL: <https://www.atmosfera.ua/ru/stati-geliosistemy/solar-insulation-ukraine/> (дата звернення 9.06.2022)
26. Звіти у сфері науки та техніки, структура та правила оформлення / В. Земцева та ін. ; за ред. Український інститут науково-технічної і економічної інформації. Київ, 2016. 31 с.
27. Коваленко О.І., Л.Р. Коваленко., Л.Ю. Осипова Методичні рекомендації до виконання та оформлення дипломних робіт (проектів) першого (бакалаврського) рівня вищої освіти: методичний посібник. Запоріжжя, 2017. 62 с.

## ДОДАТОК А[25]

## Коефіцієнт інсоляції

Міста/Місяці	Січень	Лютий	Березень	Квітень	Травень	Червень	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень	Листопад	Грудень
Вінниця	1,07	1,89	2,94	3,92	5,19	5,3	5,16	4,68	3,21	1,97	1,1	0,9
Дніпро	1,21	1,99	2,98	4,05	5,55	5,57	5,7	5,08	3,66	2,27	1,2	0,96
Донецьк	1,21	1,99	2,94	4,04	5,48	5,55	5,66	5,09	3,67	2,24	1,23	0,96
Житомир	1,01	1,82	2,87	3,88	5,16	5,19	5,04	4,66	3,06	1,87	1,04	0,83
Запоріжжя	1,21	2	2,91	4,2	5,62	5,72	5,88	5,18	3,87	2,44	1,25	0,95
Івано- Франківськ	1,19	1,93	2,84	3,68	4,54	4,75	4,76	4,4	3,06	2	1,2	0,94
Київ	1,07	1,87	2,95	3,96	5,25	5,22	5,25	4,67	3,12	1,94	1,02	0,86
Кропивницький	1,2	1,95	2,96	4,07	5,47	5,49	5,57	4,92	3,57	2,24	1,14	0,96
Луцьк	1,02	1,77	2,83	3,91	5,05	5,08	4,94	4,55	3,01	1,83	1,05	0,79
Луганськ	1,23	2,06	3,05	4,05	5,46	5,57	5,65	4,99	3,62	2,23	1,26	0,93
Львів	1,08	1,83	2,82	3,78	4,67	4,83	4,83	4,45	3	1,85	1,06	0,83
Миколаїв	1,25	2,1	3,07	4,38	5,65	5,85	6,03	5,34	3,93	2,52	1,36	1,04
Одеса	1,25	2,11	3,08	4,38	5,65	5,85	6,04	5,33	3,93	2,52	1,36	1,04
Полтава	1,18	1,96	3,05	4	5,4	5,44	5,51	4,87	3,42	2,11	1,15	0,91
Рівно	1,01	1,81	2,83	3,87	5,08	5,17	4,98	4,58	3,02	1,87	1,04	0,81
Суми	1,13	1,93	3,05	3,98	5,27	5,32	5,38	4,67	3,19	1,98	1,1	0,86
Тернопіль	1,09	1,86	2,85	3,85	4,84	5	4,93	4,51	3,08	1,91	1,09	0,85
Ужгород	1,13	1,91	3,01	4,03	5,01	5,31	5,25	4,82	3,33	2,02	1,19	0,88
Харків	1,19	2,02	3,05	3,92	5,38	5,46	5,56	4,88	3,49	2,1	1,19	0,9
Херсон	1,3	2,13	3,08	4,36	5,68	5,76	6	5,29	4	2,57	1,36	1,04
Хмельницький	1,09	1,86	2,87	3,85	5,08	5,21	5,04	4,58	3,14	1,98	1,1	0,83
Черкаси	1,15	1,91	2,94	3,99	5,44	5,46	5,54	4,87	3,4	2,13	1,09	0,91
Чернігів	0,99	1,8	2,92	3,96	5,17	5,19	5,12	4,54	3	1,86	0,98	0,75
Чернівці	1,19	1,93	2,84	3,96	4,54	4,75	4,76	4,4	3,06	2	1,2	0,94

## ДОДАТОК Б

## Коефіцієнт дисконтування

		Ставка дисконту %																			
1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
1	0,990	0,980	0,971	0,962	0,952	0,943	0,935	0,926	0,917	0,909	0,901	0,893	0,885	0,877	0,870	0,862	0,855	0,847	0,840	0,833	
2	0,980	0,961	0,943	0,925	0,907	0,890	0,873	0,857	0,842	0,826	0,812	0,797	0,783	0,769	0,756	0,743	0,731	0,718	0,706	0,694	
3	0,971	0,942	0,915	0,889	0,864	0,840	0,816	0,794	0,772	0,751	0,731	0,712	0,693	0,675	0,658	0,641	0,624	0,609	0,593	0,579	
4	0,961	0,924	0,888	0,855	0,823	0,792	0,763	0,735	0,708	0,683	0,659	0,636	0,613	0,592	0,572	0,552	0,534	0,516	0,499	0,482	
5	0,951	0,906	0,863	0,822	0,784	0,747	0,713	0,681	0,650	0,621	0,593	0,567	0,543	0,519	0,497	0,476	0,456	0,437	0,419	0,402	
6	0,942	0,888	0,837	0,790	0,746	0,705	0,666	0,630	0,596	0,564	0,535	0,507	0,480	0,456	0,432	0,410	0,390	0,370	0,352	0,335	
7	0,933	0,871	0,813	0,760	0,711	0,665	0,623	0,583	0,547	0,513	0,482	0,452	0,425	0,400	0,376	0,354	0,333	0,314	0,296	0,279	
8	0,923	0,853	0,789	0,731	0,677	0,627	0,582	0,540	0,502	0,467	0,434	0,404	0,376	0,351	0,327	0,305	0,285	0,266	0,249	0,233	
9	0,914	0,837	0,766	0,703	0,645	0,592	0,544	0,500	0,460	0,424	0,391	0,361	0,333	0,308	0,284	0,263	0,243	0,225	0,209	0,194	
10	0,905	0,820	0,744	0,676	0,614	0,558	0,508	0,463	0,422	0,386	0,352	0,322	0,295	0,270	0,247	0,227	0,208	0,191	0,176	0,162	
11	0,896	0,804	0,722	0,650	0,585	0,527	0,475	0,429	0,388	0,350	0,317	0,287	0,261	0,237	0,215	0,195	0,178	0,162	0,148	0,135	
12	0,887	0,788	0,701	0,625	0,557	0,497	0,444	0,397	0,356	0,319	0,286	0,257	0,231	0,208	0,187	0,168	0,152	0,137	0,124	0,112	
13	0,879	0,773	0,681	0,601	0,530	0,469	0,415	0,368	0,326	0,290	0,258	0,229	0,204	0,182	0,163	0,145	0,130	0,116	0,104	0,093	

## Продовження додатку Б

14	0,870	0,758	0,661	0,577	0,505	0,442	0,388	0,340	0,299	0,263	0,232	0,205	0,181	0,160	0,141	0,125	0,111	0,099	0,088	0,078
15	0,861	0,743	0,642	0,555	0,481	0,417	0,362	0,315	0,275	0,239	0,209	0,183	0,160	0,140	0,123	0,108	0,095	0,084	0,074	0,065
16	0,853	0,728	0,623	0,534	0,458	0,394	0,339	0,292	0,252	0,218	0,188	0,163	0,141	0,123	0,107	0,093	0,081	0,071	0,062	0,054
17	0,844	0,714	0,605	0,513	0,436	0,371	0,317	0,270	0,231	0,198	0,170	0,146	0,125	0,108	0,093	0,080	0,069	0,060	0,052	0,045
18	0,836	0,700	0,587	0,494	0,416	0,350	0,296	0,250	0,212	0,180	0,153	0,130	0,111	0,095	0,081	0,069	0,059	0,051	0,044	0,038
19	0,828	0,686	0,570	0,475	0,396	0,331	0,277	0,232	0,194	0,164	0,138	0,116	0,098	0,083	0,070	0,060	0,051	0,043	0,037	0,031
20	0,820	0,673	0,554	0,456	0,377	0,312	0,258	0,215	0,178	0,149	0,124	0,104	0,087	0,073	0,061	0,051	0,043	0,037	0,031	0,026



## ДОДАТОК В

Демонстраційні матеріали до захисту дипломної роботи

«Підвищення ефективності систем власних

потреб гідроелектроелектростанцій»



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Запорізький національний університет

Інженерний навчально-науковий інститут

ім. Ю.М. Потебні

Кафедра електротехніки та енергоефективності

Тема: «Підвищення ефективності  
систем власних потреб  
гідроелектростанцій»

Студент: Постнов О.В., гр. ЕТ-18-16д

Науч. кер. к.т.н. доц. Єрофєєва А.А.

Власні потреби визначаються потребою в електроенергії для приведення в дію систем та механізмів, необхідних для забезпечення нормальної експлуатації обладнання ГЕС

Споживачі власних потреб поділяються на такі групи:

- Перша категорія – перерва електропостачання споживачів допускається на час автоматичного відновлення живлення.
- Друга категорія – перерва електропостачання допускається на час включення черговим персоналом резервного джерела живлення.
- Третя категорія – перерва електропостачання допускається на час ремонту або заміни пошкодженого обладнання, але не більше 1 доби.

# Витрати електроенергії на власні потреби

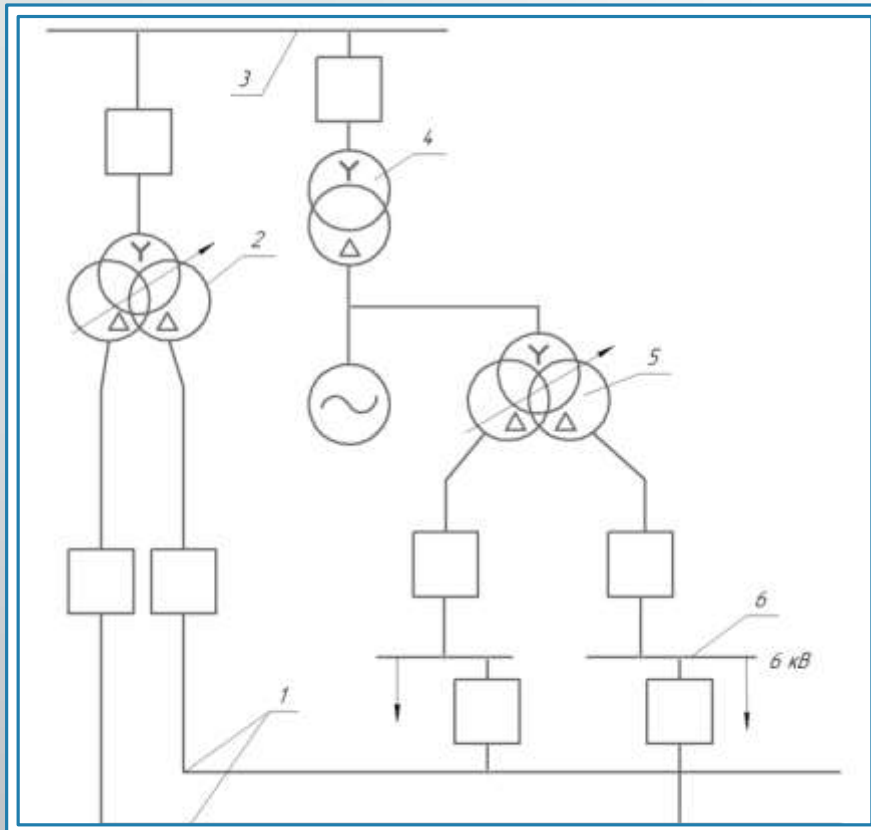
Порівняльна характеристика витрат електроенергії на ВП атомних, газотурбінних та гідравлічних електростанцій, %

Потужність, МВт	Електростанція		
	Атомна	Газотурбінна	Гідравлічна
До 200	-	0,6 - 1,7	0,5 - 2
Понад 200	5 - 7	-	0,2 - 0,4

Коефіцієнт попиту приймачів власних потреб

Найменування приймача	Коефіцієнт попиту
Освітлення ВРУ:	
при одному	0,5
при кількох	0,35
Освітлення приміщень	0,6-0,7
Охолодження трансформаторів	0,8-0,85
Компресори	0,4
Зарядно-підзарядні пристрої	0,12
Електропідігрів вимикачів та електроопалення	1

## Схема живлення системи ВП від генератора та енергосистеми



1 - магістралі резервного живлення;

2 - пускорезервний трансформатор ВП;

3 - розподільний пристрій вищої напруги станції;

4 - блок генератор-трансформатор;

5 - робочий трансформатор;

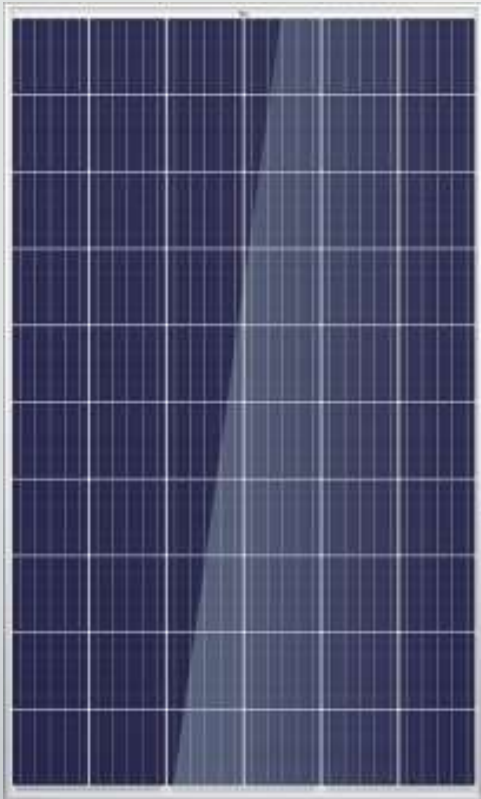
6 - розподільний пристрій власних потреб.

## Дизельний генератор RID 1500 E-SERIES S

Тип генератора	Синхронний
Кіл-ть фаз	3
Режим роботи	Безперервний
V, В	380
P <sub>ном</sub> , кВт	1200
P <sub>макс</sub> , кВт	1320
cosφ	0.8
f	50 Гц
P <sub>повн</sub> , кВА	1650
Строк служби	20 років
V <sub>бака</sub>	1500 л
Споживання палива, q	163 л/ч



# Сонячна панель Altek ASP-260P



Тип кремнію	Полікристал
Клас фотомодуля	A
Макс. Потужність (Вт)	260
Напруга при макс. потуж. (В)	30,6
Струм при макс. потуж. (А)	8,5
Струм к.з. (А)	9,04
Напруга х.х. (В)	37,8
Рама	Анодований алюміній
Розміри, (мм)	1650x992x40
Вага, (кг)	18

# Інвертор IDEALENERGY PWS1-500KTL-NA

7



Діапазон напруги акумулятора (В)	600~900
Макс. вхідна напруга постійного струму (В)	600~900
Номінальна вихідна потужність (кВА)	500
Макс. вихідна потужність (кВА)	550
Номінальна вихідна напруга (В)	380 (± 10% налаштовується)
Номінальна вихідна частота (Гц)	50-60
Номінальний вихідний струм (А)	760 (при перевантаженні 836А)
cos φ	0,8~1
Діапазон робочих температур (°С)	-20 – 50
Перевантажувальна здатність	105% ~ 115% 10 хв; 115% ~ 125% 1 хв; 125% ~ 150% 200ms



# АКБ Merlion LiFePO<sub>4</sub> 51.2V 202Ah BMS 150A Strong

Напряга, В	51,2
Мін./Макс. Напряга, В	36,8/58,4
Макс. вихідний струм, А	150
Емність, А·год	202
Макс. струм заряду, А	100
Ресурс, циклів	2000>
Діапазон робочих температур, °С	-20...+60



# Техніко-економічні розрахунки

## Установка сонячних панелей без блоку АКБ

Рік	Витрати, тис. грн		Збереження, тис. грн	Потік коштів, тис. грн	Кумулятивний потік
	Обладнання	Техобслуговування			
0	22440	0	0	-22440	-22440
1	0	100	2550,05	2450,05	-19989,9
2	0	100	2534,2	2434,2	-17555,7
3	0	100	2512	2412	-15143,7
4	0	100	2501,8	2401,8	-12741,9
5	0	100	2485,9	2385,9	-10356
6	0	100	2469,9	2369,9	-7986,1
7	0	100	2454,1	2354,1	-5632
8	0	100	2438,4	2338,4	-3293,6
9	0	100	2422,7	2322,7	-970,9
10	1240	100	2407	1067	96
11	0	100	2391,9	2291,9	2387,9
12	0	100	2376,6	2276,6	4664,5

Термін окупності – 9.1 року

## Сонячні панелі з блоком АКБ

Рік	Витрати, тис. грн		Збереження, тис. грн	Потік коштів, тис. грн	Кумулятивний потік
	Обладнання	Техобслуговування			
0	29040	0	0	-29040	-29040
1	0	100	2550,05	2450,05	-26589,95
2	0	100	2534,2	2434,2	-24155,75
3	0	100	2512	2412	-21743,75
4	0	100	2501,8	2401,8	-19341,95
5	0	100	2485,9	2385,9	-16956,05
6	0	100	2469,9	2369,9	-14586,15
7	0	100	2454,1	2354,1	-12232,05
8	0	100	2438,4	2338,4	-9893,65
9	0	100	2422,8	2322,8	-7570,85
10	1240	100	2407,3	1067,3	-6503,55
11	0	100	2391,2	2291,2	-4212,35
12	0	100	2376,6	2276,6	-1935,75
13	0	100	2361,4	2261,4	325,65

Термін окупності – 12.2 року

1. В кваліфікаційній роботі зроблено аналіз електроспоживання систем власних потреб ГЕС.
2. В роботі розроблено ряд технічних заходів, які дозволять зробити систему більш автономною, що в свою чергу підвищить надійність використання обладнання ГЕС.
3. Зроблено вибір обладнання (Дизельний генератор RID 1500 E-SERIES S, Сонячна панель Altek ASP-260P, Інвертор IDEALENERGY PWS1-500KTL-NA, АКБ Merlion LiFePO<sub>4</sub> 51.2V 202Ah BMS 150A Strong) для подальшої установки на об'єкт.
4. При складанні фінансової оцінки проекту було враховано найважливіші аспекти (закупівля компонентів, установка, техобслуговування). Вартість впровадження заходу в залежності від вибору проекту складає 1)22,44 млн. грн. та 2)29,04 млн. грн відповідно. Термін окупності – 1) 9,1 року 2) 12,2 року