

Міністерство освіти і науки України  
Сумський державний університет  
Факультет електроніки та інформаційних технологій  
Кафедра електроенергетики

Робота допущена до захисту

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ І. Л. Лебединський

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2021 р.

## МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

на тему: «Аналіз та моделювання режимів роботи гідроелектростанції»

Спеціальність: 141– Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Виконав: студент гр. ЕТ.м-01 \_\_\_\_\_ А.О. Данильченко

Керівник: к.т.н., доцент \_\_\_\_\_ П. О. Василега

Консультанти:

з економічної частини: к.е.н., доцент \_\_\_\_\_ О. М. Маценко

Нормоконтроль: \_\_\_\_\_ М. А. Никифоров

Сумський державний університет  
Факультет електроніки та інформаційних технологій  
Кафедра електроенергетики

Спеціальність: 141– Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри електроенергетики

\_\_\_\_\_ І.Л. Лебединський  
“ \_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2021 р.

**ЗАВДАННЯ**

**на магістерську роботу**

Данильченко Артема Олександровича

1. Тема роботи: «Аналіз та моделювання режимів роботи гідроелектростанції»

Затверджено наказом по університету № \_\_\_\_\_ від \_\_\_\_\_

2. Термін здачі студентом закінченої роботи: 14.12.2021 р.

3. Вихідні дані до роботи: гідрологічні дані річки вимірянних та розрахованих відносно геологічного положення станції, інженерно-геологічні дані греблі, параметри електричних елементів.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які необхідно вирішити):

Вступ.

1. Розрахункова частина.
2. Науково-дослідна частина.
3. Економічна частина.
4. Охорона праці.

Висновки

Список використаної літератури

5. Перелік графічного матеріалу

- Креслення гідрогенератора;
- Креслення головного трансформатора;
- Головна електрична схема станції;

6. Консультанти:

Розділ	Керівник	Завдання видав	Завдання прийняв
Розрахунок економічної частини	Маценко О.М.		

7. Дата видачі завдання 25.09.2020

Керівник проекту: \_\_\_\_\_ П. О. Васи́лега  
(підпис)

Завдання прийняв: \_\_\_\_\_ А.О. Данильченко  
(підпис)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	Розрахункова частина	26.02.21 по 10.04.21	
2.	Науково-дослідна частина	11.04.21 по 30.07.21	
3.	Економічна частина	01.09.21 по 30.10.21	
4.	Охорона праці	01.11.21 по 07.12.21	

Магістрант: \_\_\_\_\_ А.О. Данильченко  
(підпис)

Керівник роботи:

к.т.н., доцент \_\_\_\_\_ П.О. Васи́лега  
(підпис)

## РЕФЕРАТ

63 сторінок, 19 рисунків, 15 таблиць, 26 формул, 3 додаток, 16 джерел, 1 мультимедійна презентація.

**Бібліографічний опис:** Данильченко А.О. Аналіз та моделювання режимів роботи гідроелектростанції [Текст]: робота на здобуття кваліфікаційного ступеня магістра; спеціальність 141 – електроенергетика, електротехніка та електромеханіка/А.О. Данильченко; керівник П.О. Василега. – Суми: СумДУ, 2021. – 63 с.

**Ключові слова:** гідроенергетика, мала ГЕС, міні ГЕС, RETScreen4, гідротурбіна, гідрогенератор, струм короткого замикання, електричне обладнання, релейний захист.

гидроэнергетика, малая ГЭС, мини ГЭС, RETScreen4, гидротурбина, гидрогенератор, ток короткого замыкания, электрическое оборудование, релейная защита.

hydropower, small HPP, mini HPP, RETScreen4, hydroturbine, hydrogenerator, short circuit current, electrical equipment, relay protection.

**Короткий огляд:** У роботі був проведений аналіз основних режимів роботи малої гідроелектростанції на Куземенській греблі (р. Ворскла). Розраховано потужність яку може видавати гідротурбіна відносно вихідних даних річки за допомогою програми RETScreen4. В розрахунковій частині проведений розрахунок та вибір електричного обладнання та систем захисту. Проведено моделювання поведінки рідини в гідротурбіні для забезпечення її максимальної ефективності. Проаналізовано режим роботи гідроелектростанції, економічну доцільність проекту та обрано кадровий персонал.

## Перелік умовних позначень

ПУЕ – правила улаштування електроустановок

ГЕС – гідроелектростанція

мГЕС – мала гідроелектростанція

ДЖ – джерело живлення

ККД – коефіцієнт корисної дії

НН – низька напруга

ВН – висока напруга

ПС – підстанція

РПН – регулювання напруги під навантаження

ТП – трансформаторна підстанція

КЗ – коротке замикання

ГОСТ – державний стандарт

РП – розподільний пристрій

ТН – трансформатор напруги

ТС – трансформатор струму

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП</b> .....	7
<b>1 РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА</b> .....	9
1.1 Аналіз вихідних даних та визначення факторів функціонування мГЕС.....	9
1.2 Обладнання малих ГЕС, класифікація та характеристика гідротурбін.....	10
1.3 Вибір та розрахунок гідротурбіни.....	12
1.4 Вибір гідрогенератора.....	14
1.5 Вибір структурної схеми ГЕС.....	15
1.6 Вибір головного підвищувального трансформатора.....	16
1.7 Розрахунок струмів трифазного короткого замикання.....	17
1.8 Вибір вимикача та роз'єднувача низької напруги.....	21
1.9 Вибір трансформатора струму та напруги на генераторній напрузі.....	22
1.10 Вибір вимикача та роз'єднувача на високій напрузі.....	23
1.11 Вибір трансформатора струму та напруги на високій напрузі.....	24
1.12 Диференційний захист.....	25
1.13 Захист зворотної послідовності від несиметричних перенавантажень.....	27
1.14 Захист від симетричних перенавантажень.....	30
<b>2 НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА</b> .....	32
2.1 Моделювання руху рідини в поворотно-лопатевому елементі турбіни.....	32
2.2 Аналіз роботи гідротурбіни Каплана при зміні кута нахилу лопаті.....	33
2.3 Аналіз режиму роботи гідроелектростанції.....	38
<b>3 ОХОРОНА ПРАЦІ</b> .....	40
3.1 Організація охорони праці.....	40
3.2 Вимоги щодо охорони праці під час проектування.....	42
3.3 Обов'язки працівника щодо дотримання вимог з охорони праці.....	44
<b>4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА</b> .....	52
4.1 Термін окупності мГЕС.....	52
4.2 Вибір персоналу мГЕС.....	52
<b>ВИСНОВКИ</b> .....	57
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ</b> .....	59
Додаток А – Креслення гідрогенератора.....	61
Додаток Б – Креслення головного трансформатора.....	62
Додаток В – Головна електрична схема станції.....	63

					<b>МР 3.8.141.283 ПЗ</b>			
<i>Ізм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дат</i>	<b>Аналіз та моделювання режимів роботи гідроелектростанції</b>	<i>Арк</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Розробив</i>	<i>Данильченко А. О.</i>						6	63
<i>Перевірив</i>	<i>Василега П. О.</i>					<b>СумДУ ЕТ.м-01</b>		
<i>Реценз.</i>								
<i>Н. Контр.</i>	<i>Никифоров М. А.</i>							
<i>Затверд.</i>	<i>Лебединський І Л</i>							

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Нетрадиційні та відновлювальні джерела енергії стали останнім часом одним із важливих критеріїв сталого розвитку світової спільноти. Здійснюється пошук нових і вдосконалення існуючих технологій, виведення їх до економічно ефективного рівня та розширення сфер використання. Головними причинами такої уваги є очікуване вичерпання запасів органічних видів палива, різке зростання їх ціни, недосконалість та низька ефективність технологій їхнього використання, шкідливий вплив на довкілля, наслідки якого все більше турбують світову спільноту.

За останні роки Україна пізнала дуже велику енергетичну кризу, що в свою чергу збільшило інтерес до відновлювальних джерел енергії. Одним з найперспективніших серед відновлюваних джерел енергії у світі, загалом, та Україні, зокрема, сьогодні вважається мала гідроенергетика. Мала гідроенергетика дозволяє використати значний гідроенергетичний потенціал середніх та малих річок, а в багатьох випадках забезпечити локальне електропостачання віддалених районів або населених пунктів. Малі гідроелектростанції мають невеликі капіталовкладення та досить швидкий термін окупності.

Сумська область також має значний потенціал енергетичного використання водних ресурсів малих річок, але він реалізований лише не в значній мірі: на території регіону наявні чотири малі гідроелектростанції (мГЕС) та існує достатня кількість гідроспоруд, які можливо використати у малій гідроенергетиці. Зазначені положення обумовлюють вибір мети роботи.

**Метою кваліфікаційної роботи** є проведення аналізу основних режимів роботи малої гідроелектростанції та встановлення доцільності її використання.

Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дат	МР 3.8.141.283 ПЗ			
Розробив		Данильченко А. О.			Вступ	Арк	Аркуш	Аркушів
Перевірів.		Василега П. О.					7	63
Реценз.						СумДУ ЕТ.м-01		
Н. Контр.		Никифоров М. А.						
Затверд.		Лебединський І Л						

Для реалізації мети необхідно виконати наступні **завдання**:

- проаналізувати критерії, які враховуються при будівництві міні ГЕС;
- визначити гідротурбіну та гідрогенератор, розрахувати вихідну потужність станції;
- визначити головну схему міні ГЕС, та основні електричні апарати;
- визначити режим роботи ГЕС;
- розрахувати економічну доцільність.

**Об'єкт дослідження:** мала гідроелектростанція, а саме міні ГЕС на Куземенській греблі (р. Ворскла).

**Предмет дослідження:** особливості проектування малої гідроелектростанції.

**Практичне значення.** Роботи має практичне значення при створенні систем електропостачання промислових або сільськогосподарських об'єктів, що розташовані поблизу невеликих водоймищ або річок. Результати, отримані у даній роботі, допоможуть визначити доцільність встановлення малої гідроелектростанції, а також можуть бути використані для підвищення енергетичної ефективності нових та реконструкцію існуючих міні ГЕС.

					MP 3.8.141.283 ПЗ	Арк.
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		8



# РОЗДІЛ 1

## РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

### 1.1. Аналіз вихідних даних та визначення факторів функціонування мГЕС

Ворскла – ліва притока Дніпра, бере початок поблизу села Покровки (Белгородська обл.), впадає у Кам’янське водосховище на Дніпрі (в межах Полтавської обл.). Загальна довжина річки – 464 км, у межах Сумської області – близько 122 км, площа басейну – 14700 км<sup>2</sup>, у межах регіону 2970 км<sup>2</sup> це 12,4% території регіону. Долина річки трапецієподібна, завширшки 10 - 12 км, правий берег високий і крутий, лівий – пологий терасований. Середній похил русла 0,17 м/км, ширина русла у середньому 12-45 м. Живлення переважно снігове, але є частка дощового та підземного живлення [1, 2].

Для вибору місця розташування міні ГЕС в першу чергу звертають увагу на декілька критерій: коефіцієнт використання потужності, задоволення попиту, відстань до споживача, розміри електростанції, площа затоплюваних земель, вартість проекту. Гідроспоруда повинна мати задовільну ефективність агрегатів які забезпечать статичний графік вироблення електроенергії, близькість до об’єктів інфраструктури, бо через не велику потужність не доцільно передавати електроенергію на великі відстані, задовільний рельєф для побудови споруди, мінімальний екологічний вплив для навколишнього середовища. Також повинна повністю розписана економічна доцільність проекту, де вказано всі можливі витрати та його окупність.

На основі аналізу критерії, гідрологічних показників річок Сумської області, встановлено, що для проектування і будівництва міні ГЕС якнайкраще підходить р. Ворскла, а саме Куземенська гребля (поблизу с. Куземен). Місце відібрано ще і тому, що існуюча гребля значно спростить конструювання ГЕС,

					МР 3.8.141.283 ПЗ					
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дат	Розрахункова частина					
Розробив	Данильченко А. О.							Арк	Аркуш	Аркушів
Перевірив	Василега П. О.								9	63
Реценз.								СумДУ ЕТ.м-01		
Н. Контр.	Никифоров М. А.									
Затверд.	Лебединський І Л									

та дасть більш чітке уявлення про можливості річки та станції в цілому.

Розрахунковий потік – приймається рівним середній багаторічній витраті річки Ворсклі  $Q = 16 \text{ м}^3/\text{с}$  (Куземенська гребля). Згідно довідника [1] максимальні показники витрати становлять  $250 \text{ м}^3/\text{с}$ , мінімальні –  $3,1 \text{ м}^3/\text{с}$ , а середній багаторічний стік фіксується  $599 \text{ млн. м}^3$  за рік. До 60% стоку припадає на весну за рахунок танення снігу. Річку Ворсклу за гідрологічним режимом відносять до річок східноєвропейського типу, з високим водопіллям та низькою літньо-осінньою та зимовою меженню.

Куземинська гребля була створена у 80-х роках минулого століття та привела до утворення руслового водосховища із площею водного дзеркала 85 га, об'ємом води 2240 тис.  $\text{м}^3$ , пропускною спроможністю споруди при рівнях 1% забезпеченості  $420 \text{ м}^3/\text{с}$ , має 4 затворні клапани по 10 м кожен та напір води при нормальному підпірному рівні (НПР) 3 м. Гідроспоруда впливає як на нижче, так і на вище розташовані ділянки русла. Вищерозташована ділянка перетворилася на руслове водосховище, а нижня – отримує менше води.

## **1.2. Обладнання малих ГЕС, класифікація та характеристика гідротурбін**

Складові елементи об'єктів малої гідроенергетики включають турбіни, генераторні установки, будівлю електростанції, турбінний водовід, водоприймальну/водозабірну споруду, системи контролю та регулювання і відвідний канал.

Загалом МГЕС складаються з наступних основних компонентів:

- відвідний канал або трубопровід, напірний трубопровід;
- турбіна або водяне колесо – перетворює енергію води в енергію обертання;
- генератор - перетворює енергію обертання в електричну;
- регулятор - управляє генератором;

					МР 3.8.141.283 ПЗ	Арк.
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		10

- електротрансформаторний блок, який підводить електроенергію до споживача.

До складу всіх гідроенергетичних об'єктів входять турбіни, які перетворюють кінетичну (потенційну) енергію потоку води в механічну енергію обертання ротору турбіни. За принципом дії гідротурбіни розділяються на два основних типи: активні і реактивні, причому кожен тип має турбіни різної конструкції. Застосування різних турбін обумовлено напором води та витратою [3]. За конструкцією розрізняють турбіни:

- ковшового (Пельтон);
- радіально-осьового (Френсіс);
- поворотно-лопатевого (Каплан);
- похило-струменевого (Тюрго);
- пропелерні (Томсон);
- дворазові (Банки).

Турбіни застосовують залежно від напору води, що використовується малою ГЕС. Так, турбіни ковшового і радіально-осьового типу розроблені і застосовуються для високонапірних ГЕС. Турбіни з поворотно-лопатевою і радіально-осьовими пристроями, застосовують на середьонапірних ГЕС. На низьконапірних станціях малої потужності встановлюють турбіни поворотно-лопатевого типу. При виборі типу гідротурбін керуються діаграмою, наведеною на рис. 1.1.



Рисунок 1.1 – Графік застосування турбін [4]

					МР 3.8.141.283 ПЗ	Арк.
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		11

Електрогенератор з'єднаний з турбіною, яка приводить його в дію. Турбіна повертає вал зі встановленим на ньому рядом магнітів повз мідні пластини і генератор. Електроенергія виробляється при обертанні ротору в стаціонарній обмотці. Гідрогенератори (так само, як і інші види генераторів) підбираються відповідно до розміру і потужності турбін, які приводять їх в дію.

### 1.3. Вибір та розрахунок гідротурбіни

Для вибору типу гідротурбіни використовуються дані безпосередньо виміряні на греблі. Потрібні показники:  $Q = 16 \text{ м}^3/\text{с}$  – середня багаторічна витрата води,  $H = 3 \text{ м}$  – напір води [1]. За допомогою таблиці 1.3, вибрано гідротурбіну Каплана. Для аналізу характеристик агрегату використаємо програмне забезпечення RETScreen [5].

Задаємо дані для самої гідротурбіни:

1. Розрахунковий потік – приймається рівним середній багаторічній витраті, тобто  $Q = 16 \text{ м}^3/\text{с}$ .
2. Тип турбіни – турбіна Каплана.
3. ККД турбіни – залишаємо стандартним, у цьому випадку програма розрахує його максимально згідно наших параметрів. При цьому кут нахилу лопаток буде вибраний автоматично, який забезпечить оптимальний кут атаки.
4. Кількість турбін – обираємо 2 турбіни, далі в залежності від результату можемо змінити цей показник.
5. Розрахунковий коефіцієнт – цей коефіцієнт регулює ефективність роботи турбіни для врахування різних методів виробництва. Коефіцієнт є безрозмірним чинником, який використовується у формулах для розрахунку оціночної максимальної ефективності турбіни, його можна вибрати з табл. 1.1.

					MP 3.8.141.283 ПЗ	Арк.
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		12

Таблиця 1.1 – Коефіцієнт виготовлення/проектування турбіни [5]

Матеріали та метод виготовлення турбіни	Розрахунковий коефіцієнт
Литий або відновлений ротор з вуглецевої сталі.	2,8
Литий ротор з вуглецевої сталі та нержавіючої накладкою у критичних областях.	3,8
Литий або відновлений ротор з нержавіючої сталі, лопатки якого зігнуті до бажаного профілю в пресі (за замовчуванням).	4,5
Литий або відновлений ротор з нержавіючої сталі, розробленим з використанням ПЗ динаміки обчислювальної рідини (CFD), лопатки якого зігнуті в пресі.	5
Литий або відновлений ротор з нержавіючої сталі, розробленим з використанням ПЗ CFD, лопатки якого литі, зігнуті в пресі та пройшли фрезерування.	5,6
Виготовлений на замовлення ротор з нержавіючої сталі, розробленим з використанням ПЗ CFD, лопатки якого литі, зігнуті в пресі та пройшли фрезерування.	6,1

6. Корегування ККД – у нашому випадку приймаємо 0%. Всі попередні дані вносимо до програми (рис. 1.2).

Гідротурбіна - Рівень 2

**Оцінка ресурсів**

Запропонований проект: Руслова

Гідрологічний метод: Заданий користувачем

Загальний напор: м

Максимальний рівень води в нижньому б'єфі: м

Залишкова витрата: м<sup>3</sup>/с

% часу, коли є стійкий стік: %

Стійкий потік: м<sup>3</sup>/с

**Гідротурбіна**

Розрахунковий потік: м<sup>3</sup>/с

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

ККД турбіни при розрахунковому стоці: 78%

**Втрати**

Максимальні гідравлічні втрати: %

Інші втрати: %

ККД генератора: %

Можливість використання: %

**Резюме**

Електрична потужність: кВт

300

Стійкий

Рисунок 1.2 – Результати розрахунків програми RETScreen.

Показники в полі «втрати», представлені на рис. 1.2, підібрані під середні показники синхронних генераторів. Також програма розраховує ККД турбіни відносно номінальних витрат води, що дає змогу проаналізувати її роботу (рис. 1.3).

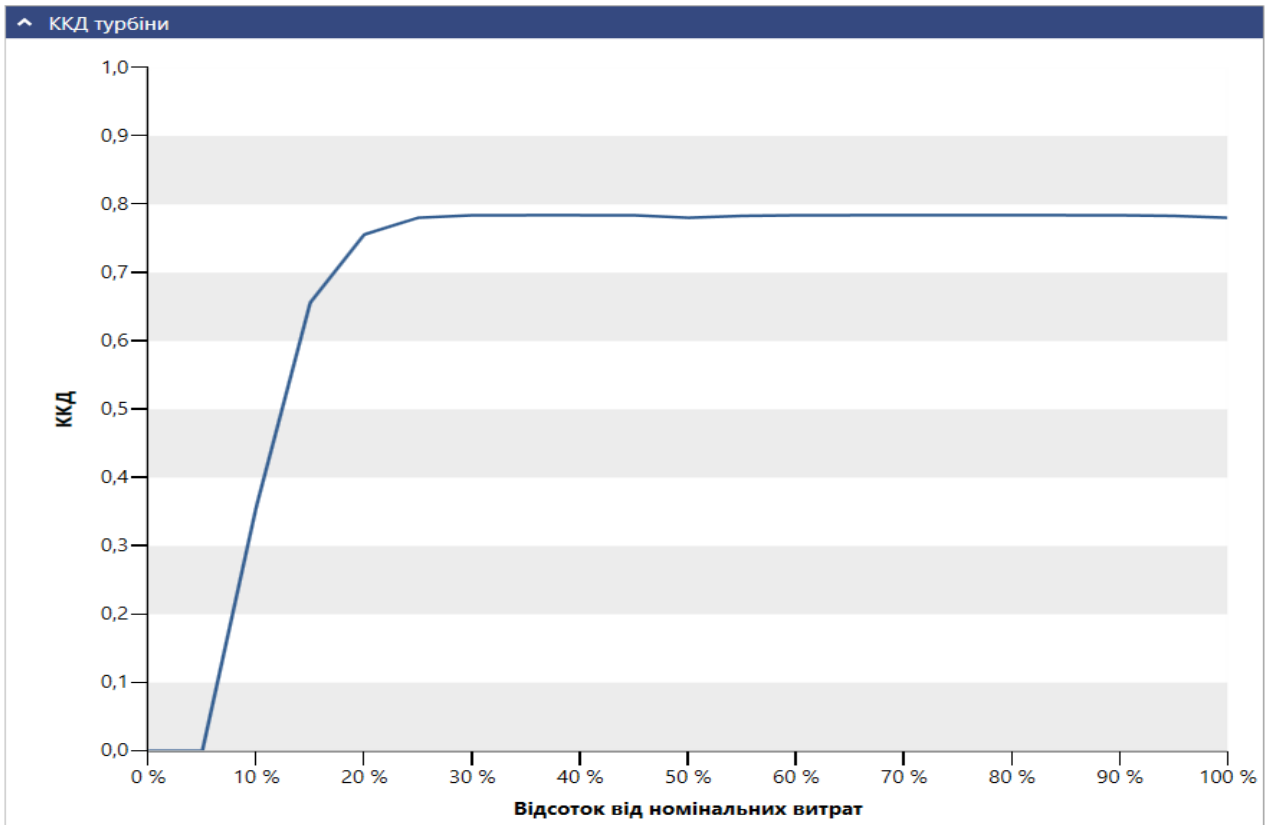


Рисунок 1.3 – ККД турбіни

#### 1.4. Вибір гідрогенератора

Гідрогенератор підбирається за довідковими даними серійних типів по розрахунковим значенням його номінальної потужності і синхронної частоти обертання. По каталогу НП ЗАО «Електромаш» [6] вибираємо тип генератора СГИ–БК 150/14 УЗ [Додаток А]. Параметри гідрогенератора зображені в табл. 1.2.

Таблиця 1.2 – Параметри гідрогенератора СГИ–БК 150/14 УЗ

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%

У результаті проектування та розрахунків міні ГЕС на Куземенській греблі (р. Ворскла) встановлено, що при використанні гідротурбіни Каплана синхронно працюючої з гідрогенератором СГИ–БК 150/14 УЗ можемо отримувати 300 кВт чистої електроенергії.

### 1.5. Вибір структурної схеми ГЕС

Головна електрична схема повинна забезпечувати видачу потужності в різних експлуатаційних режимах і відповідати вимогам необхідної надійності, маневреності, зручностей та безпеки експлуатації, а також умовами оптимізації витрат на обладнання та його експлуатацію. Рівень цих вимог в сучасних умовах підвищено у зв'язку з високою роллю і відповідальністю гідроелектростанцій в забезпеченні безпеки електропостачання споживачів і надійності функціонування енергосистем, в тому числі, в періоди виникнення та ліквідації аварійних ситуацій.

На рис. 1.4 показані види генераторних блоків, їх вибирають в залежності від надійності системи, кількості агрегатів та їх потужності, обслуговуваної апаратури.

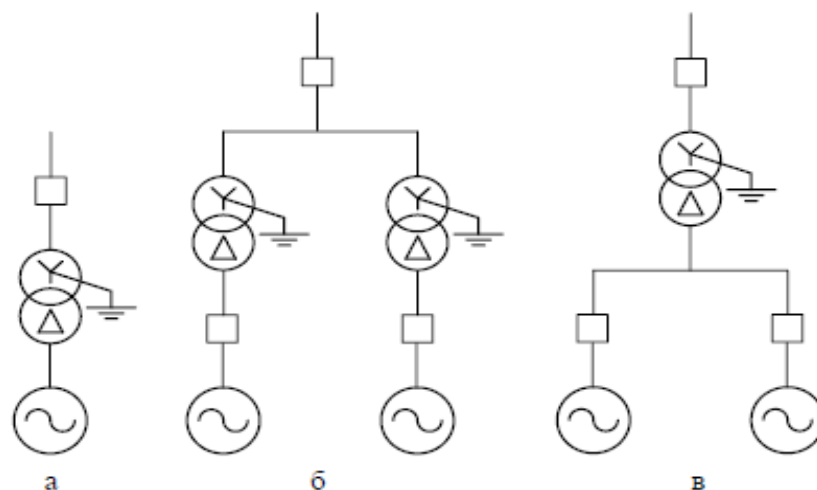
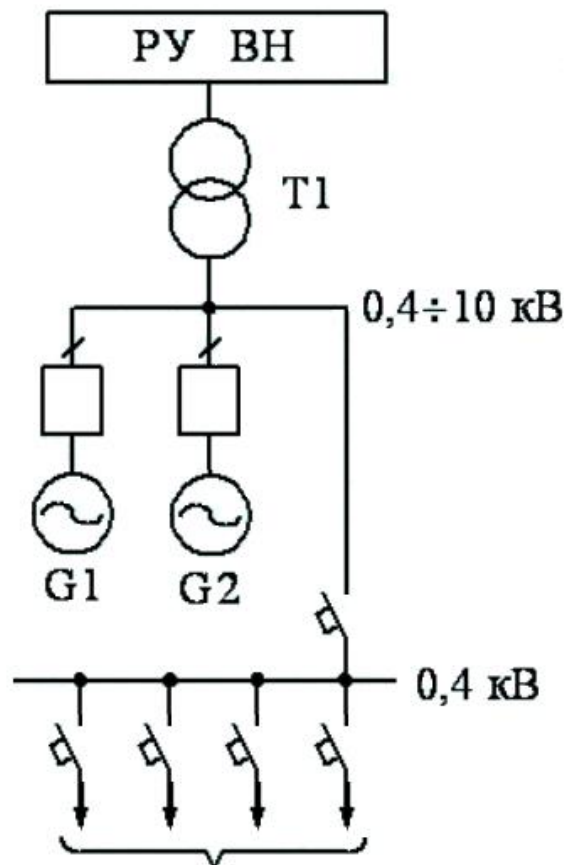


Рисунок 1.4 – Види генераторних блоків

а – простий блок; б – укріплений блок з трансформатором на кожний генератор;  
в – укріплений блок с одним трансформатором на два генератори.

					МР 3.8.141.283 ПЗ	Арк.
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		15

Через невелику потужність агрегатів та їх кількість більш доцільніше вибрати укріплений блок с одним трансформатором на два генератори, ця схема є легкою для реалізації та обслуговування але має один головний недолік – при виході з ладу одного з важливих елементів станція припиняє вироблення енергії. Повна принципова електрична схема представлена на рис. 1.5.



агрегатні та загальностанційні приймачі

Рисунок 1.5 – Принципова електрична схема міні ГЕС

### 1.6. Вибір головного підвищувального трансформатора

Підвищувальний трансформатор повинен забезпечити видачу потужності генераторів в мережу вищої напруги з урахуванням витрати потужності на власні потреби станції. Повна потужність генератора розраховується за формулою (1.1):

$$S_{\Gamma_{\text{ном}}} = \frac{P_{\Gamma}}{\cos \varphi} = \frac{300}{0,8} = 375 \text{ кВ} \cdot \text{А}, \quad (1.1)$$

					МР 3.8.141.283 ПЗ	Арк.
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		16



де  $S_{ГНОМ}$  – повна потужність генераторів.

Знаходимо розрахункову потужність трансформатора формула (1.2):

$$S_{розр} = S_{ГНОМ} - S_{в.п.} = 375 - 375 \cdot 0,04 = 360 \text{ кВ} \cdot \text{А}, \quad (1.2)$$

де  $S_{в.п.}$  – потужність власних потреб станції, кВ · А.

Трансформатор вибираємо по каталогу ТОВ «Торгово-промислова компанія» «Чебоксари-Електра» [7] – ТСЗ 400/10 – УЗ [Додаток Б]: трансформатор стаціонарний сухий в захищеному виготовленні призначений внутрішнього та зовнішнього встановлювання. Каталожні дані приведені в табл. 1.3.

Таблиця 1.3 – Каталожні данні 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

Для остаточного вибору перевіримо коефіцієнт завантаження трансформатора формула (1.3) він повинен бути  $\geq 0,9$ .

$$k_3 = \frac{S_{розр}}{S_T} = \frac{360}{400} = 0,9 \quad (1.3)$$

Отже, обираємо трансформатор ТСЗ 400/10 – УЗ.

### 1.7. Розрахунок струмів трифазного короткого замикання

Для розрахунку струмів короткого замикання знайдемо індуктивний опір всіх елементів мережі в іменованих одиницях. Опір генератора розраховується за формулами (1.4, 1.5):

$$x_T = x_d'' \cdot \frac{U_{баз}^2}{S_{НОМ}}, \quad (1.4)$$

					МР 3.8.141.283 ПЗ	Арк.
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		17

$$r_{\Gamma} = \frac{x_{\Gamma}}{\omega \cdot T_{\Gamma}}, \quad (1.5)$$

де,  $x_d'' = 0,35$  – надперехідний індуктивний опір генератора;  $U_{\text{баз}}$  – базисна напруга генератора;  $S_{\text{ном}}$  – повна потужність генератора;  $T_{\Gamma} = 0,045\text{с}$  – постійна часу для гідрогенератора.

$$x_{\Gamma} = 0,35 \cdot \frac{400^2}{\frac{150 \cdot 10^3}{0,8}} = 0,299 \text{ Ом},$$

$$r_{\Gamma} = \frac{0,299}{314,2 \cdot 0,045} = 0,021 \text{ Ом}.$$

Опір трансформатора формули (1.6) та (1.7):

$$x_{\text{T}} = \frac{U_{\text{к}}}{100} \cdot \frac{U_{\text{ВН}}^2}{S_{\text{ном}}}, \quad (1.6)$$

$$r_{\text{T}} = \Delta P_{\text{к}} \cdot \frac{U_{\text{ВН}}^2}{S_{\text{ном}}^2}, \quad (1.7)$$

де,  $U_{\text{ВН}}$  – напруга обмотки вищої напруги;  $U_{\text{к}}$  – напруга короткого замикання трансформатора;  $\Delta P_{\text{к}}$  – втрати короткого замикання трансформатора;  $S_{\text{ном}}$  – повна номінальна потужність трансформатора.

$$x_{\text{T}} = \frac{3,5}{100} \cdot \frac{10^2 \cdot 10^6}{400 \cdot 10^3} = 8,75 \text{ Ом},$$

$$r_{\text{T}} = 2800 \cdot \frac{10^2 \cdot 10^6}{400^2 \cdot 10^6} = 1,75 \text{ Ом}.$$

Опір системи розраховується за формулою (1.8):

$$x_{\text{с}} = \frac{U_{\text{б}}^2}{S_{\text{к.з.}}} = \frac{10^2 \cdot 10^6}{11 \cdot 10^6} = 9,1 \text{ Ом}, \quad (1.8)$$

де,  $U_{\text{б}}$  – базисна напруга системи;  $S_{\text{к.з.}}$  – потужність короткого замикання системи; Схема заміщення для розрахунку струмів КЗ – рис. 1.6.

					МР 3.8.141.283 ПЗ	Арк.
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		18

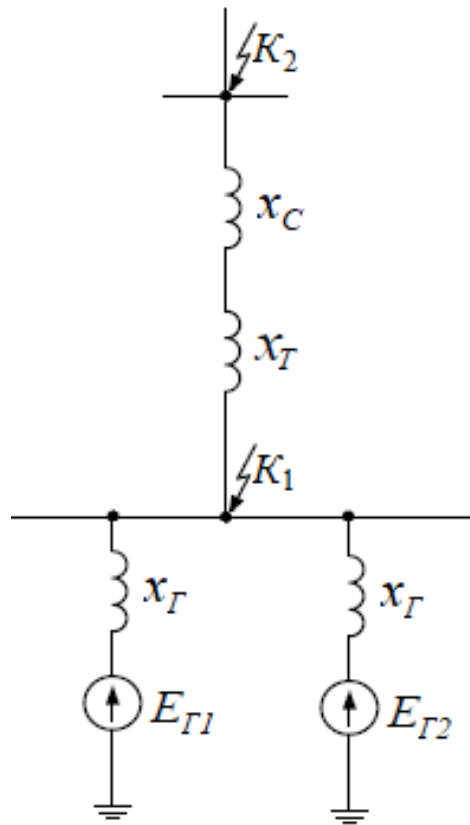


Рисунок 1.6 – Схема заміщення

Знаходимо опір до точки  $K_1$  за формулою (1.9):

$$X_{\Gamma} = \frac{X_{\Gamma} \cdot X_{\Gamma}}{X_{\Gamma} + X_{\Gamma}} = 0,15 \text{ Ом} \quad (1.9)$$

Періодична складова струму КЗ в точці  $K_1$ :

$$I_{K1} = \frac{U_{HH}}{\sqrt{3} \cdot (X_{\Gamma})} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot (0,15)} = 38,7 \text{ кА.}$$

Періодична складова струму КЗ в точці  $K_2$ :

$$I_{K2} = \frac{U_{BH}}{\sqrt{3} \cdot (X_L + X_C + X_T)} = \frac{10000}{\sqrt{3} \cdot (0,15 + 9,1 + 8,75)} = 0,321 \text{ кА.}$$

Розраховуємо ударний коефіцієнт за формулою (1.10):

$$k_y = 1 + e^{-\frac{0,01}{T_a}} \quad (1.10)$$

де,  $T_a$  – постійна часу затухання аперіодичної складової, вибрано з джерела [8].

					МР 3.8.141.283 ПЗ	Арк.
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		19

$$k_{y1} = 1 + e^{-\frac{0,01}{T_a}} = 1 + e^{-\frac{0,01}{0,04}} = 1,78,$$

$$k_{y2} = 1 + e^{-\frac{0,01}{T_a}} = 1 + e^{-\frac{0,01}{0,26}} = 1,96,$$

Ударний струм розраховуємо за формулою (1.11):

$$i_y = \sqrt{2} \cdot k_y \cdot I_K \quad (1.11)$$

Для точки К<sub>1</sub>:  $i_y = \sqrt{2} \cdot 1,78 \cdot 38,7 = 97,3$  кА.

Для точки К<sub>2</sub>:  $i_y = \sqrt{2} \cdot 1,96 \cdot 0,321 = 0,89$  кА.

Проводимо розрахунки для аперіодичної складової струму КЗ, вважаючи, що амплітуда ЕРС та періодична складова струму незмінні у часі, рівний часу відключення формула (1.12):

$$i_a = \sqrt{2} \cdot I_K \cdot e^{-\frac{\tau}{T_a}}, \quad (1.12)$$

де,  $\tau$  – розрахунковий час який потрібен для визначення КЗ.

$$i_{a1} = \sqrt{2} \cdot 38,7 \cdot e^{-\frac{0,06}{0,04}} = 12,2 \text{ кА},$$

$$i_{a2} = \sqrt{2} \cdot 0,321 \cdot e^{-\frac{0,1}{0,26}} = 0,31 \text{ кА}.$$

Використовуючи вище розраховані параметри, знайдемо Інтеграл Джоуля за формулою (1.13):

$$B_k = I_K^2 \cdot (\tau + T_a), \quad (1.13)$$

в точці К<sub>1</sub>:  $B_k = 38,7^2 \cdot (0,06 + 0,04) = 149,77$  кА<sup>2</sup> · с,

в точці К<sub>2</sub>:  $B_k = 0,321^2 \cdot (0,1 + 0,26) = 0,037$  кА<sup>2</sup> · с.

Результати розрахунків струмів короткого замикання (КЗ) для точок схеми показані в табл. (1.4).

					МР 3.8.141.283 ПЗ	Арк.
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		20

Таблиця 1.4 – Результати розрахунків струмів КЗ

Точка КЗ	Періодична складова струму КЗ в початковий момент часу, кА	Ударний струм КЗ, кА	Періодична складова струму КЗ в момент спрацювання вимикача, кА	Аперіодична складова струму КЗ, кА	Інтеграл Джоуля, кА <sup>2</sup> ·с
Шини 0,4 кВ (К <sub>1</sub> )	38,7	97,3	38,7	12,2	149,77
Шини 10 кВ (К <sub>2</sub> )	0,321	0,89	0,321	0,31	0,037

Знайдемо максимальний струм на зовнішньому боці ВН, для приєднань генератора він знаходиться при роботі з номінальною потужністю та зниженням напруги на 5%:

$$I_{max}^{10} = \frac{1,05 \cdot S_{ном}}{\sqrt{3} \cdot U_{ВН}} = \frac{1,05 \cdot 360 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 10^4} = 21,8 \text{ А.}$$

Максимальний струм на стороні НН:

$$I_{max}^{0,4} = \frac{1,05 \cdot S_{ном}}{\sqrt{3} \cdot U_{ВН}} = \frac{1,05 \cdot 375 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 400} = 568,3 \text{ А.}$$

Струм у колі вимикача власних потреб:

$$I_{в.п}^{0,4} = \frac{1,05 \cdot S_{ном}}{\sqrt{3} \cdot U_{ВН}} = \frac{1,05 \cdot 15 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 400} = 22,73 \text{ А.}$$

### 1.8. Вибір вимикача та роз'єднувача низької напруги

Роз'єднувач вибирається відповідно до напруги та струму ускладненого режиму та перевіряються на теплову і динамічну стійкість так, як і вимикачі. При виборі вимикача потрібно дотримуватись наступних умов:

					МР 3.8.141.283 ПЗ	Арк.
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		21

$$U_{\text{НОМ}} \geq U_{\text{НОМ.В}}$$

$$I_{\text{НОМ}} \geq I_{\text{роб.мах}}$$

$$B_{\text{к.норм}} \geq B_{\text{к.розр}}$$

Використовуючи каталог ТОВ Керуюча компанія «Електроцит-Самара» [9] вибираємо вимикач ВА-СЄЦ-TS 630 та роз'єднувач РЕ 13-43. Каталожні дані в табл. 1.5, 1.6.

Таблиця 1.5 – Каталожні дані вимикача ВА-СЄЦ-TS 630

Умови вибору	Розрахункові параметри	Каталожні дані
$U_{\text{м.ном}} \leq U_{\text{ном}}$	0,4кВ	0,4 кВ
$I_{\text{розр}} \leq I_{\text{ном}}$	568,3 А	630 А
$I_{\text{т0}} \leq I_{\text{пр.СКВ}}$	38,7 кА	50 кА
$i_{\text{уд.}} \leq i_{\text{СКВ}}$	97,3 кА	150 кА
$I_{\text{ат}} \leq I_{\text{а.ном}}$	38,7 кА	50кА
$B_{\text{К}} \leq I_{\text{тном}}^2 \cdot t_{\text{T}}$	149,77 кА <sup>2</sup> ·с	5000 кА <sup>2</sup> ·с

Таблиця 1.6 – Каталожні дані роз'єднувача РЕ 13-43

Умови вибору	Розрахункові параметри	Каталожні дані
$U_{\text{м.ном}} \leq U_{\text{ном}}$	0,4кВ	0,4 кВ
$I_{\text{розр}} \leq I_{\text{ном}}$	568,3 А	1600 А
$I_{\text{т0}} \leq I_{\text{пр.СКВ}}$	38,7 кА	125 кА
$i_{\text{уд.}} \leq i_{\text{СКВ}}$	97,3 кА	100 кА
$B_{\text{К}} \leq I_{\text{тном}}^2 \cdot t_{\text{T}}$	0,037 кА <sup>2</sup> ·с	3200 кА <sup>2</sup> ·с

### 1.9. Вибір трансформатора струму та напруги на генераторній напрузі

Вибираємо трансформатор струму ТШП-Є 60 800/5 0,5 УХЛ4 виробник ООО «Енрон Енерго» [10]. Перевірка ТС – в табл. 1.7.

					МР 3.8.141.283 ПЗ	Арк.
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		22

Таблиця 1.7 – Каталожні дані трансформатора струму ТШП-Є 60 800/5  
0,5 УХЛ4

Умова вибору	Розрахункові значення	Каталожні значення
$U_C \leq U_H$	0,4 кВ	0,66 кВ
$I_{расч} \leq I_{ном}$	568,3 А	800 А
$i_y \leq I_{прСКВ}$	97,3 кА	-
$B_K \leq I_T^2 t_r$	149,77 кА <sup>2</sup> ·с	7500 кА <sup>2</sup> ·с

Обрано трансформатор напруги НТС–0,5 УХЛ4. Параметри трансформатора – в табл. 1.8.

Таблиця 1.8 – Каталожні дані трансформатора напруги НТС–0,5 УХЛ4

Умови вибору	Розрахункові дані	Номінальні дані
$U_{роб} \leq U_{ном}$ , кВ	0,4	0,4
$S_2 \leq S_{2ном}$ , В·А	30	75

### 1.10. Вибір вимикача та роз'єднувача на високій напрузі

В якості комутаційного апарата стороні ВН приймаємо вимикач ВГГ – 10. Високовольтний вимикач призначений для використання в закритих приміщеннях в електроустановках номінальною напругою 10 кВ [11]. Каталожні данні представлені в табл. 1.9.

Таблиця 1.9 – Каталожні дані вимикач ВГГ – 10

Умови вибору	Розрахункові параметри	Каталожні дані
$U_{м.ном} \leq U_{ном.}$	10 кВ	10 кВ
$I_{розр} \leq I_{ном}$	21,8 А	4000 А
$I_{т0} \leq I_{пр.СКВ}$	0,321 кА	64 кА
$i_{уд.} \leq i_{СКВ}$	0,89 кА	170 кА
$I_{ат} \leq I_{а.ном}$	0,31 кА	18,1кА
$B_K \leq I_{тном.}^2 \cdot t_T$	0,037 кА <sup>2</sup> ·с	9187 кА <sup>2</sup> ·с

Вибрано роз'єднувач РВР – 10/2500 УЗ [11]. Каталожні данні представлені в табл. 1.10.

Таблиця 1.10 – Каталожні дані роз'єднувача РВР – 10/2500 УЗ

Умови вибору	Розрахункові параметри	Каталожні дані
$U_{м.ном} \leq U_{ном.}$	10 кВ	10 кВ
$I_{розр} \leq I_{ном}$	21,8 А	2500 А
$I_{т0} \leq I_{пр.СКВ}$	0,321 кА	125 кА
$i_{уд.} \leq i_{СКВ}$	0,89 кА	125 кА
$B_K \leq I_{тном.}^2 \cdot t_T$	0,037 кА <sup>2</sup> ·с	8100 кА <sup>2</sup> ·с

### 1.11. Вибір трансформатора струму та напруги на високій напрузі

Для сторони вищої напруги був вибраний трансформатор напруги ЗНОЛ – 10 [11] призначений для вимірювання величини напруги, управління приладами автоматики та захисту в мережах з напругою 10 кВ, частотою 50 Гц. Параметри трансформатора в табл. 1.11.

Таблиця 1.11 – Каталожні дані трансформатор напруги ЗНОЛ

Умови вибору	Розрахункові дані	Номінальні дані
$U_{роб} \leq U_{ном.}$ , кВ	10	10
$S_2 \leq S_{2ном.}$ , В·А	60	90



Трансформатор струму ТЛШ-Є 10 У2 був вибраний для вимірювання величини струму та подальшої її передачі приладам захисту [11]. Параметри трансформатора представлені в табл. 1.12.

Таблиця 1.12 – Каталожні дані трансформатор струму ТЛШ-Є 10 У2

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

### 1.12. Диференційний захист

Поздовжній диференційний захист генератора є основною швидкодіючим чутливим захистом від міжфазних коротких замикань в обмотці генератора та на його виходах.

Захист виконується трифазним та підключається к трансформаторам струму в лінійних виводах статора генератора та трансформатору струму в нейтральному виводі.

1) Початковий струм спрацювання визначається при дії малих гальмівних струмів. Величина  $I_{ср0}$  вибирається з урахуванням можливості налаштування захисту від струму небалансу номінального режиму та розраховується за формулою 1.14:

$$I_{НБ(Н)} = K_{ОДН} \cdot f_i \cdot I_H = 0,5 \cdot 0,1 \cdot I_H = 0,05 \cdot I_H, \quad (1.14)$$

де,  $K_{ОДН} = 0,5$  – коефіцієнт однотипності трансформатора струму;  $f_i = 0,1$  – відносна похибка трансформатора струму.

$$I_H = \frac{S_r}{\sqrt{3} \cdot U_6} = \frac{187,5 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 400} = 270,6 \text{ А.}$$

$$I_{НБ(Н)} = 0,05 \cdot 270,6 = 13,53 \text{ А.}$$

					МР 3.8.141.283 ПЗ	Арк.
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		25

Умовою для вибору уставки є формула (1.15):

$$I_{\text{ср0}} \geq K_{\text{Н}} \cdot I_{\text{НБ(Н)}} = 2 \cdot 0,05 \cdot I_{\text{Н}} = 0,1 \cdot I_{\text{Н}} = 27,06 \text{ А}, \quad (1.15)$$

де,  $K_{\text{Н}} = 2$  – коефіцієнт надійності.

Приймаємо уставку:  $I_{\text{ср0}} = 0,15 \cdot I_{\text{Н}} = 40,59 \text{ А}$ .

2) Гальмівний коефіцієнт  $K_{\text{T}}$  показує чутливість захисту до пошкоджень при протіканню струму навантаження. Величина  $K_{\text{T}}$  вибирається з урахуванням налаштуванням захисту від струмів небалансу, викликані похибкою трансформаторів струмів при наскрізних КЗ.

Максимальний струм небалансу при зовнішньому трифазному КЗ розраховується за формулою (1.16):

$$I_{\text{НБ(КЗ)}} = K_{\text{АП}} \cdot K_{\text{ОДН}} \cdot f_i \cdot I_{\text{max}}, \quad (1.16)$$

де,  $K_{\text{АП}} = 2$  – коефіцієнт, враховуючий наявність аперіодичної складової;

$K_{\text{ОДН}} = 0,5$  – коефіцієнт однотипності трансформатора струму;

$I_{\text{max}}$  – максимальний струм який проходить через трансформатор струму при зовнішньому трифазному КЗ, знаходимо за формулою (1.17):

$$I_{\text{max}} = \frac{E_{\text{Г}}''}{x_d''} \cdot I_{\text{Н}}, \quad (1.17)$$

де,  $E_{\text{Г}}'' = 1,13$  – електрорушійна сила джерела.

$$I_{\text{max}} = \frac{1,13}{0,35} \cdot 270,6 = 873,8 \text{ А}.$$

Отже, максимальний струм небалансу дорівнює:

$$I_{\text{НБ(КЗ)}} = 2 \cdot 0,5 \cdot 0,1 \cdot I_{\text{max}} = 87,38 \text{ А}.$$

Коефіцієнт гальмування отримуємо з умови та розраховується за формулою (1.18):

$$K_{\text{T}} > \frac{I_{\text{НБ(КЗ)}} \cdot K_{\text{Н}}}{I_{\text{max}}} = \frac{87,38 \cdot 2}{873,8} = 0,2, \quad (1.18)$$

приймаємо уставку  $K_{\text{T}} = 0,3$ .

3) Для збільшення зони роботи захисту без гальмування знайдемо уставку початкового гальмування за формулою (1.19):

$$I_{\text{НТ}} = \frac{I_{\text{ср}}}{K_{\text{T}}} = \frac{0,15}{0,3} = 0,5. \quad (1.19)$$

					МР 3.8.141.283 ПЗ	Арк.
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		26

4) Гальмівний струм  $B$  показує точку перелому характеристики спрацювання. При виборі повинні виконуватись такі умови:

$$B \geq \frac{I_{*cp}}{K_T} = \frac{0,15}{0,3} = 0,5.$$

Приймаємо типове значення уставки  $B = 1,5$  (умови виконуються). На рис. 1.7 приведена характеристика спрацювання диференційного захисту:

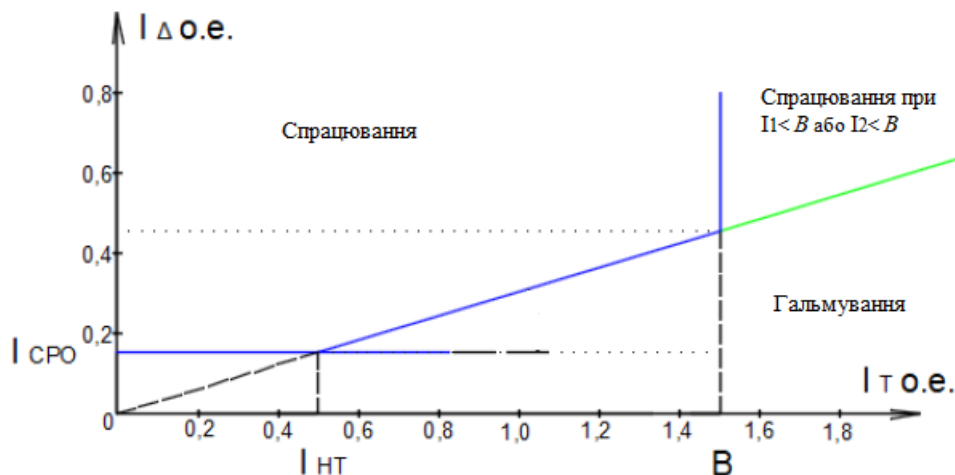


Рисунок 1.7 – Характеристика спрацювання диференційного захисту генератора

### 1.13. Захист зворотної послідовності від несиметричних перенавантажень

Захист призначений для ліквідації недопустимих перенавантажень генератора струмами зворотної послідовності при зовнішніх несиметричних міжфазних коротких замикань та інших несиметричних режимів енергосистеми.

Захист реагує на відносний струм зворотної послідовності  $I_{*2}$  розраховується за формулою (1.20):

$$I_{*2} = \frac{I_2}{I_H}, \tag{1.20}$$

де  $I_2$  – струм зворотної послідовності в первинних колах генератора,

$I_H$  – номінальний струм генератора в первинному колі.

Допустима тривалість несиметричного режиму при незмінному значенні струму  $I_2$  характеризується виразом (1.21):

$$I_{*2} = \frac{A}{I_{*2}^2}, \quad (1.21)$$

де  $A = 20$  – параметр, заданий заводом-виробником.

Захист має такі функціонуючі органи:

- 1) Сигнальний орган ( $I_{*2\text{сигн}}$ ) який спрацьовує при збільшенні струму  $I_{*2}$  вище чим уставка с незалежною витримкою в часі (спрацьовує на сигнал).

Приймаємо уставку сигнального органу

$$I_{*2\text{сигн}} = 0,08; I_{2\text{сигн}} = 0,08 \cdot I_H.$$

- 2) Пусковий орган ( $I_{2\text{пуск}}$ ) спрацьовує без затримки в часі при збільшенні  $I_2$  вище уставки та здійснює пуск інтегрального органу. Струм спрацювання пускового органу вибирається по умові забезпечення надійності пуску інтегрального органу при  $t_{\text{макс}} = 600$  с.

При:

$$I_{*2} = \sqrt{\frac{A}{t}} = \sqrt{\frac{20}{600}} = 0,18.$$

Значення уставки розраховується за формулою (1.22):

$$I_{*2\text{пуск}} = \frac{I_{*2}}{K_H} = \frac{0,18}{1,2} = 0,152, \quad (1.22)$$

де  $K_H = 1,2$  – коефіцієнт надійності.

$$I_{2\text{пуск}} = 0,15 \cdot I_H.$$

При цьому допустима тривалість перенавантаження може бути розрахована по тепловій роботі струму, вираз (1.23):

$$t_{\text{доп}} = \frac{A}{I_{*2\text{пуск}}^2} = \frac{20}{0,152^2} \approx 880\text{с}. \quad (1.23)$$

- 3) Інтегральний орган спрацьовує при віддалених несиметричних режимах, які супроводжуються струмами перенавантаження  $I_2$ , із залежною від струму витримкою в часі.

					МР 3.8.141.283 ПЗ	Арк.
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		28

Допустима тривалість протікання струмів зворотної послідовності в генераторі представлена в табл. (1.13).

Таблиця 1.13 – Допустима тривалість протікання струмів зворотної послідовності в генераторі

Кратність перенавантаження по струму зворотної послідовності $\frac{I_2}{I_H}$	1,0	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2
Тривалість (с)	20	55	80	125	220	500

Характеристика інтегрального органу захисту зворотної послідовності от несиметричних перенавантажень та зовнішніх КЗ представлена на рис. 1.8.

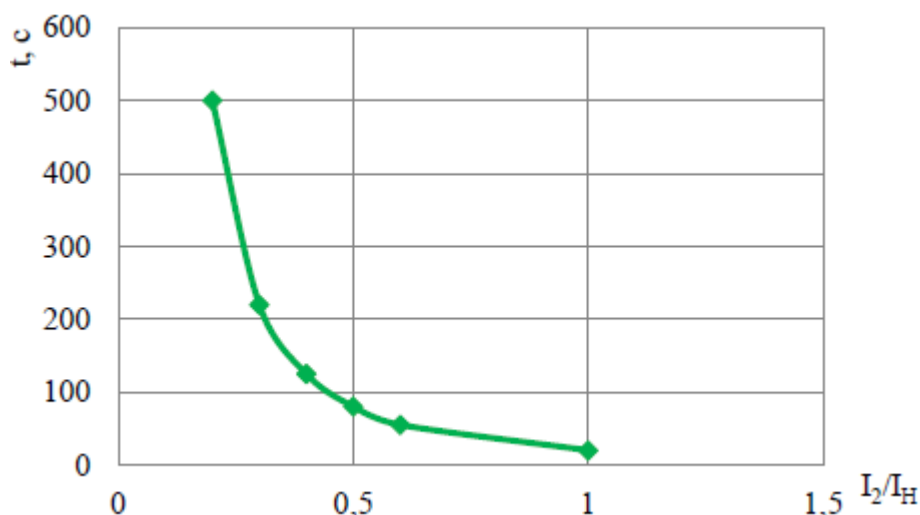


Рисунок 1.8 – Характеристика інтегрального органу захисту

Аналізуючи характеристику час спрацювання приймаємо:

$$t_{\min} = 20\text{с}, t_{\max} = 600\text{с}.$$

Інтегральний орган імітує процес охолодження статора генератора після усунення перенавантаження по експоненціальному закону. При цьому проміжок часу, за який перегрів генератора зменшується від максимально допустимого значення до 0,135 от цієї величини, називається часом

охолодження та регулюється в діапазоні від 10 до 999 с. Цей параметр виставляється згідно вказівкам заводу-виробнику ( $t_{охл} = 150$ с).

- 4) Орган струмової відсічки ( $I_{2від}$ ) спрацьовує з незалежною витримкою в часі при збільшенні струму  $I_2$  більш ніж установлена відсічка та являється захистом від зовнішніх несиметричних КЗ.

#### 1.14. Захист від симетричних перенавантажень

Захист призначений для запобігання недопустимих перенавантажень обмоток статора. Виконаний відповідно до струму с витримкою в часі та має такі функціональні органи:

1. Сигнальний орган, який спрацьовує с незалежною витримкою в часі при збільшенні струму більше ніж значення уставки та діє в попереджувальну сигналізацію. Уставка сигнального органу, формула (1.24):

$$I_{сиг} = \frac{K_H \cdot I_H}{K_B} = \frac{1,05 \cdot I_H}{0,98} = 1,07 \cdot I_H, \quad (1.24)$$

де,  $K_H = 1,05$  – коефіцієнт надійності;

$K_B = 0,98$  – коефіцієнт повернення.

Витримка по часу  $t = 0,9$  с.

2. Пусковий орган, який спрацьовує с незалежною витримкою в часі при збільшенні струму більше ніж значення уставки та здійснює пуск інтегрального органу. Уставка пускового органу, вираз (1.25):

$$I_{пуск} = \frac{1,08 \cdot I_H}{0,98} = 1,1 \cdot I_H. \quad (1.25)$$

3. Інтегральний орган спрацьовує з витримкою в часі. Уставка інтегрального органу вибирається по характеристиці інтегрального перенавантаження обмотки статора, приведеній в табл. 1.14

					МР 3.8.141.283 ПЗ	Арк.
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		30

Таблиця 1.14 – Уставка інтегрального органу

Кратність перенавантаження $\frac{I}{I_H}$	1,1	1,15	1,2	1,25	1,3	1,4	1,5	2,0
Тривалість перенавантаження (с)	3600	900	360	300	240	120	60	1

Характеристика інтегрального органу захисту от симетричних перенавантажень представлена на рис. 1.9.

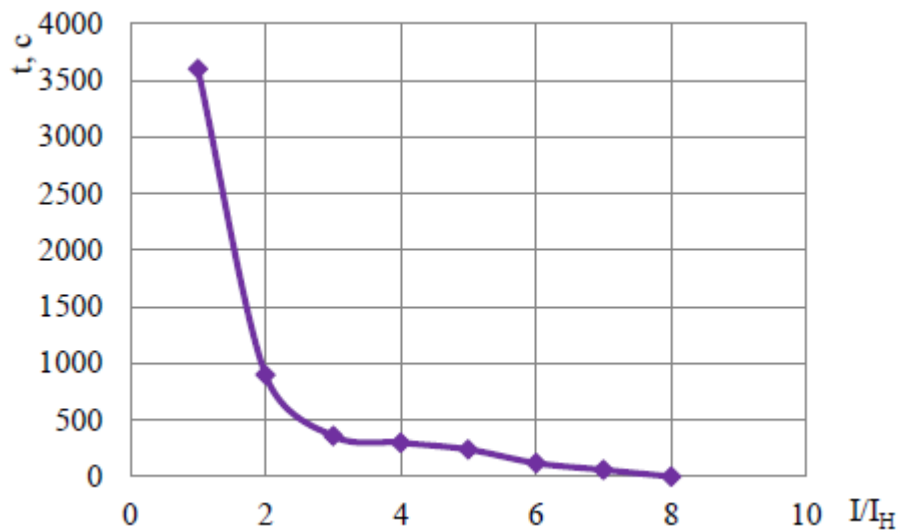


Рисунок 1.9 – Характеристика інтегрального органу захисту от симетричних перенавантажень

Інтегрального орган захисту через вимикаючий орган діє на вимкнення вимикача генератора. Уставка витримки часу вимикаючого органу приймається мінімальною, рівною 0,01 с.

4. Орган струмової відсічки, який спрацьовує с незалежною витримкою в часі при збільшенні струму більше ніж значення уставки спрацювання.

Уставка органу відсічки представлена виразом (1.26):

$$I_{\text{від}} = \frac{1,2 \cdot I_H}{0,98} = 1,224 \cdot I_H \quad (1.26)$$

## РОЗДІЛ 2

### НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

#### 2.1. Моделювання руху рідини в поворотно-лопатевому елементі турбіни

Використовуючи програмне забезпечення SolidWorks [12] було побудовано модель робочого колеса гідротурбіни Каплана. Для проведення моделювання зі швидкістю були задані наступні умови:

- Матеріал корпусу гідротурбіни: нержавіюча сталь;
- Об'єм потоку на вході: 3 м<sup>3</sup>/с
- Тиск навколишнього середовища 101325 Па.

Результати моделювання представлені на рис. 2.1,2.2.

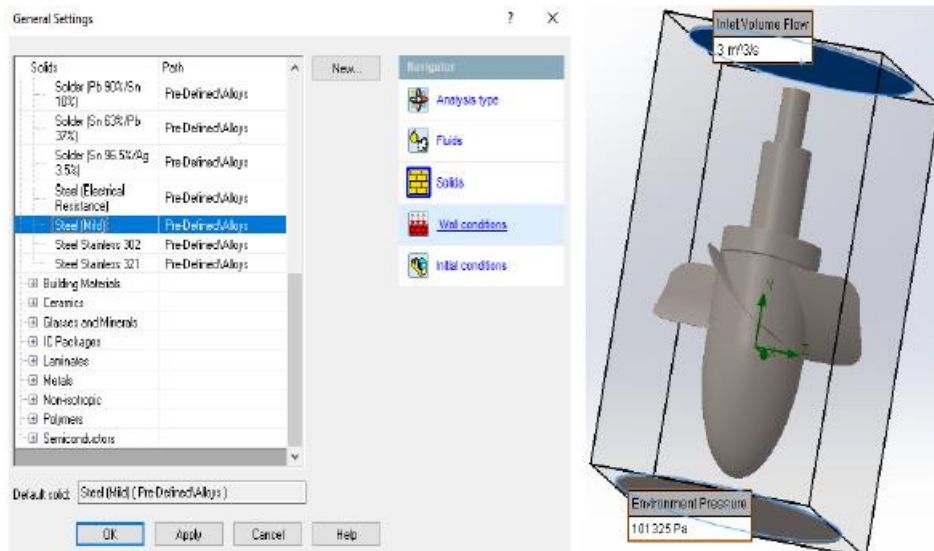


Рисунок 2.1 – Матеріал та граничні умови для розрахунку

					MP 3.8.141.283 ПЗ			
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дат	Науково-дослідна частина	Арк	Аркуш	Аркушів
Розробив		Данильченко А. О.					32	63
Перевірив		Василега П. О.				СумДУ ЕТ.м-01		
Реценз.								
Н. Контр.		Никифоров М. А.						
Затверд.		Лебединський І Л						



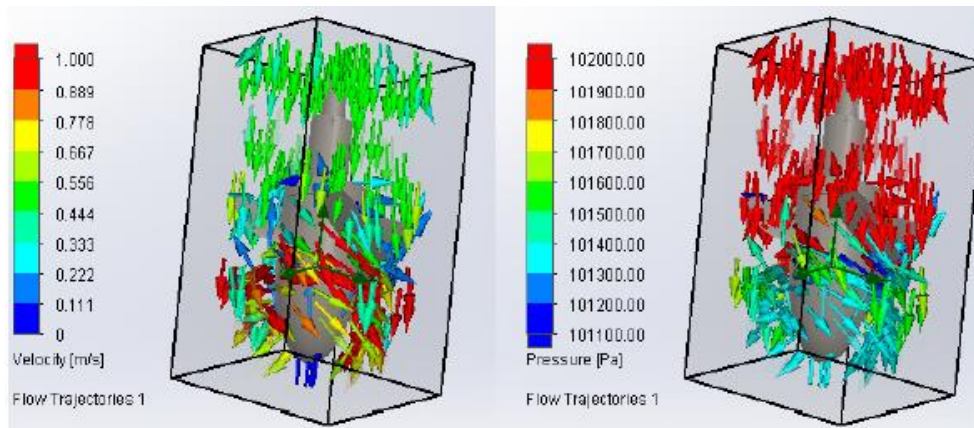


Рисунок 2.2 – Розподіл швидкості та тиску у робочому елементі гідротурбіни Каплана

У поворотно-лопатевої турбіни лопаті мають вигнуту форму. Коли вода обтікає їх створюється підйомна сила за рахунок реактивного впливу потоку. Тангенціальна складова підйомної сили змушує ротор обертатися. Це обертання передається на генератор для виробництва електроенергії.

Частина енергії турбіна отримує від імпульсної сили, тому у процесі проходження води через лопаті робочого колеса її кінетична енергія і тиск знижуються до 101,3 кПа.

Лопатки турбіни Каплана можуть регулюватися. Коли швидкість потоку висока відносна швидкість потоку буде більше осьової, тому лопать розташовується більш вертикально. Якщо швидкість потоку низька зростає тангенціальна складова відносної швидкості і лопаті встановлюються більш полого.

## 2.2. Аналіз роботи гідротурбіни Каплана при зміні кута нахилу лопаті

Для забезпечення оптимального кута атаки при зміні швидкості потоку необхідно регулювати нахил лопаток. За допомогою програмного забезпечення SolidWorks на моделі робочого елемента поворотно-лопатевої турбіни було проаналізовано зміну швидкості потоку у робочому елементі гідроагрегату та

					МР 3.8.141.283 ПЗ	Арк.
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		33

тиску на лопаті при їх положенні:  $0^\circ, 15^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ, 75^\circ, 90^\circ$ . Граничні умови залишаємо без змін:

- Матеріал корпусу гідротурбіни: нержавіюча сталь;
- Об'єм потоку на вході: 3 м<sup>3</sup>/с
- Тиск навколишнього середовища: 101325 Па;
- Інтервал розподілу тиску : 101,5 кПа-103 кПа.

Результати моделювання представлені на рис. 2.3 – 2.9.

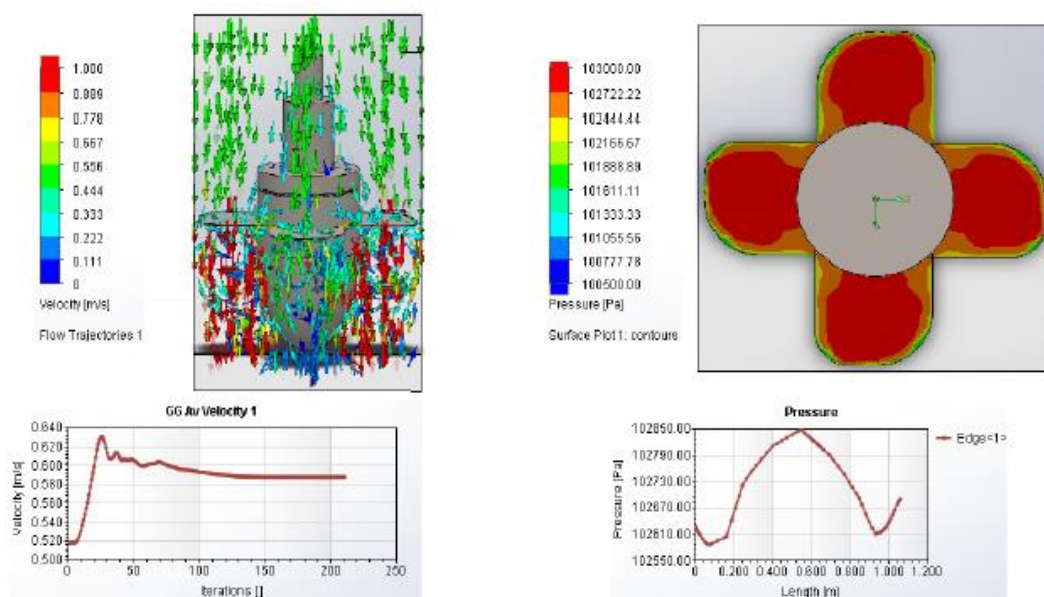


Рисунок 2.3 – Розподіл швидкості та тиску на лопаті при їх положенні  $0^\circ$

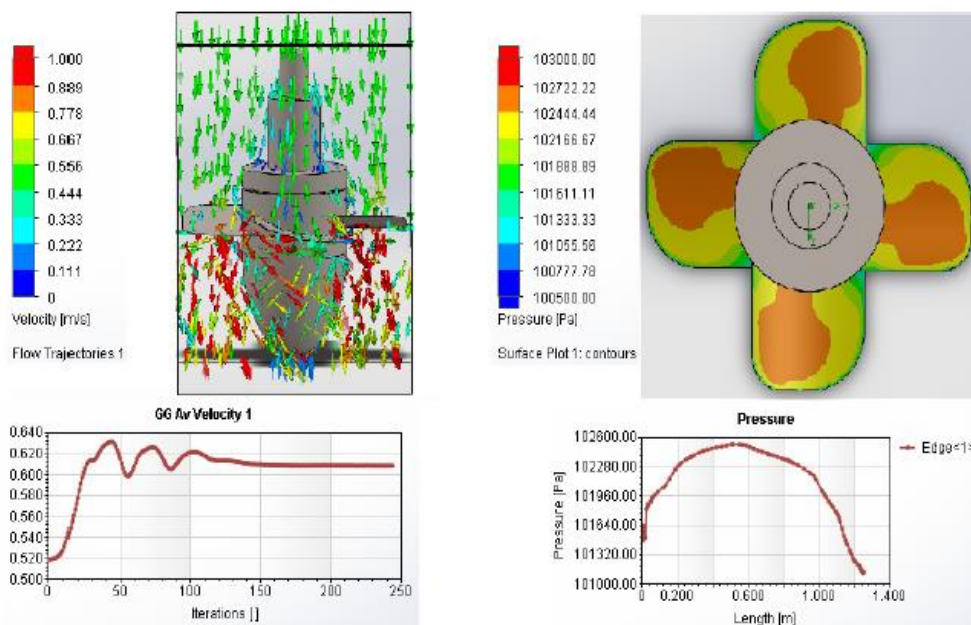


Рисунок 2.4 – Розподіл швидкості та тиску на лопаті при їх положенні  $15^\circ$

					МР 3.8.141.283 ПЗ	Арк.
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		34

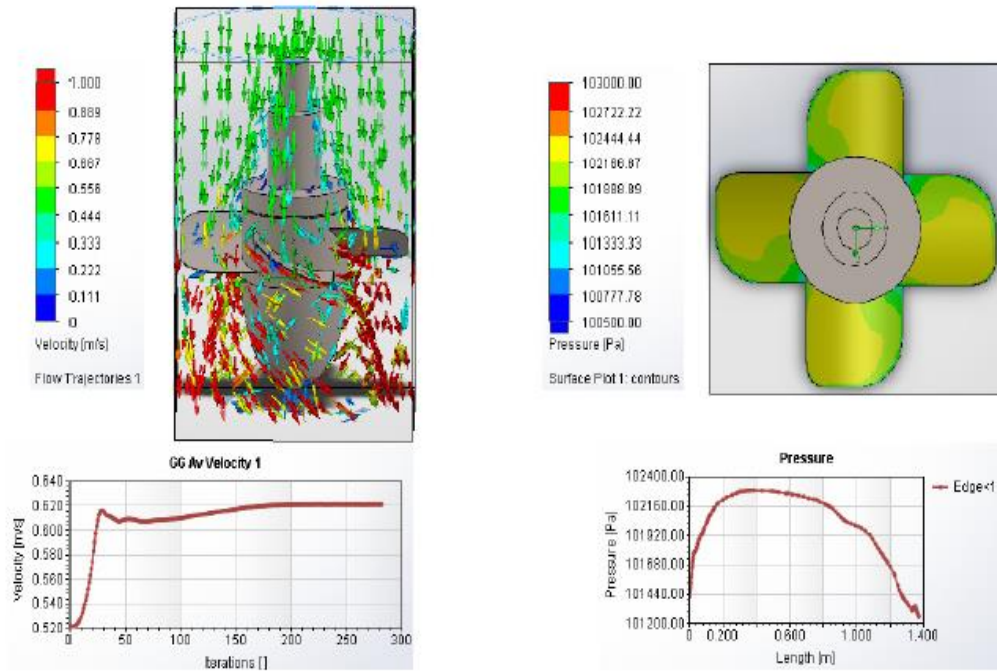


Рисунок 2.5 – Розподіл швидкості та тиску на лопаті при їх положенні 30°

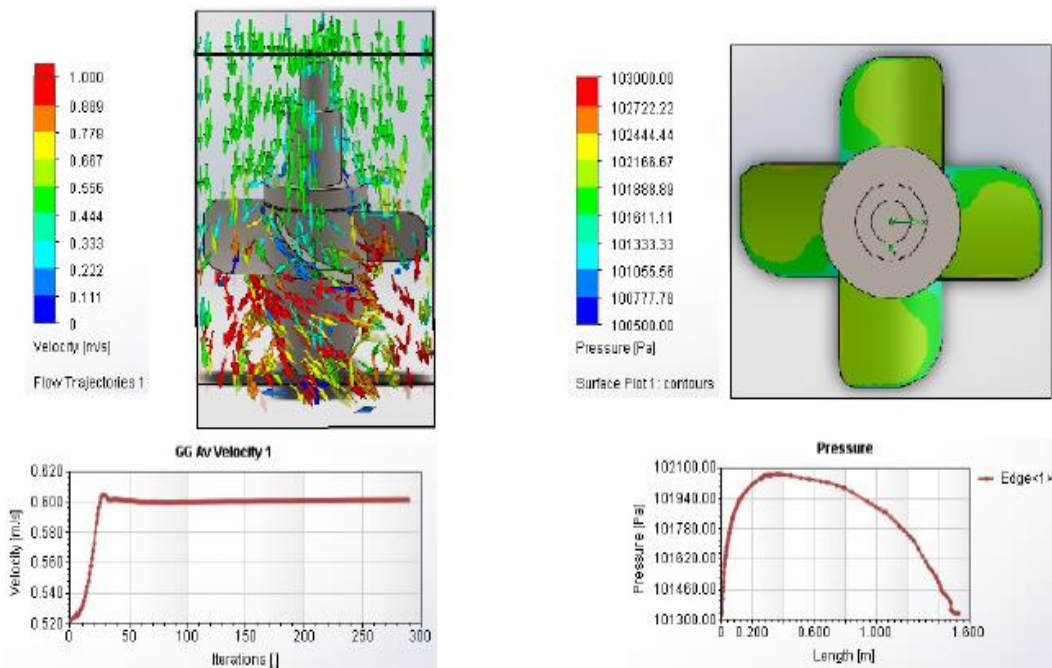


Рисунок 2.6 – Розподіл швидкості та тиску на лопаті при їх положенні 45°



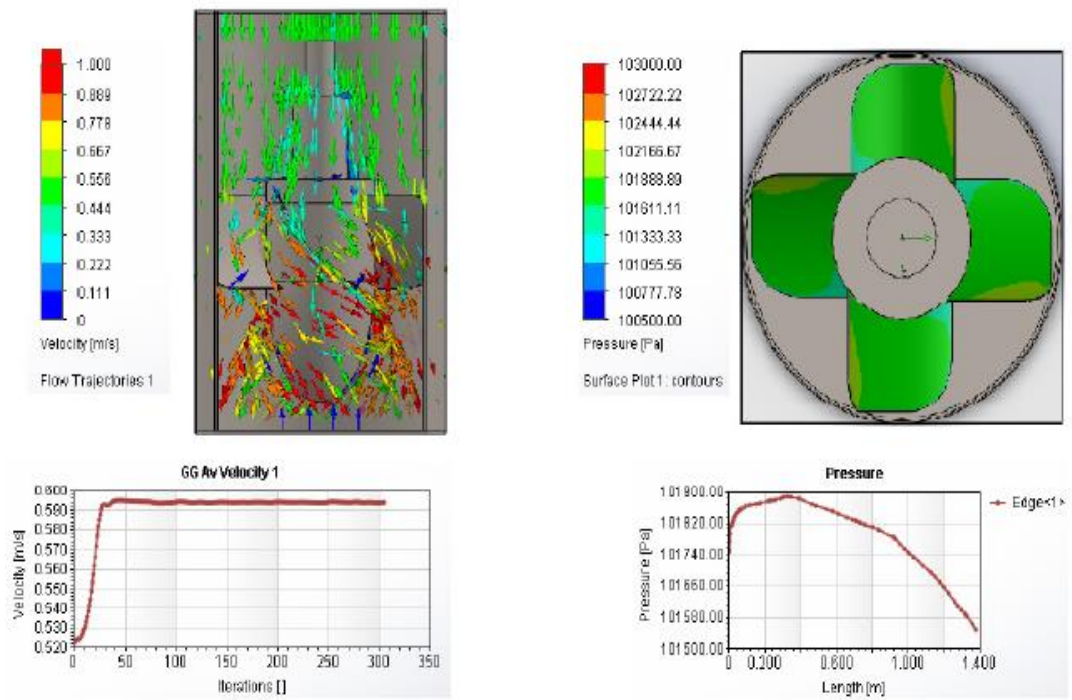


Рисунок 2.7 – Розподіл швидкості та тиску на лопаті при їх положенні 60°

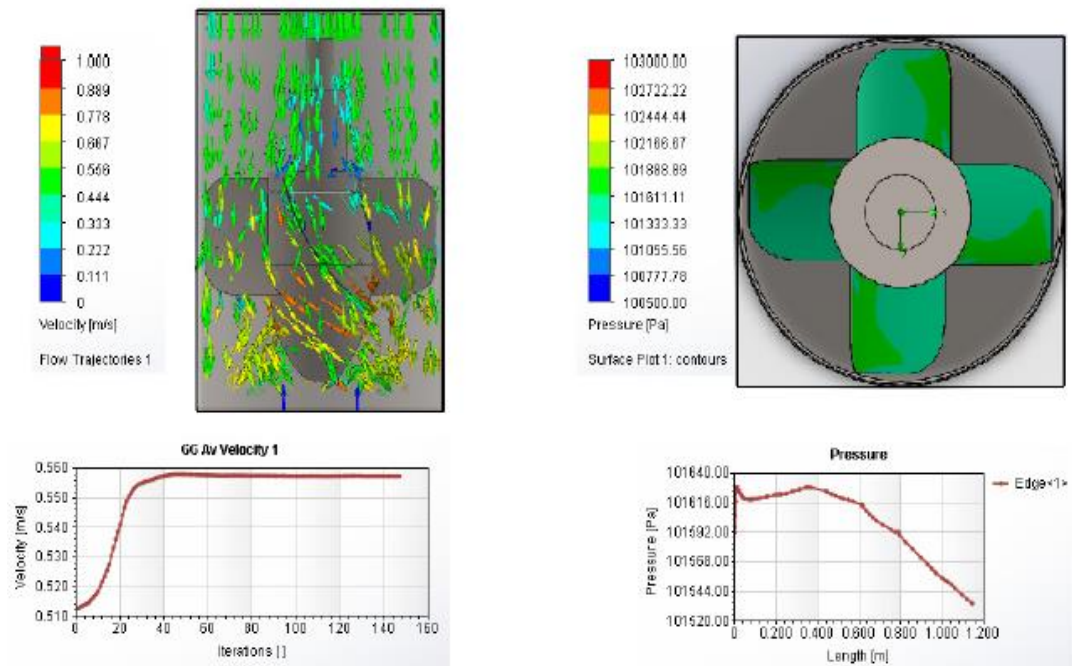


Рисунок 2.8 – Розподіл швидкості та тиску на лопаті при їх положенні 75°

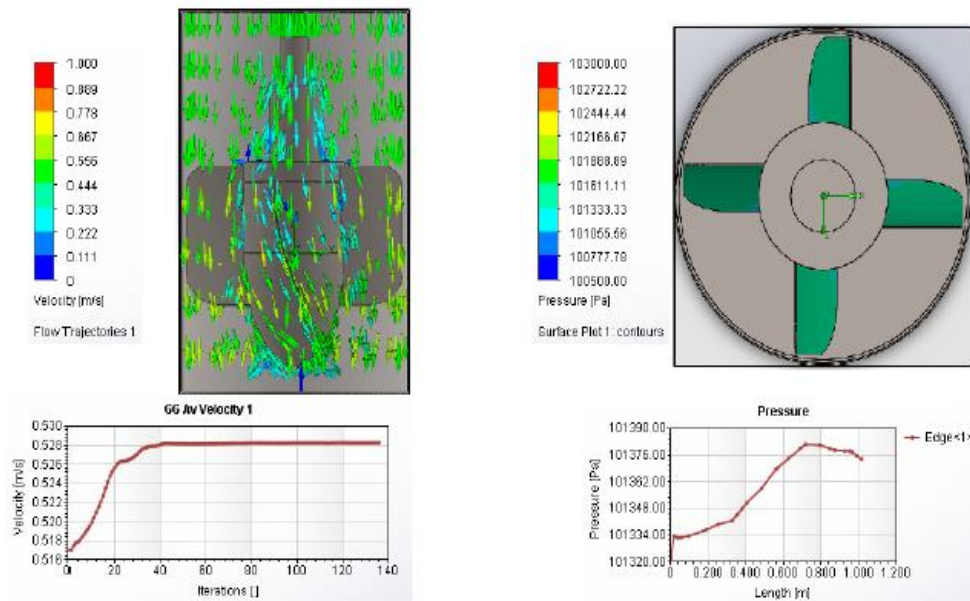


Рисунок 2.9 – Розподіл швидкості та тиску на лопаті при їх положенні 90°

Швидкість потоку не висока, тому пропонується встановити лопаті більш полого. При такому положенні вода при проходженні через робоче колесо буде збільшувати тиск на лопаті, а при оптимальному пологому положенні швидкість потоку у роторі також збільшиться, що відобразиться на видобутій електроенергії. Для більш зручної оцінки результатів пропонується звести отримані результати у табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Результати моделювання

Кут нахилу лопаток	Тиск на лопаті	Швидкість потоку у робочому елементі гідротурбіни, м/с
0°	102850	0,585
15°	102536	0,608
30°	102311	0,62
45°	102070	0,6
60°	101881	0,594
75°	101632	0,558
90°	101383	0,528

Аналізуючи таблицю видно, що найгірший результат спостерігається при куті нахилу лопаток  $90^\circ$ , у такому випадку маємо низький тиск на лопаті 101383 Па та малу швидкість потону у робочому елементі 0,528 м/с, що говорить про те, що велика частина води проходить без перешкод.

Найоптимальніший результат досягається при куті  $30^\circ$ , у такому випадку маємо більш рівномірний розподіл тиску на лопатках 102536 Па та найбільшу швидкість потоку води на робочому елементі 0,62 м/с.

Дане дослідження дає змогу більш тонко корегувати ККД гідротурбіни, що відобразиться на всій мГЕС.

### 2.3. Аналіз режиму роботи гідроелектростанції

У сучасних умовах в об'єднаних енергосистемах покриття графіків навантажень забезпечується спільною роботою атомних, теплових електростанцій, парогазотурбінних, газотурбінних електростанцій, ГЕС і ГАЕС. Гідроелектростанції, як правило, працюють спільно з іншими електростанціями забезпечуючи регулювання навантаження в заданих районах енергопостачання.

Головною характеристикою, що визначає режим роботи енергосистеми, є добовий графік навантаження енергосистеми, у тому числі графік максимального робочого дня, який характеризується найбільшим добовим навантаженням, графік середнього робочого дня та графік мінімального дня (зазвичай недільного), що характеризується найменшим навантаженням. Форма добового графіка навантаження енергосистеми визначається характером і тривалістю роботи споживачів електроенергії. Через значну нерівномірність добових графіків навантаження в об'єднаних енергосистемах ГЕС і ГАЕС покривають найбільш складну пікову й напівпікову частину графіка, виконують функції навантажувального та аварійного резервів енергосистеми[13].

					МР 3.8.141.283 ПЗ	Арк.
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		38

Для добового графіку навантаження зимового дня, в умовах України, характерні два піки – ранковий та вечірній – і два провали – денний та більш глибокий нічний (рис. 2.10).

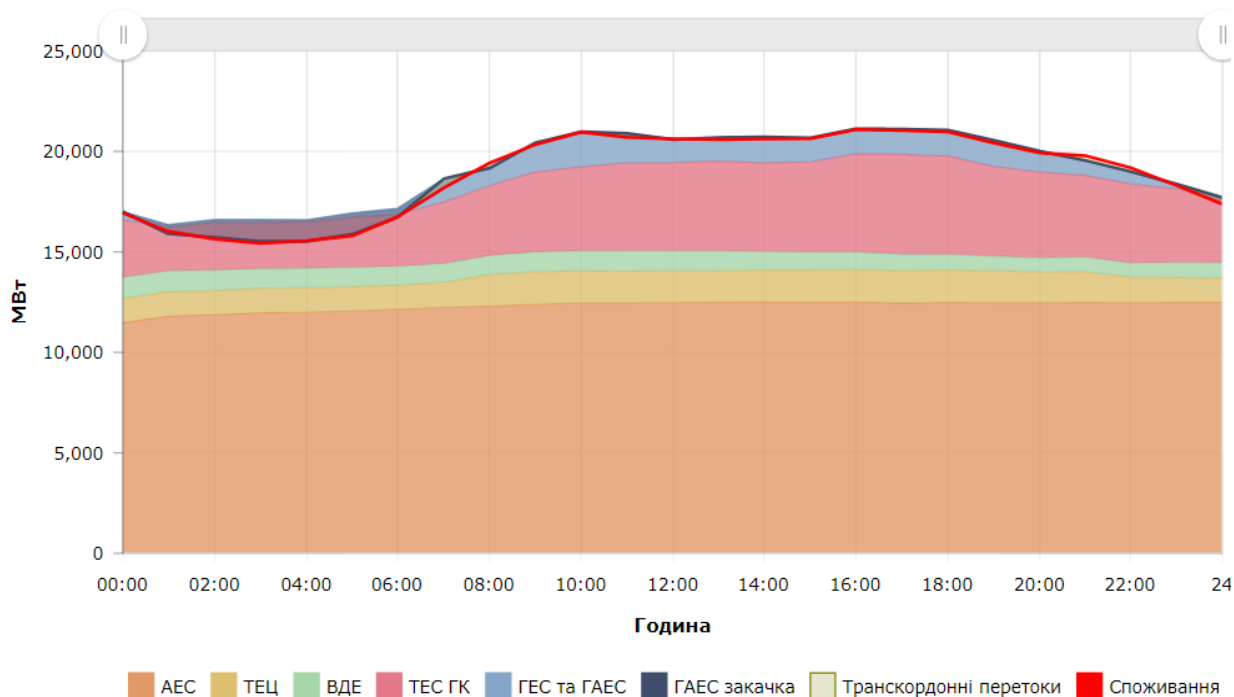


Рисунок 2.10 – Добовий графік виробництва/споживання електроенергії

З графіку видно, що базове споживання електроенергії відбувається з 23:00 по 6:00, далі починає зростати, так званий напівпіковий період. Перший піковий період починається з 9:00 по 12:00, другий з 15:00 по 19:00. Гідроелектростанції починають працювати на піковій завантаженості з 6:00 по 22:00. В інший період часу ГЕС, для забезпечення стоку води, можуть працювати в режимі неповної завантаженості, використовуючи не всі доступні гідротурбіни, або регулюючи швидкість потоку через зміну кута нахилу лопатей, також, при необхідності, в режимі холостого ходу.

Регулювання роботи пригреблевих ГЕС здійснюється, також, відносно рівня води в водосховищі, зміни стоку води, або погіршення якості води. Ці критерії розглядаються відносно Водного кодексу України та узгоджуються відповідними комісіями.

## РОЗДІЛ 3 ОХОРОНА ПРАЦІ

### 3.1. Організація охорони праці

Роботодавець зобов'язаний створити на робочому місці умови праці в кожному структурному підрозділі згідно до нормативно-правових актів, а також забезпечити додержання вимог законодавства щодо прав робітників у галузі охорони праці. З цією метою роботодавець забезпечує функціонування системи управління охороною праці, а саме: створює відповідні служби і призначає посадових осіб, які забезпечують вирішення конкретних питань з охорони праці, затверджує їх обов'язки, права та відповідальність яка на них покладається за виконання покладених на них призначень, а ще контролює їх додержання. Також він повинен забезпечити комплексні заходи для досягнення встановлених нормативів, розробляючи колективного договору за участю сторін; підвищення існуючого рівня охорони праці, впроваджуючи прогресивні технології, досягнення науки і техніки, засоби механізації та автоматизації виробництва, вимоги ергономіки, позитивний досвід з охорони праці тощо.

Споруди і будови, повинні мати належний для роботи стан, так, як і виробниче обладнання та устаткування, моніторинг за їх технічним станом входить до обов'язків роботодавця. Повинні здійснюватися профілактичні заходи які забезпечать усунення причин, що призводять до нещасних випадків, професійних захворювань. Всі небезпечні та шкідливі для здоров'я виробничі фактори повинні бути усунені за строки що визначаються законодавством [14].

Роботодавець повинен затвердити положення, інструкції, інші акти з охорони праці, та безоплатно забезпечити ними працівників, що діють у межах підприємства та встановлюють правила виконання робіт і поведінки працівників на території підприємства, у виробничих приміщеннях,

					MP 3.8.141.283 ПЗ			
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дат				
Розробив		Данильченко А. О.			Охорона праці	Арк	Аркуш	Аркушів
Перевірив		Василега П. О.					40	63
Реценз.						СумДУ ЕТ.м-01		
Н. Контр.		Никифоров М. А.						
Затверд.		Лебединський І Л						



на будівельних майданчиках.

Працівник, в свою чергу, зобов'язаний знати та виконувати ці вимоги та правила що до виробничого процесу, поводження з машинами, механізмами, устаткуванням та іншими засобами виробництва. Дбати про особисту безпеку і здоров'я, а також про безпеку і здоров'я оточуючих людей в процесі виконання будь-яких робіт чи під час перебування на території підприємства. Проходити попередні та періодичні медичні огляди які повинен організувати роботодавець згідно з Законом про охорону праці [14].

За порушення вимог робітник безпосередньо несе відповідальність в залежності від масштабу порушення. За виконанням правил слідує служба охорони праці на самому підприємстві. Робітники цієї служби підпорядковуються тільки роботодавцю та мають право:

- видавати керівникам структурних підрозділів підприємства обов'язкові для виконання приписи щодо усунення наявних недоліків, одержувати від них необхідні відомості, документацію і пояснення з питань охорони праці;
- вимагати відсторонення від роботи осіб, які не пройшли передбачених законодавством медичного огляду, навчання, інструктажу, перевірки знань і не мають допуску до відповідних робіт або не виконують вимог нормативно-правових актів з охорони праці;
- зупиняти роботу виробництва, ділянки, машин, механізмів, устаткування та інших засобів виробництва у разі порушень, які створюють загрозу життю або здоров'ю працюючих;
- надсилати роботодавцю подання про притягнення до відповідальності працівників, які порушують вимоги щодо охорони праці [14].

Служба охорони праці на підприємстві з кількістю працюючих 50 і більше осіб роботодавець створює службу охорони праці відповідно до типового положення, що затверджується спеціально уповноваженим центральним органом виконавчої влади з питань нагляду за охороною праці. На виробництві з кількістю робітників менше 50 осіб функції служби охорони праці можуть

					МР 3.8.141.283 ПЗ	Арк.
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		41

виконувати особи мають відповідну підготовку. З кількістю працюючих на підприємстві менше 20 осіб для виконання функцій служби охорони праці можуть залучатися сторонні фахівці які мають відповідну підготовку [14].

Виробничі будівлі, споруди, машини, механізми, устаткування, транспортні засоби, що вводяться в дію після будівництва (виготовлення) або реконструкції, капітального ремонту тощо, та технологічні процеси повинні відповідати вимогам нормативно-правових актів з охорони праці.

### **3.2. Вимоги щодо охорони праці під час проектування**

Проектування виробничих об'єктів, розроблення нових технологій, засобів виробництва, засобів колективного та індивідуального захисту працюючих повинні провадитися з урахуванням вимог щодо охорони праці. Замовник спершу повинен одержати дозвіл на виконання робіт підвищеної небезпеки та на експлуатацію обладнанням підвищеної небезпеки. Дозвіл отримують в центральному органі виконавчої влади, що реалізує державну політику у сфері охорони праці, дозвіл видається на безоплатній основі, після винесення висновку експертизи стану охорони праці та безпеки промислового виробництва суб'єкта господарювання, проведеної експертно-технічними центрами.

Кабінет Міністрів України визначає: порядок видачі дозволів або відмови в їх видачі, переоформлення, анулювання дозволів, видачі дублікатів, переліки видів робіт, перелік апаратів підвищеної небезпеки, граничні розміри тарифів на проведення експертизи [14].

Дія дозволу на виконання робіт або на експлуатацію машин, механізмів та устаткування підвищеної небезпеки становить п'ять років з можливістю його подальшим продовженням. Безстроковий дозвіл видається на застосування машин, механізмів та устаткування підвищеної небезпеки.

Протягом 10 робочих днів з дня надходження заяви на одержання дозволу та необхідних документів центральний орган приймає рішення про видачу

					MP 3.8.141.283 ПЗ	Арк.
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		42

дозволу або про відмову в його видачі із зазначенням підстав, визначених цією статтею. Причинами відмови можуть бути:

- не повний комплект необхідних документів та (або) порушення встановлених вимог при їх оформленні;
- подання недостовірних відомостей або висновку за результатами експертизи, який затверджено чи складено більш як за рік до дня подання заяви;
- встановлення невідповідності об'єкта експертизи згідно вимогам законів та інших нормативно-правових актів з охорони праці [14].

Засадою для анулювання дозволу є:

- заява роботодавця або уповноваженої ним особи про анулювання дозволу;
- припинення підприємницької діяльності юридичної або фізичної особи;
- виявлення недостовірних відомостей у поданих роботодавцем документах щодо виконання робіт підвищеної небезпеки або експлуатації (застосування) устаткування підвищеної небезпеки, на які видано дозвіл;
- повторне порушення вимог законодавства про охорону праці під час виконання робіт підвищеної небезпеки або експлуатації (застосування) устаткування підвищеної небезпеки, на які видано дозвіл;
- виникнення аварії, нещасного випадку, пожежі, вибуху якщо в акті розслідування встановлено, що причиною такої події стало недотримання вимог законодавства про охорону праці;
- створення перешкод під час проведення посадовими особами центрального органу виконавчої влади, що реалізує державну політику у сфері охорони праці, або його територіального органу перевірки додержання вимог законодавства про охорону праці під час виконання робіт підвищеної небезпеки або експлуатації (застосування) устаткування підвищеної небезпеки, на які видано дозвіл [14].

					MP 3.8.141.283 ПЗ	Арк.
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		43

При виявленні недоліків на підприємстві роботодавцю надається місяць на їх усунення, якщо протягом цього часу роботодавець не провів належних заходів з їх усунення місцевий орган виконавчої влади або орган місцевого самоврядування вживає заходів щодо скасування державної реєстрації цього підприємства у встановленому законом порядку.

Технологічні процеси, машини, механізми, устаткування, транспортні засоби, хімічні речовини і їх сполуки та інша небезпечна продукція, придбані за кордоном, допускаються в експлуатацію (до застосування) лише за умови проведення експертизи на відповідність їх нормативно-правовим актам з охорони праці, що чинні на території України. Не допускається застосування у виробництві шкідливих речовин у разі відсутності їх гігієнічної регламентації та державної реєстрації.

Усі дозволи, передбачені цією статтею, при здійсненні діяльності в межах території виключної (морської) економічної зони України та на континентальному шельфі на умовах угоди про розподіл продукції, укладеної відповідно до Закону України «Про угоди про розподіл продукції», надаються інвестору в порядку, встановленому Кабінетом Міністрів України [14].

### **3.3. Обов'язки працівника щодо дотримання вимог з охорони праці**

При виконанні обов'язків кожний працівник зобов'язаний:

- піклуватися про особисту безпеку та здоров'я, а також про безпеку та здоров'я оточуючих, виконуючи будь-яку роботу або перебуваючи у приміщенні;
- знати та дотримуватись вимог правил охорони праці, правил роботи з машинами, механізмами, обладнанням та іншими засобами виробництва, використовувати колективні та індивідуальні засоби захисту;
- проходити попереднє та періодичне медичне обстеження в установленому порядку. Співробітник несе пряму відповідальність за порушення цих вимог.

Комісія з охорони праці підприємства

					MP 3.8.141.283 ПЗ	Арк.
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		44

З метою забезпечення пропорційної участі працівників на підприємстві для вирішення будь-яких питань безпеки, охорони праці та виробничого середовища за рішенням колективу може створюватися комісія з охорони праці.

До складу комісії входять представники роботодавця та профспілки, а також уповноважена найманими працівниками особа, спеціалісти підприємства з безпеки, гігієни праці а інших служб відповідно до типових правил, затверджених спеціально уповноваженим центральним органом виконавчої влади у сфері безпеки, охорони праці та інших. послуги. нагляд за охороною праці[14]. Рішення комісії мають рекомендаційний характер. Обов'язковий медичний огляд окремих категорій працівників. Роботодавець зобов'язаний за свій рахунок організувати попередні (при прийомі на роботу) та періодичні (при прийомі на роботу) медичні огляди працівників, які виконують важку роботу, роботу зі шкідливими або небезпечними умовами праці або потребують вибору професії. Як обов'язковий щорічний медичний огляд осіб молодше 21 року.

За результатами періодичних медичних оглядів роботодавець повинен у разі потреби забезпечити виконання відповідних реабілітаційних заходів.

Медичні огляди проводять відповідні медичні установи, працівники яких несуть юридичну відповідальність за відповідність медичного висновку фактичному стану здоров'я працівника. Медичний огляд визначається спеціально уповноваженим центральним органом виконавчої влади у галузі охорони здоров'я. Роботодавець має право притягти до дисциплінарної відповідальності працівника, який ухиляється від обов'язкового медичного огляду в установленому законом порядку, а також звільнити його без збереження заробітної плати[14].

Роботодавець зобов'язаний власним коштом забезпечити перевірку працівників через ЗМІ:

- на вимогу працівника, якщо він вважає, що погіршення стану його здоров'я пов'язане з умовами праці;

					MP 3.8.141.283 ПЗ	Арк.
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		45

- з власної ініціативи, якщо стан здоров'я не дозволяє працівнику виконувати свої обов'язки;
- під час проходження медогляду зберігається місце роботи (посади) та середня заробітна плата працівників.

#### Наукові засади охорони праці

Національний науково-дослідний інститут безпеки та гігієни праці (НДІ) та галузеві науково-дослідні інститути з охорони праці займаються:

- а) розробкою та впровадженню науково обґрунтованих рішень щодо покращення умов та безпеки праці із залученням дослідників;
- б) прогнозування аварій та наслідків аварій;
- в) розробкою планів з локалізації та ліквідації аварій та пригод;
- г) моделювання аварійних ситуацій, а також розробка заходів щодо їх запобігання;
- д) моніторинг безпеки та умов праці;
- е) оцінкою ефективності управління охороною праці та технікою безпеки, розробкою рекомендацій щодо їх покращення.

#### Навчання з питань охорони праці

Робітники повинні знати про питання охорони праці. Усі працівники при прийнятті на роботу в процесі роботи зобов'язані проходити, за рахунок роботодавця, інструктаж на підприємстві, навчання з охорони праці, надання першої допомоги постраждалим від нещасних випадків і правил поведінки при нещасному випадку[14].

Співробітники, які працюють на робочих місцях з підвищеним ризиком або потребують професійного відбору, повинні проходити спеціальне навчання і щорічно перевіряти рівень знань відповідних нормативних актів з охорони праці. Перелік особливо небезпечних робіт затверджується спеціально уповноваженим центральним органом виконавчої влади з нагляду у сфері охорони праці. У зв'язку з організацією безпечної роботи при прийомі на роботу та кожні три роки штатні посадові особи проходять навчання, а також перевірку своїх знань з охорони праці за участю профспілок.

					MP 3.8.141.283 ПЗ	Арк.
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		46

## Фінансування охорони праці

Охорона праці фінансується працедавцем. Для працівників, які використовують найману працю, незалежно від форми власності або фізичних осіб, витрати на охорону праці становлять не менше 0,5% від продажу.

Витрати на охорону праці на бюджетних підприємствах покриваються за рахунок державного чи місцевого бюджету та становлять не менше 0,2% від фонду оплати праці[14].

Відповідно до законодавства, розмір витрат на охорону праці, що відноситься до сукупних витрат юридичної або фізичної особи, яка використовує найману працю, визначається відповідно до переліку заходів та засобів охорони праці, затвердженого Кабінетом Міністрів України.

Кошти галузевих та державних фондів охорони праці використовуються для реалізації галузевих та національних програм з охорони праці, науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт, що проводяться в рамках цих програм, для сприяння формуванню та розвитку профільних підприємств та виробництв, творчих колективів, науково-технічних колективів, експертних груп для заохочення людей, які ефективно працюють над вирішенням питань безпеки та гігієни праці.

Атестація робочих місць на відповідність вимогам нормативних документів.

Атестація робочого місця – це:

- виявлення факторів та причин виникнення небезпечних та шкідливих умов праці.
- виявлення факторів та причин виникнення установлення санітарно-гігієнічних умов виробничого середовища та виробничого процесу на робочому місці;
- підтвердження пільгової пенсії за роботу зі шкідливими та небезпечними умовами праці. Работодавець несе відповідальність за своєчасну та якісну атестацію вакансій.

					MP 3.8.141.283 ПЗ	Арк.
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		47

Атестаційна комісія у разі потреби із залученням фахівців інших організацій проводить регулярну атестацію робочих місць, не рідше одного разу на п'ять років, зазначені у колективному договорі.

Атестаційна комісія:

- а) організовує вивчення правил з питань атестації робочих місць;
- б) залучає організації, які мають право в установленому порядку підтверджувати вакансії;
- в) контролює та організує управління роботою при атестації робочих місць;
- г) спільно з санітарно-епідеміологічною службою розробляє плани розміщення обладнання, визначає межі та відповідну кількість робочих зон;
- д) виявляє небезпечні та шкідливі виробничі фактори та визначає важливість цих факторів;
- е) розробляє заходи щодо покращення умов праці та здоров'я працівників;
- ж) визначити "Карту умов праці" для атестованого робочого місця.

Співробітники інформуються про результати атестації робочих місць.

Порядок допуску до електромонтажних робіт

Безпека праці під час обслуговування та ремонту трансформаторів. Перед початком робіт в електроустановках необхідно провести організаційні та технічні заходи з метою безпеки. Організаційні заходи включають накази, розпорядження та дозволи на роботу, нагляд під час роботи, реєстрацію перерв у роботі, перекладів на інше робоче місце та завершення роботи.

Наряд - завдання щодо безпечного виконання робіт, що визначає їх місце та зміст, час початку та закінчення, необхідні заходи безпеки, колектив та осіб, відповідальних за охорону праці. Наряд виписується у особливій формі[14].

Розпорядження - це завдання на виконання роботи із зазначенням змісту, місця та часу роботи, заходів безпеки та осіб, яким доручено виконання цієї роботи.

Наряд та розпорядження оформляються особами з групою електробезпеки не нижче V в електроустановках з напругою понад 1000 В та не нижче IV в

					MP 3.8.141.283 ПЗ	Арк.
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		48



установках з напругою до 1000 В. Наряд на роботу виписується в двох екземплярах і видається оперативному персоналу безпосередньо перед початком підготовки робочого місця до роботи.

При роботі по наряді бригада повинна складатися з:

- виробника робіт;
- члена бригади.

Підрядник несе відповідальність за належну підготовку робочого місця та виконання заходів безпеки, необхідних для виконання робіт. Він також інструктує бригаду з цих заходів, забезпечує їх виконання її членами, стежить за справністю інструменту, такелажу, обладнання. Виробник робіт на електроустановках з напругою понад 1000 В повинен мати не менше IV, для установок до 1000 В та для індивідуальних робіт - не менше III групи[14].

Допуск здійснюється допускаючим – відповідальною особою з оперативного персоналу. Перед допуском до роботи відповідальний керівник і підрядник разом із допускаючим перевіряють виконання технічних заходів із підготовки робочого місця. Після цього допускаюча особа перевіряє відповідність бригади та кваліфікацію її членів, зачитує разом з іменами відповідального керівника, виробника роботи, членів екіпажу та зміст дорученої роботи; пояснює бригаді, де було знято напругу, де накладені заземлення, на яких частинах відремонтованих та суміжних з'єднань залишилося живлення та яких особливих умов експлуатації необхідно дотримуватися; показує бригаді межі робочого місця і слідкує за тим, щоб вони розуміли все сказане ним. Після пояснення особа, що допускає, доводить екіпажу відсутність напруги, наприклад, шляхом заземлення в установках вище 35 кВ, а в установках 35 кВ і нижче, утримуючи рукою індикатор напруги і струмопровідні частини в місцях де заземлення не видно із робочого місця[14].

Щоб уникнути порушень вимог безпеки, виконавець робіт або спостерігач здійснює нагляд з моменту прийому на роботу. Спостерігачу забороняється поєднувати контроль із виконанням будь-якої роботи та залишати групу без нагляду під час її виконання. Допускається короткочасна відсутність одного або

					МР 3.8.141.283 ПЗ	Арк.
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		49

кількох членів екіпажу. У разі відсутності виробника робіт, якщо відповідальний керівник або особа, яка надала наряд, або особа оперативного персоналу не може його замінити, бригада знімається з РУ, двері РУ зачиняються та робота переривається.

Періодично перевіряється дотримання чинних правил техніки безпеки. У разі порушення правил промислової безпеки або інших обставин, що загрожують безпеці робітників, у виробника робіт відбирається наряд а бригада буде знята з робочого місця.

У разі перерви в роботі, протягом робочого дня, бригада віддаляється з РУ, після перерви жоден із членів бригади не має права заходити в РУ за відсутності виконавця або спостерігаючого, так як, можуть відбутися зміни в схемі, виробництва робіт, що відбиваються на умовах. Після закінчення робіт робоче місце упорядковується, приймається відповідальним керівником, який після зняття робочої бригади підписує наказ про їх виконання. Оперативний персонал оглядає обладнання та робочі місця, перевіряє на відсутність людей, сторонніх предметів, інструментів, знімає заземлення та оглядає відповідно до прийнятих процедур обліку, знімає тимчасові огорожі, знімає плакати «Працювати тут », «Влізати тут », встановлює постійні огорожі на місце, знімає плакати вивішені перед роботою. Після закінчення робіт наряд закривають та включають електроустановку[14].

Технічні заходи включають відключення напруги та вжиття заходів щодо запобігання помилковому або мимовільному включенню комутаційного обладнання, вивішування забороняючих плакатів, перевірку відсутності напруги, заземлення, попереджень та плакатів.

Електроустановки напругою понад 1000 В з усіх боків, звідки може бути подана напруга на місце роботи, при відключенні повинен бути видимий розрив, що здійснюється відключенням роз'єднувачів, ізоляторів та вимикачів навантаження без автоматичного включення їх через пружини, на яких встановлені самі пристрої.

					MP 3.8.141.283 ПЗ	Арк.
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		50

Видимий розрив можна зробити, видаливши запобіжники або від'єднавши, або знявши шини та дроти. Трансформатори напруги та силові трансформатори відключаються з обох боків, щоб запобігти зворотню трансформацію. Для запобігання помилковому або мимовільному включенню комутаційних апаратів вживаються такі заходи:

- ручні приводи та стаціонарні огорожі фіксуються механічним замком;
- відключення силових та допоміжних ланцюгів, приводів, що мають дистанційне керування.
- у вантажних приводах вмикають навантаження, в пружинних приводах приводять їх до непряцюючого положення.

В електроустановках з напругою до 1000 В залежно від конструкції ручки або дверцята шафи замикаються, кнопки закриваються, між контактами встановлюються ізолюючі прокладки, кінці дротів від'єднуються від котушки перемикачів. Пристрої з видимими контактами відключаються, перевіряючи відсутність напруги. Забороняючі плакати «Не включати. Працюють люди», а на повітряних та кабельних лініях – «Не включати. Робота на лінії» вивішуються на приводах ручного і ключах дистанційного керування комутаційної апаратури. Залежно від місцевих умов та характеру робіт не відключені струмопровідні частини, доступні для випадкового контакту при роботі, захищаються щитами, встановлюються екрани з ізоляційних матеріалів, ізоляційні накладки або спеціальні пересувні огорожі[14].

Робоче місце захищають канатом з вивішеними на них плакатами «Стій. Напруга», оберненими всередину простору, що захищається. На конструкціях по яких дозволено підніматися, вивішують плакат «Працювати тут», на сусідніх- «Не влізай. Уб'є!». На всіх підготовлених робочих місцях після накладення заземлення і огорожі робочого місця вивішують плакат «Працювати тут». Під час роботи забороняється переносити або знімати плакати та тимчасові огорожі, заходити на території, що охороняються. Відсутність напруги перевіряється між усіма фазами, кожною фазою та землею, кожною фазою та нульовим дротом.

					MP 3.8.141.283 ПЗ	Арк.
						51
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

## РОЗДІЛ 4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

### 4.1. Термін окупності мГЕС

Для визначення терміну окупності нашої міні ГЕС необхідно встановити її вартість. Сумуючи ціни на обладнання, витрати на будівництво споруди, та всі відповідні роботи початкові витрати на таку станцію складають: 15 млн грн. Враховуючи темп інфляції 10% загальні витрати складають: 16,5 млн грн.

Розрахуємо щорічний дохід Кузменської мГЕС.

По зеленому тарифу для мГЕС ціна за 1 кВт-год електроенергії складає 3 грн. 30 коп [15]. За рік гідроелектростанція видає: 2628000 кВт-год електричної енергії. Отже річний дохід становить: 8672400 грн.

Потрібно врахувати щорічні затрати на експлуатацію та обслуговування в: 2000000 грн. Маємо, щорічний дохід в: 6672400 грн. Отже, термін окупності даної станції становить 2,5 роки, що є досить коротким сроком для такого типу електростанцій, та показує економічну доцільність даного проекту.

### 4.2. Вибір персоналу мГЕС

На гідроелектростанції повинні бути створені виробничі підрозділи, що забезпечують виконання функцій з експлуатації та технічного обслуговування: електротехнічного обладнання, гідротурбінного обладнання, гідротехнічних споруд та виробничих будівель, автоматизованої системи управління технологічними процесами.

Залежно від виробничої структури експлуатуючої організації ці функції можуть виконувати як відокремлені структурні підрозділи, створювані в

					МР 3.8.141.283 ПЗ			
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дат	Економічна частина	Арк	Аркуш	Аркушів
Розробив		Данильченко А. О.						
Перевірив		Василега П. О.					52	63
Реценз.						СумДУ ЕТ.м-01		
Н. Контр.		Никифоров М. А.						
Затверд.		Лебединський І Л						

експлуатуючій організації, на каскаді ГЕС, на окремій ГЕС, так і виділені у складі укрупненої структури групи та (або) окремі особи з числа штатного персоналу, а в окремих випадках – підрядні організації (крім оперативно-диспетчерського управління)[16].

На кожній гідроелектростанції повинні бути розподілені функції та межі обслуговування обладнання, технічних систем, будівель, споруд та комунікацій між виробничими підрозділами, а також визначені посадові функції персоналу.

Основними завданнями кожного із виробничих підрозділів ГЕС є:

- забезпечення надійної та безаварійної роботи закріплених за підрозділом обладнання, технічних систем, споруд, комунікацій, їх підтримання у безпечному стані та постійної готовності до роботи;
- досягнення оптимальних техніко-економічних показників роботи підрозділу та гідроелектростанції в цілому;
- забезпечення високого технічного рівня та культури експлуатації закріплених об'єктів;
- виконання підрозділом планових завдань [16].

Наказом керівника мають бути призначені особи, відповідальні за технічний стан та безпечну експлуатацію обладнання та гідротехнічних споруд, а також визначені посадові обов'язки всього персоналу за такими напрямками:

- управлінню технологічними процесами;
- організації контролю технічного стану обладнання, будівель та споруд;
- розроблення, організації та обліку виконання заходів,
- що забезпечують безпечну та економічну експлуатацію об'єкта;
- розслідування та обліку всіх порушень в експлуатації;
- контролю за дотриманням вимог нормативно-технічних документів з експлуатації, ремонту та налагодження [16].

Працівники гідроелектростанцій зобов'язані:

- підтримувати якість енергії, що відпускається - нормовану частоту і напругу електричного струму;
- дотримуватись оперативно-диспетчерської дисципліни;

					МР 3.8.141.283 ПЗ	Арк.
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		53

- утримувати обладнання, гідротехнічні споруди та виробничі будівлі у стані експлуатаційної готовності та безпеки;
- забезпечувати максимальну економічність та надійність виробництва електроенергії;
- дотримуватись правил промислової та пожежної безпеки в процесі експлуатації обладнання [16].
- виконувати правила охорони праці (правила безпеки);
- дотримуватись правил забезпечення безпеки гідротехнічних споруд у процесі їх експлуатації;
- знижувати шкідливий вплив виробництва на людей та навколишнє середовище;
- забезпечувати єдність вимірювань під час виробництва та передачі електроенергії;
- використовувати досягнення науково-технічного прогресу з метою підвищення економічності, надійності та безпеки, покращення екології ГЕС та навколишнього середовища [16].

На кожній гідроелектростанції з постійним обслуговуючим персоналом має бути організоване цілодобове оперативно-технологічне управління, завданнями якого є:

- ведення необхідного режиму роботи;
- дотримання диспетчерського графіка навантаження;
- виробництво перемикачів, пусків та зупинок обладнання;
- локалізація аварій та відновлення режиму роботи;
- підготовка режимів та допуск персоналу до виконання ремонтних робіт

До роботи на гідроелектростанціях допускаються особи з професійною освітою, а до управління роботою обладнання та споруди - також із відповідним досвідом роботи. Особи, які не мають відповідної професійної освіти або досвіду роботи, повинні пройти навчання за формою навчання, що діє в організації. Підготовку персоналу необхідно проводити на спеціально

					МР 3.8.141.283 ПЗ	Арк.
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		54

обладнаних полігонах, у навчальних класах, які оснащені технічними засобами навчання, укомплектованими викладацькими кадрами [16].

На кожній гідроелектростанції має бути створена технічна бібліотека з використанням паперових та електронних носіїв інформації, має бути забезпечена можливість персоналу користуватися підручниками, навчальними посібниками, технічною літературою, електронними навчальними базами даних, нормативними правовими та технічними документами, що належать до профілю [16].

На посади керівників структурних виробничих підрозділів ГЕС з експлуатації основного обладнання, технічних систем та гідротехнічних споруд призначаються особи, які мають вищу освіту та стаж роботи на інженерно-технічних посадах не менше трьох років або середню спеціальну освіту та стаж роботи на інженерно-технічних посадах не менше ніж п'ять років.

На посади старших майстрів цих підрозділів призначаються особи, які мають вищу освіту та стаж роботи на інженерно-технічних посадах не менше одного року або середню спеціальну освіту та стаж роботи на інженерно-технічних посадах не менше трьох років [16].

На посади керівників виробничо-технічних підрозділів (відділів, груп) призначаються особи, які мають вищу освіту та стаж роботи на інженерно-технічних посадах на гідроелектростанціях не менше трьох років або середню спеціальну освіту та стаж роботи на інженерно-технічних посадах на ГЕС не менше п'яти років .

На посади керівників оперативного персоналу (оперативних груп) призначаються особи, які мають вищу освіту та стаж роботи на посаді начальника зміни ГЕС (каскаду ГЕС) не менше ніж п'ять років.

Керівник оперативної групи каскаду ГЕС повинен мати кваліфікаційну групу з електробезпеки не нижче п'ятої.

На посади інспекторів з експлуатації та охорони праці можуть призначатися особи, які мають вищу інженерно-технічну освіту та практичний стаж роботи на підприємствах [16].

					MP 3.8.141.283 ПЗ	Арк.
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		55

На даній мГЕС повинна бути така структура працівників:

- директор, людина з вищою інженерно-технічною освітою та стажем роботи на керуючих посадах не менше п'яти років;
- головний інженер, повинен мати вищу інженерно-технічну освіту, та стажем роботи не менше трьох років;
- головний бухгалтер, повинен мати вищу або середню освіту та стажем роботи не менше трьох років.
- майстер, повинен мати вищу освіту та стаж роботи на інженерно-технічних посадах не менше одного року або середню спеціальну освіту та стаж роботи на інженерно-технічних посадах не менше трьох років.
- два машиніста, особи з вищою або середньотехнічною освітою з гідротехнічною спеціальністю, які пройшли спеціальну підготовку з натурних спостережень.
- два електромонтера, особи з вищою або середньотехнічною освітою з електро-технічною спеціальністю, які пройшли спеціальну підготовку, та мають третю групу допуску.

					МР 3.8.141.283 ПЗ	Арк.
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		56



## ВИСНОВКИ

1) Основою для початку проектування міні ГЕС являється аналіз гідрологічних характеристик річки та місця розташування станції. На основі цих даних визначено тип гідроелектростанції та гідротурбіни. У результаті проектування та розрахунків міні ГЕС на Куземенській греблі (р. Ворскла) встановлено, що при використанні двох гідротурбін Каплана синхронно працюючої з гідрогенератором СГИ–БК 150/14 УЗ можемо отримувати 300 кВт чистої електроенергії.

2) Головна схема повинна забезпечувати видачу потужності в різних експлуатаційних режимах відповідати вимогам надійності, зручності та безпечності експлуатації. Для гідроелектростанцій особливо рівень цих вимог підвищено через велику відповідальність в електропостачанні. В залежності від переданої потужності підвищується її складність та надійність. Створено головну електричну схему для Куземенської міні ГЕС, з одним підвищувальним трансформатором на два генератора. Доцільність такої схеми обумовлюється невисокою потужністю гідроелектростанції.

3) Головне електричне обладнання повинне забезпечувати безперебійну передачу електроенергії, велику безпечність та надійність. Для контролю роботи мережі в нормальному режимі передбачені трансформатори струму та напруги які зв'язані з захистом. Для захисту генераторів від міжфазних коротких замикань в обмотці статора та на шинах розрахований диференційний захист, розрахований захист від симетричних перенавантажень для запобігання недопустимих перенавантажень обмотки статора. Від тривалих перенавантажень та коротких замикань підібрані автоматичні вимикачі.

Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дат	МР 3.8.141.283 ПЗ			
Розробив		Данильченко А. О.			Висновки	Арк	Аркуш	Аркушів
Перевірив		Василега П. О.					57	63
Реценз.						СумДУ ЕТ.м-01		
Н. Контр.		Никифоров М. А.						
Затверд.		Лебединський І Л						

4) За допомогою програмного забезпечення SolidWorks було побудовано модель робочого колеса гідротурбіни Каплана. При моделюванні поведінки рідини в поворотно-лапотовому елементі гідротурбіни, було визначено найоптимальніший кут лопатей  $30^\circ$ , при якому досягається максимальна швидкість обертання гідротурбіни. Регулювання кута нахилу лопатей дозволяє регулювати швидкість обертання гідротурбіни, що відображається на вихідній потужності.

5) Режим роботи гідроелектростанції залежить від графіку навантаження енергосистеми. В напівпіковий та піковий період, з 6:00 по 22:00, станція працює на максимальній завантаженості, решту часу в режимі неповного завантаження або холостого ходу.

6) Термін окупності даної мГЕС при початкових витратах в 15 млн грн та інфляцією в 10% – 2,5 роки, що являється досить коротким терміном для даного типу станцій, та показує її економічну доцільність.

					MP 3.8.141.283 ПЗ	Арк.
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		58

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Водний і меліоративний фонди Сумської області : довідник. Суми, 2006. 128 с.
2. Данильченко О.С. Гідролого-географічна структура водних ресурсів Сумської області. Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. Київ: ВГЛ «Обрії», 2010. Т. 18. 260-266 с
3. Мала гідроенергетика України. Аналітичний огляд. Том I / Інститут проблем екології та енергозбереження Київ. 2018. 181с.
4. Мала гідроенергетика України. Аналітичний огляд. Том II / Інститут проблем екології та енергозбереження Київ. 2018. 181с.
5. RETScreen Software Online User Manual/ Small Hydro Project Model/Resources Canada 2001-2004. 109 art.
6. Технический каталог. URL: [http://www.ao-electromash.ru/files/TC2019\\_html/TC\\_2019.html](http://www.ao-electromash.ru/files/TC2019_html/TC_2019.html)
7. Трансформатор сухой силовой с литой изоляцией общего назначения ТЛС (ТСЛ): каталог. URL: <https://chebelektra.com/transformator/tsz400>
8. Остапчук Ж. І., Кулик В. В., Тептя В. В. Моделювання в задачах розвитку електричних систем. Вінниця: ВНТУ, 2008. 128 с.
9. Каталог продукции «Электрощит-Самара». URL: [https://www.electroshield.ru/catalog\\_electroshield.ru.pdf](https://www.electroshield.ru/catalog_electroshield.ru.pdf)
10. Трансформаторы тока измерительные: каталог. URL: <https://profsector.com/media/catalogs/59a30d60a4dbb.pdf>
11. Неклепаев Б. Н., Крючков И. П. Электрическая часть электростанций и подстанций. Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования: учеб. пособие для вузов. 4-е изд., перераб. и доп. Москва : Энергоатомиздат, 1989. 608 с.

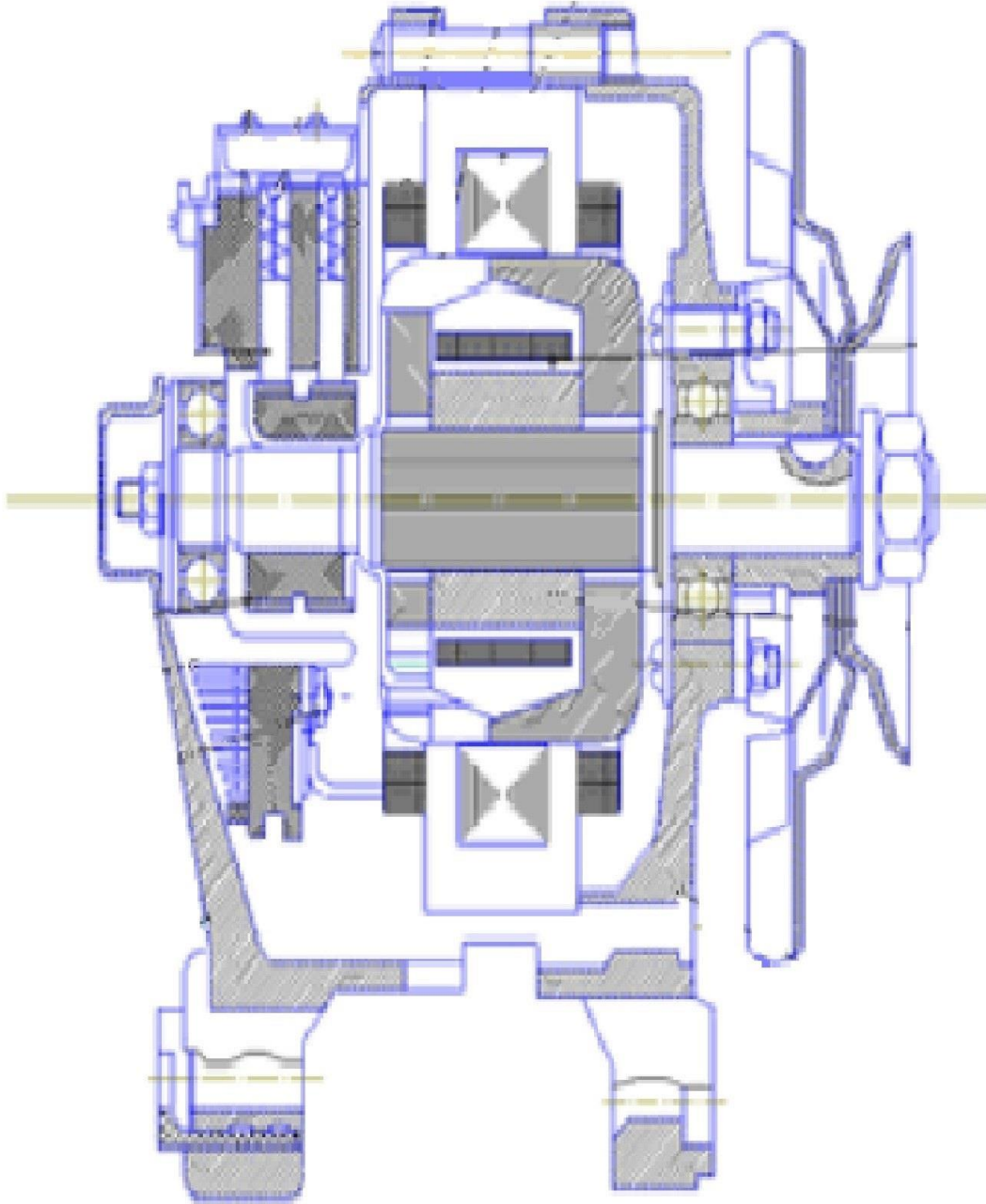
					MP 3.8.141.283 ПЗ					
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дат	Список використаних джерел					
Розробив	Данильченко А. О.							Арк	Аркуш	Аркушів
Перевірив	Василега П. О.								59	63
Реценз.								СумДУ ЕТ.м-01		
Н. Контр.	Никифоров М. А.									
Затверд.	Лебединський І Л									

12. SolidWorks [Електронний ресурс]: SolidWorks. Режим доступу : <http://www.solidworks.com>
13. Сайт УКРЕНЕРГО. URL: <http://ua.energy.com>
14. Про охорону праці : Закон України від 27.12.2019 р. № 2694-ХІІ. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12>
15. Ключова інформація для інвесторів у зелену енергетику («зелений» тариф). Інформаційний бюлетень// Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг. Київ, 2016. 8 с. URL: <http://www.nerc.gov.ua/?id=26426>
16. Довідник кваліфікаційних характеристик професій працівників. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0019558-01#Text>

					MP 3.8.141.283 ПЗ	Арк.
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		60

# Додаток А

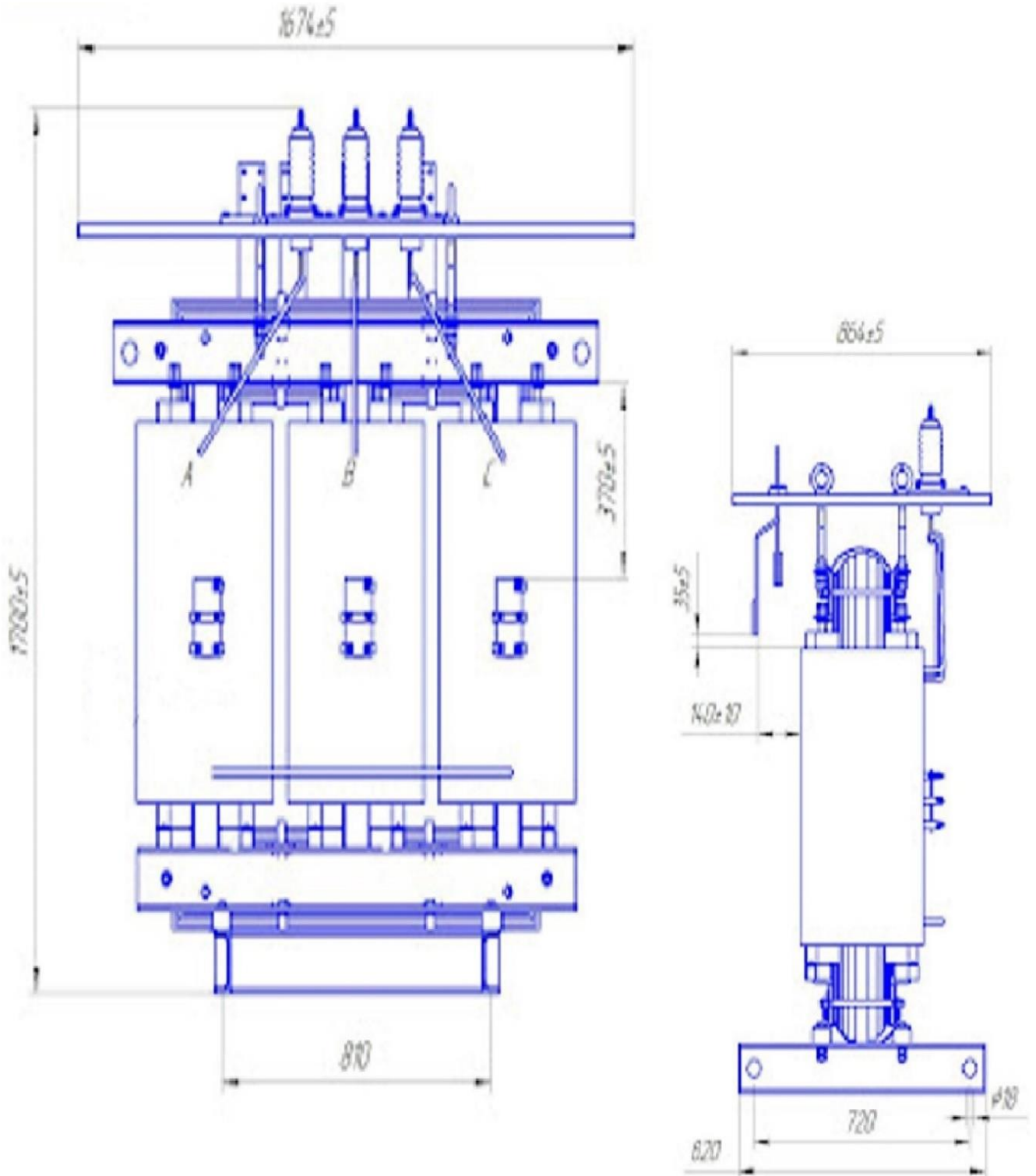
## Креслення гідрогенератора



					MP 3.8.141.283 ГЧ		
Изм./Лист	№ докум	Подп.	Дата	Аналіз та моделювання режимів роботи гідроелектростанції	Лист	Масса	Масштаб
Разраб.	Данильченко А.О.						
Пров.	Василега П.О.						
Т. Контр.	Никифоров М.А.				Лист 61	Листов 63	
Н. Контр.	Никифоров М.А.			СГИ-БК 150/14 У3	СумДУ ЕТ.М-01		
Утв.	Лебедінський Г.Л.						

Додаток Б

Креслення головного трансформатора



				МР 3.8.141.283 ГЧ			
Изм./Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Аналіз та моделювання режимів роботи гідроелектростанції	Лист	Маса	Масштаб
Разраб.	Данильченко А.О.						
Пров.	Васильєв П.О.						
Т. Контр.	Никифоров М.А.				Лист 62	Листов 63	
Н. Контр.	Никифоров М.А.				ТСЗ 400/10 - У3		
Чтб	Лебедюк Л.Л.			СумДУ ЕТ.м-01			

