

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
КАФЕДРА ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКИ

**Кваліфікаційна робота бакалавра**

зі спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

на тему: «**Проектування малої гідроелектростанції**»

Виконав:

студент групи ЕТ-61

Данильченко А. О.

Керівник:

Лебедка С. М.

Суми – 2020

# Сумський державний університет

Факультет ЕлІТ Кафедра електроенергетики  
Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Зав. кафедри електроенергетики  
І.Л. Лебединський  
“ \_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

## ЗАВДАННЯ на кваліфікаційну роботу бакалавра Данильченка Артема Олександровича (прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: « Проектування малої гідроелектростанції »

затверджена наказом по університету № \_\_\_\_\_ від \_\_\_\_\_

2. Термін здачі студентом закінченої роботи 01.06.2020 р.

3. Вихідні дані до роботи: характеристики гідротехнічних споруд, кліматичні дані території дослідження, гідрологічні показники регіону дослідження, дані каталогів та довідників електричних апаратів

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

Вступ (актуальність теми, мета, завдання роботи, об'єкт, предмет)

1. Мала гідроенергетика: теоретичні аспекти

2. Сучасний стан малої гідроенергетики України

3. Мала гідроенергетика Сумської області

4. Розміщення міні ГЕС та головне обладнання

5. Електрична частина

6. Охорона праці

Висновки

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень: картосхема річного гідроенергетичного потенціалу малих річок України, графік застосування турбіни, картосхема водосховищ та МГЕС Сумської області, головна схема Куземенської міні ГЕС, схема заміщення міні ГЕС, головна електрична схема

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Опрацювання літературних джерел та пошук матеріалів.	12.03.2020 – 12.04.2020	
2	Аналіз стану малої гідроенергетики України та Сумської області та оцінка гідроенергетичного потенціалу	18.03.2020 – 10.04.2020	
3	Вибір місця розташування міні ГЕС та тип гідротурбіни	10.04.2020 – 14.04.2020	
4	Розрахунок параметрів турбіни в програмному середовищі RETScreen4	14.04.2020 – 17.04.2020	
5	Вибір типу гідрогенератора та головного підвищувального трансформатора	17.04.2020 – 18.04.2020	
6	Розрахунок параметрів вибору основного обладнання	18.04.2020 – 01.05.2020	
7	Вибір основного обладнання міні ГЕС	01.05.2020 – 08.05.2020	
8	Розрахунок релейного захисту	08.05.2020 – 15.05.2020	
9	Оформлення бакалаврської роботи	15.05.2020 – 01.06.2020	

Студент

\_\_\_\_\_  
(підпис)

А.О. Данильченко

Керівник роботи

\_\_\_\_\_  
(підпис)

С.М. Лебедка

## РЕФЕРАТ

**Назва:** Проектування малої гідроелектростанції

**Автор:** Данильченко Артем Олександрович

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

**Ключевые слова:** гидроэнергетика, гидроэнергетический потенциал, малая ГЭС, мини ГЭС, RETScreen4, гидротурбина, гидрогенератор, ток короткого замыкания, электрическое оборудование, релейная защита.

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

**Бібліографічний опис:** Данильченко А.О. Проектування малої гідроелектростанції [Текст]: робота на здобуття кваліфікаційного ступеня бакалавра; спеціальність 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка напрям: 6.050701 – електротехніка та електротехнології / А.О. Данильченко; керівник С.М. Лебедка. – Суми: СумДУ, 2020. – 81 с.

**Короткий огляд (реферат):** У роботі розглянуто стан малої гідроенергетики України та Сумської області, гідроенергетичний потенціал річок України та регіону. З'ясовано можливість встановлення міні ГЕС та розраховано її номінальні параметри. Здійснено розрахунок та вибір електричних апаратів, обчислено диференційний захист.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1. МАЛА ГІДРОЕНЕРГЕТИКА: ТЕОРЕТИЧНІ АСПЕКТИ .....	9
1.1. Мала гідроенергетика, класифікація ГЕС.....	9
1.2. Технологічні особливості роботи малих ГЕС.....	12
1.3. Обладнання малих ГЕС, класифікація та характеристика гідротурбін.....	14
РОЗДІЛ 2. СУЧАСНИЙ СТАН МАЛОЇ ГІДРОЕНЕРГЕТИКИ УКРАЇНИ.....	17
2.1. Розвиток малої гідроенергетики в Україні.....	17
2.2. Гідроенергетичний потенціал малих річок України.....	24
2.3. Поточний стан малої гідроенергетики України.....	28
2.4. Перспективні напрямки розвитку малої гідроенергетики в Україні.....	32
РОЗДІЛ 3. МАЛА ГІДРОЕНЕРГЕТИКА СУМСЬКОЇ ОБЛАСТІ ТА .....	36
3.1. Становлення, розвиток та сучасний стан малої гідроенергетики Сумської області .....	36
3.2. Гідроенергетичний потенціал річок Сумської області.....	42
РОЗДІЛ 4. РОЗТАШУВАННЯ ПРОЕКТОВАНОЇ МІНІ ГЕС ТА ОСНОВНЕ Ї ОБЛАДНАННЯ .....	47
4.1. Критерії місця розташування міні ГЕС.....	47
4.2. Вибір та розрахунок гідротурбіни.....	47
4.3. Вибір гідрогенератора.....	50
РОЗДІЛ 5. ЕЛЕКТРИЧНА ЧАСТИНА.....	52
5.1. Вибір структурної схеми ГЕС.....	52
5.2. Вибір основного підвищувального трансформатора.....	53
5.3. Розрахунок струмів трифазного короткого замикання.....	54
5.4. Вибір вимикача та роз'єднувача низької напруги.....	58

<i>БР 3.6.141.283 ПЗ</i>				
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>
<i>Розроб.</i>				
<i>Перевір.</i>				
<i>Реценз.</i>				
<i>Н. Контр.</i>				
<i>Затверд.</i>		<i>Лебединський</i>		
Проектування малої гідроелектростанції				
Пояснювальна записка				
<i>Лім.</i>		<i>Лист</i>	<i>Листів</i>	
		5	5	
<i>СумДУ ЕТ-61</i>				

5.5. Вибір трансформатора струму та напруги на генераторній напрузі.....	59
5.6. Вибір вимикача та роз'єднувача на високій напрузі.....	58
5.7. Вибір трансформатора струму та напруги на високій напрузі.....	61
5.8. Диференційний захист.....	61
РОЗДІЛ 6. ОХОРОНА ПРАЦІ .....	65
6.1. Організація охорони праці.....	65
6.2. Вимоги щодо охорони праці під час проектування, будівництва та реконструкції підприємств .....	67
ВИСНОВКИ.....	70
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	73
ДОДАТКИ.....	77

## 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 здійснення проектування малої гідроелектростанції та встановлення перспектив розвитку малої гідроенергетики Сумської області.

					<i>БР 3.6.141.283 ПЗ</i>	Арк.
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		7

Для досягнення поставленої мети вирішувалися такі **завдання**:

- обґрунтувати теоретичні засади дослідження: базові поняття та підходи до класифікацій МГЕС;
- проаналізувати етапи становлення та сучасний стан малої гідроенергетики України та Сумської області;
- встановити гідропотенціал річок України та Сумської області;
- в'яснити критерії, які враховуються при будівництві міні ГЕС;
- визначити головну схему міні ГЕС;
- розрахувати параметри вибору електричного обладнання та здійснити їх вибір;

**Об'єкт дослідження:** мала гідроелектростанція, а саме спроектована 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.

					<i>БР 3.6.141.283 ПЗ</i>	Арк.
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		8



## РОЗДІЛ 1

### МАЛА ГІДРОЕНЕРГЕТИКА: ТЕОРЕТИЧНІ АСПЕКТИ

#### 1.1. Мала гідроенергетика, класифікація ГЕС

Одним з найперспективніших серед відновлюваних джерел енергії у світі сьогодні вважається гідроенергетика. Гідроенергетика – це галузь відновлюваної енергетики, що вивчає використання потенціальної та кінетичної енергії води шляхом перетворення її в електричну. Таке перетворення відбувається на гідроелектростанціях. При звичайній гідроелектричній схемі вода накопичується в резервуарі, що часто створюється перегородженням річки дамбою. Вода з резервуару подається на турбіни, з'єднані з електричним генератором. Одна п'ята частина електроенергії, що виробляється у світі – гідроелектрична

Освоєння потенціалу малих річок з використанням малих гідроелектростанцій (ГЕС) допомагає вирішити проблему покращення енергозабезпечення споживачів. Найбільш ефективними є малі ГЕС (МГЕС), що створюються на існуючих гідротехнічних спорудах. Мала гідроенергетика відноситься до технологічно освоєного способу виробництва електроенергії, що має досить гарантований поновлюваний енергоресурс та найменшу собівартість виробництва електроенергії серед традиційних паливних і більшості нетрадиційних технологій її виробництва.

Терміном «мала гідроенергетика» прийнято називати сукупність невеликих гідроелектростанцій, які працюють на малих та середніх річках. Але якщо підійти з іншого боку і глянути на масштаби в цілому, то так звана «мала» гідроенергетика потенційно може не лише змагатися з «великою», а й випереджати її за сукупним показником виробленої електроенергії, а вже разом

					Арк.
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	

вони здатні відчутно потіснити на ринку головних конкурентів, які працюють на ядерному та звичайному паливі, а насамперед – на природному газі.

Розвиток гідроенергетики має довгострокові економічні переваги, перш за все з позиції можливості її диверсифікації, більш ефективного багатоцільового використання гідроенергетичного потенціалу не тільки великих річок, а й малих. В даний час, економічні характеристики малих ГЕС поступаються великим гідроелектростанціям, інтерес до них відновився та постійно зростає. Пояснюється це тим що спорудження малої ГЕС не передбачає великих капіталовкладень і може бути побудована за рахунок коштів приватного сектора економіки, фермерських господарств і невеликих підприємств. Мала ГЕС, як правило, краща з екологічної точки зору, зокрема, не потрібно створювати великих водосховищ і відповідно великих площ затоплення [1].

Згідно Закону України «Про електроенергетику» потужність малої ГЕС не перевищує 10 МВт [2]. Відповідно до сучасної міжнародної класифікації за нормативом ООН, до малих гідроелектростанцій (МГЕС) відносять гідроелектростанції потужністю від 1 до 30 МВт, до міні ГЕС – від 100 до 1000 кВт, до мікро ГЕС – не більше 100 кВт [3]. У світовій практиці існують різні підходи до класифікації малих ГЕС (табл.1.1.).

У даний час немає загальноприйнятого для всіх країн поняття малої гідроелектростанції, однак у багатьох країнах в якості основної характеристики такої ГЕС прийнята її встановлена потужність та розділяють на:

- потужні ГЕС – більше 1000 МВт;
- середні ГЕС – від 30 до 1000 МВт;
- малі ГЕС – від 1 МВт до 30 МВт;
- міні ГЕС – від 100 кВт до 1 МВт;
- мікро ГЕС – менше 100 кВт.

Верхня межа потужності малої ГЕС в різних країнах оцінюється по різному, вона залежить від рівня розвитку енергетичного господарства країни,

					<i>БР 3.6.141.283 ПЗ</i>	Арк.
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		10

обсягів оборотного капіталу і прийняття програм структурування малої гідроенергетики. Умовними також є границі між малими, міні та мікро ГЕС.

**Таблиця 1.1**

**Класифікація ГЕС малої потужності у світовій практиці [4]**

Тип ГЕС Країни та організації	Малі ГЕС, кВт	Міні- ГЕС, кВт	Мікро- ГЕС, кВт
<b>IN-SHP</b> (Міжнародна мережа малої гідроенергетики)	501-10000	101-500	<100
<b>UNIDO</b> (Організація розвитку промисловості об'єднаних націй)	2001-10000	101-2000	<100
<b>ESHA</b> (Європейська асоціація малої гідроенергетики)	<15000	-	-
<b>OLADE</b> (Латиноамериканська енергетична організація)	501-5000	51-500	<50
<b>Китай</b>	501-50000	101-500	<100
<b>Швеція</b>	101-15000	-	-
<b>США</b>	<15000	501-2000	<500
<b>Індія</b>	<25000	<2000	<100
<b>В'єтнам</b>	501-5000	51-500	<50
<b>Японія</b>	<10000	-	-
<b>Франція</b>	2001-8000	501-2000	<500
<b>Індонезія</b>	<5000	-	-
<b>Норвегія</b>	<10000	-	-
<b>Канада</b>	<30000	<1000	-
<b>Аргентина</b>	<5000	<1000	-
<b>Бразилія</b>	<10000	-	-
<b>Італія</b>	<3000	-	-
<b>Росія</b>	<30000	-	-
<b>Україна</b>	<b>&lt;10000</b>	<b>&lt;1000</b>	<b>&lt;200</b>

Гідроелектростанції також поділяються залежно від максимального використання води:

- високонапірні – понад 60м;
- середньонапірні – від 25 м;
- низьконапірні – від 3 до 25 м.

Залежно від напору води, в ГЕС застосовуються різні види турбін. Для високонапірних – ковшові і радіально-осьові турбіни з металевими спіральними камерами. На середньонапірних ГЕС встановлюються поворотлопастні і радіально-осьові турбіни, на низьконапірних – поворотлопастні турбіни в залізобетонних камерах. Принцип роботи всіх видів турбін схожий: вода, що знаходиться під тиском (напір води), надходить на лопаті турбіни, які починають обертатися. Механічна енергія обертання турбіни передається на поєднаний з нею електрогенератор, який виробляє електроенергію. Турбіни розрізняються за деякими технічними характеристиками, а також камерами – залізними або залізобетонними, і розраховані на різний натиск води [5].

ГЕС також розділяються в залежності від принципу використання природних ресурсів, і, відповідно, концентрації води, що утворюється. Тут можна виділити наступні види ГЕС: руслові, пригреблеві, дериваційні, а також гідроакумулюючі.

## 1.2. Технологічні особливості роботи малих ГЕС

Традиційний спосіб виробництва електроенергії базується на використанні кінетичної енергії води, що утворюється під час падіння води з висоти і проходить через турбіну, обертаючи її та приводячи в дію електричний генератор. Кількість кінетичної енергії, що надходить до турбіни, визначається напором і витратою води, яка проходить через турбіну. Складові елементи об'єктів малої гідроенергетики є практично однаковими і включають турбіни, генераторні установки, будівлю електростанції, турбінний водовід, водоприймальну/водозабірну споруду, системи контролю і відвідний канал [5].

Руслові ГЕС – це зазвичай низьконапірні станції, де напір води створюється безпосередньо за рахунок побудованої греблі, яка повністю перегороджує річку і піднімає воду на потрібний рівень. Будівля ГЕС входить

					<i>БР 3.6.141.283 ПЗ</i>	Арк.
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		12

до складу греблі і безпосередньо приймає напір води. Інколи це єдина споруда, що здатна пропускати воду, оскільки в греблі не передбачені інші спеціальні водоспускні отвори чи шлюзи. Такі гідрооб'єкти будують на повноводних рівнинних річках та гірських річках, у місцях, де є вузьке русло з високими берегами.

Пригреблеві ГЕС – високонапірні станції, в яких будівля ГЕС розташована за греблею, в її нижній частині. Вода до турбін станції подається через спеціальні напірні лотки чи тунелі, а не безпосередньо як в руслових. Висота греблі в цьому випадку значно вища, ніж у руслових ГЕС, інколи це може бути і дві греблі. Обмежувальним чинником висоти греблі і водночас потужності таких ГЕС є площа затоплення і підтоплення навколишніх земель (не тільки прилеглих) [6].

Дериваційні ГЕС – станції, напір води для яких створюється за рахунок напірної чи безнапірної деривації. Під деривацією у гідротехніці розуміють сукупність гідротехнічних споруд, що відводять воду з річки, водосховища або іншої водойми і підводять її до відповідних гідротехнічних споруд. Розрізняють такі типи дериваційних споруд – безнапірні (канал, тунель, лоток) і напірні (трубопровід, напірний тунель). Напірний тип застосовується в тому разі, якщо є істотні (більше кількох метрів) сезонні або тимчасові коливання рівня води в місці її забору. Воду трубою, каналом чи лотком відводять з русла на певну відстань до споруди ГЕС, яка розташована нижче за течією. Такі станції доцільно будувати у тих місцях (переважно гірських), де великий похил річки. У випадку напірної деривації водовід прокладається під великим похилом, або ж будується гребля, яка створює водосховище — змішана деривація, бо використовує два способи створення необхідної концентрації води [6]. Дериваційні ГЕС застосовуються при широкому діапазоні напорів, починаючи від декількох метрів на малих ГЕС і до 2000 м (ГЕС Райссек в Австрії має напір 1767 м), і будуються звичайно в передгірних і гірських районах.

					<i>БР 3.6.141.283 ПЗ</i>	Арк.
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		13

Гідроакумулюючі ГЕС (ГАЕС) — здатні акумулювати вироблену надлишкову електроенергію в системі та генерувати її в періоди інтенсивнішого споживання. Принцип роботи таких електростанцій наступний: в певні проміжки часу (часи не пікового навантаження/споживання електроенергії), агрегати ГАЕС працюють як насоси, і закачують воду в спеціально обладнані верхні басейни. Коли виникає потреба в виробництві/споживанні електроенергії, вода з них поступає в напірний водопровід і, відповідно, приводить в дію гідравлічні турбіни з електрогенераторами.

Розташування ГЕС безпосередньо залежить від природних умов, наприклад, від характеру і режиму річки. У гірських районах зазвичай зводяться високонапірні ГЕС, на рівнинних річках діють установки з меншим напором, але з суттєво великою витратою води. Гідробудівництво в умовах рівнин складніше через м'яку геологічну основу, на якій будується гребля, а також необхідність мати великі водосховища для регулювання витрати стоку. Спорудження ГЕС на рівнинах викликає затоплення прилеглих територій, що обумовлює значні матеріальні збитки [6].

На гірських ріках зазвичай споруджують ГЕС з низьконапірними греблями або дериваційні ГЕС.

### **1.3. 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:

					<i>БР 3.6.141.283 ПЗ</i>	Арк.
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		14

- 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;
- 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.

Активні (вільноструменеві) турбіни використовують переважно кінетичну енергію струменя води, яка вільно витікає з сопла. Реактивні (напірноструменеві) використовують в основному потенційну частину енергії потоку. Кожен тип гідротурбін відповідає певному діапазону напору і витрати води і має свою область ефективного застосування.

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-лопатевими і радіально-осьовими пристроями, застосовують на середньонапірних ГЕС. На низьконапірних станціях малої потужності встановлюють турбіни поворотно-лопатєвого типу.

Основні типи турбін для МГЕС, а також їх застосування наведено в Додатку А. При виборі типу гідротурбін керуються діаграмою, наведеною на рис. 1.1.



Рис. 1.1. Графік застосування турбін [5]

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. Гідроенергетичні генератори (так само, як і інші види генераторів) підбираються відповідно до розміру і потужності турбін, які приводять їх в дію.



## РОЗДІЛ 2

### СУЧАСНИЙ СТАН МАЛОЇ ГІДРОЕНЕРГЕТИКИ УКРАЇНИ

#### 2.1. Розвиток малої гідроенергетики в Україні

Енергетичний потенціал малих річок на теренах України використовували здавна. Надзвичайно велике поширення мали в XVII ст. водяні млини на території України. У 1666 р. за розпорядженням керівництва гетьман Брюховецький провів перепис у містах, містечках, слободах та в селах. Окрім інших об'єктів переписані були водяні млини. Збережені переписні книги 1666 р. охоплюють тільки невелику частину України (від р. Сули до р. Ворскли). На 14 малих річках, які знаходяться в переписних книжках, було враховано близько 50 гребель та 300 водяних колес. Тільки на р. Удай врахували 9 гребель та при них 72 водяні колеса. На р. Псел тільки при 7 поселеннях, тобто тільки по невеликій частині середньої течії, було включено в переписну книгу 8 гребель та при них 64 водяні колеса, не враховуючи тих що відновлюються при греблі в м. Голтва [7]. Окрім вказаних млинів можна назвати ще існуючі у тому районі в XVII ст. на р. Удай млини в селищах Круче, Кебайловке, Каплинцях, Гурбинцях та ін. Також можна вказати додаткові дані по греблям XVII ст. і на інших українських річках. У кількості млинів нестачі не було. Але далеко не всі млини були побудовані задовільно. Безладно створені греблі досить часто заважали одна одній і викликали заболочення великих частин заплави річок.

Поряд із стаціонарними отримали значне розповсюдження плавучі млини. Так, у Києві у 1684 р. на березі річки Дніпро було зафіксовано плавучий млин «на двох байдарках». Вже у 1745 р. у Києві було близько 30 плавучих млинів, які облаштовувались на двох дубах (баржах або байдарках), між яких знаходилось водяне колесо.

					<i>БР 3.6.141.283 ПЗ</i>	Арк.
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		17

У 1890 р. на території сучасної України передовий європейський досвід із перетворення енергії потоку води в електричну енергію вперше впровадив у межах власної броварні в селі Фрідешово (зараз Кольчино Мукачівського району Закарпатської області) граф Ф. Шенборн. Для цього від річки Визниці тунелем було прокладено канал до гідроелектростанції, потужність якої становила 200 кВт. Незабаром ще одну малопотужну гідроелектростанцію було споруджено на водяному млині в Ужгороді.

На території центральної України перша мала ГЕС була побудована в 1912 р. на річці Південний Буг у містечку Тиврів (сьогодні – селище Тиврів, Вінницька область). Її потужність становила 50 кВт [8]. Через рік, у 1913 р. на р. Південний Буг у с. Сокілець Немирівського району Вінницької області запрацювала друга гідроелектростанція. Ініціатором її створення був тодішній власник цих земель – граф К. Потоцький. При розташуванні малої ГЕС у с. Сокілець оптимально використовувались природні особливості місцевості: оскільки річка утворює тут кількадеметровий водоспад, то паралельно до русла було побудовано дериваційний канал і встановлено шлюзи.

Для розвитку малої гідроенергетики можна виділити наступні етапи:

- I етап – зародження: освоєння енергії малих водотоків гідроелектростанціями потужністю в декілька десятків кіловат (1919-1945 рр.);
- II етап – зростання: будівництво сільських міжколгоспних та державних ГЕС укрупненої потужності (від 1 до 10 тис. кВт) (1945-1969 рр.)
- III етап – занепад (1969-1996 рр.)
- IV етап – відродження (з 1996 р.)

**I етап – зародження.** Бурхливий розвиток малої гідроенергетики в Україні розпочався на початку ХХ століття. Будівництво малих ГЕС було започатковане в 1923 р. У 1924 р. в експлуатації знаходились 84 малі ГЕС загальною потужністю 4000 кВт. У 1928 р. було зареєстровано всього 3707 гідроустановок загальною потужністю 44 тис. кінських сил (близько 32,4 тис. кВт),

					БР 3.6.141.283 ПЗ	Арк.
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		18

зокрема 770 турбінних установок загальною потужністю 21 тис. кінських сил (близько 15,5 тис. кВт) [8]. Серед них: Бугська (на р. Гірський Тікич), яка введена в експлуатацію в 1929 році (570 кВт), Вознесенська (1929-й, 840 кВт) та Сутиська на р. Південний Буг (1927-й, реконструйована в 1935-м до потужності 1000 кВт). У 1934 році була споруджена Корсунь-Шевченківська станція (1650 кВт) на річці Рось, що працює донині. В 1935-1937-му введені Шумська ГЕС (120 кВт), Потушська (32 кВт), Писаревська (160 кВт), Білоусівська (88 кВт) в басейні р.Південний буг на річці Сільниця, Березовська (108 кВт), Клебанська (64 кВт) та інші. У західних регіонах України на деяких річках стояли десятки водяних млинів, оснащені малими генераторами потужністю 5-25 кВт. Це були найпростіші мікро-ГЕС, і вони забезпечували переважно локальні потреби в електричній енергії.

Побудовані у цей проміжок часу малі ГЕС мали багато недоліків. Через відсутність кваліфікованих кадрів, якісних матеріалів та оснащення рівень їх експлуатації був невисокий. Більшості малих ГЕС були притаманне недостатнє використання стоку річок, повне припинення ГЕС в період паводків. Через вирівнювання рівня води у верхньому та нижньому б'єфах, нестійкі режими робіт з різкими змінами напруги та частоти струму при коливанні навантажень.

З 1939 р. на Україні починається будівництво дрібних колгоспних гідроелектростанцій. За два роки їх було побудовано 78, потужністю 15-50 кВт кожна. У період 1939-1940 рр. малі ГЕС будувалися, головним чином, з використанням готових споруд, гребель млинових будівель, а іноді навіть турбін, що стояли на млинах. Новими ГЕС у цей період була Боярська станція в Київській області (15 кВт), Літвіновичеська ГЕС у Сумській області (35 кВт), Будищанська ГЕС (60 кВт) у Чернігівській області та ряд інших [9].

До початку Великої Вітчизняної війни в УРСР нараховувалося близько 100 малих сільських гідроелектростанцій загальною потужністю до 9 тис. кВт. За час німецької окупації значна частина цих гідроелектростанцій була зруйнована. Відновлення

					<i>БР 3.6.141.283 ПЗ</i>	Арк.
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		19

сільських гідроелектричних станцій почалося з перших днів визволення території. Знову було розпочато будівництво Скибинецької ГЕС у Київській області, де встановлювалася нова турбіна при раніше існуючому млині [8].

*II етап – зростання.* У 1945-1946 рр. на Україні було введено в експлуатацію 293 малі ГЕС загальною потужністю 5180 кВт. З 1946 р. спостерігається вже масовий пуск малих ГЕС. На початок 1946 р. в Україні було зареєстровано більше 2600 колгоспних і державних водяних млинів загальною потужністю (без млинів Закарпатської області) близько 30 тис. кВт, із яких значна потужність припадає на млини, обладнані турбінами, хоча за кількістю переважна більшість млинів обладнані водяними колесами. У Вінницькій області за сім місяців 1946 р. було введено в дію 140 малих ГЕС, будівництво здійснювалося головним чином шляхом пристосування існуючих млинів. На млині встановлювався електрогенератор потужністю 3- 50 кВт і від нього будували електромережу. Рідше встановлювали нову турбіну і ще рідше зводили нові гідропоруди. У західних регіонах України на деяких річках стояли десятки водяних млинів, оснащених малими генераторами потужністю 5-25 кВт. Це були найпростіші мікро-ГЕС та забезпечували переважно автономне місцеве навантаження. У Донецькій області, де раніше не було водяних млинів розгорнулося будівництво нових гідроелектричних станцій на 10-14 об'єктах. Необхідно відмітити, що установка на млинах малопотужних електрогенераторів не дала бажаного ефекту з електрифікації сільського господарства. Такі генератори забезпечували тільки освітлення, і цього було недостатньо.

Нові, більш потужні станції проектувалися і споруджувалися в 50-і роки. На Закарпатті було побудовано близько 30 невеликих ГЕС, зокрема Усть-Чорненська (400кВт), Углянська (250 кВт), Тур'є-Реметська (360 кВт), Діловська, Керецковська, Ставнянська та ін. Відновлені Ужгородська (1900 кВт) і Оноківська (2650 кВт) ГЕС. На основі Корсунь-Шевченківської (1650 кВт), Стеблівської

					БР 3.6.141.283 ПЗ	Арк.
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		20

(2800кВт) і Дибненської ГЕС (560 кВт) була створена і функціонувала перша в Україні місцева сільська енергосистема, до складу якої входила також Юрківська ГЕС (2000 кВт). Були побудовані Ладижинська і Глибочокська малі ГЕС потужністю 7500 кВт кожна [4].

Усього на початок 1960-х років в Україні налічувалося близько 956 малих ГЕС загальною потужністю 30 тис. кВт.

**III етап – занепад.** У 70-х роках зі створенням потужних об'єктів атомної і теплової енергетики, мала гідроенергетика стала занепадати. Зростання централізації енергопостачання, низькі ціни на паливо та електроенергію для відомств і підприємств, на балансі яких знаходилися малі ГЕС – це причини, через які станції втратили свою доцільність, почалася їх консервація та стихійний демонтаж.

Сотні малих ГЕС були занедбані, гребельні споруди зруйновані. Будівлі станцій стали використовуватись під склади або для інших господарських потреб, що призвело до дренажу дамб, деформації щитів, непридатності підйомних механізмів. Дериваційні канали заросли лісом, були засипані або забудовані, водойми замулені, греблі використовувалися тільки в якості мостових переходів.

У цей час будувалися досить потужні іригаційні системи без урахування можливості спорудження на них гідроенергооб'єктів. У процесі гідромеліоративного будівництва в Україні передбачалося на 100 водосховищах побудувати малі ГЕС, однак не було споруджено жодної.

До кінця 1980-х збереглося всього 49 станцій, і до 1995 року малою гідроенергетикою в Україні практично ніхто не займався. Протягом 1984- 1988 рр. виконано обстеження технічного стану устаткування і споруд існуючих малих ГЕС. Аналіз цих матеріалів показує, що в даний час на території України збереглося 150 малих гідроелектростанцій, які створюють дві групи: діючі (49 одиниці) і не діючі (101 одиниці) [10].

					БР 3.6.141.283 ПЗ	Арк.
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		21

*IV етап – відродження.* У 1997 р. була затверджена Довгострокова програма реабілітації 35 гідроелектростанцій на малих річках загальною потужністю 77419 кВт, які знаходились на балансі Міненерго України, зокрема Тересля - Рікська ГЕС .

У період 2000-2006 рр. в Україні почався процес реконструкції малих ГЕС, причому без використання бюджетних коштів. Були реконструйовані та відновлені Корсунь- Шевченківська (1650 кВт), Снятинська (800 кВт), Сандрацька (640 кВт), Юрпольська (550 кВт), Гордашівська (400 кВт), Коржівська (400 кВт), Кунцівська (400 кВт), Остапівська (375 кВт), Сухобаровська (330 кВт), Гальжбіївська (250 кВт), Петрашівська (250 кВт), Сідневська (230 кВт), Лисянська (200 кВт) малі ГЕС [8].

Після прийняття змін до Закону України «Про внесення змін до Закону України «Про електроенергетику» щодо стимулювання використання альтернативних джерел енергії» [11] завдяки введенню «зеленого» тарифу процес відновлення станцій став більш привабливим, адже період окупності скоротився з 7-15 років до чотирьох, а рентабельність збільшилася з 8-10 до 30%.

За 2009 рік в Україні було введено в експлуатацію 2 малі ГЕС: Лоташівська в Черкаській області потужністю 315 кВт та Яблунецька потужністю 1000 кВт у Чернівецькій області (на межі з Івано-Франківською обл.). У таблиці 2.1 наведена інформація щодо динаміки загальної кількості малих ГЕС в Україні та їх потужності протягом ХХ - початку ХХІ століття.

З 2006 р. по 2008 р. кількість МГЕС зросла із 67 до 86. У період з 2008 р. по 2009 р. кількість МГЕС різко зменшилась і становила 46. Після такого різкого спаду, у період з 2009 р. по 2015 р. кількість станцій зросла із 46 до 105, що було позитивним для розвитку малої гідроенергетики. Узагальнена інформація щодо поточного стану малих гідроенергетичних об'єктів та потенціалу малої гідроенергетики України представлена у додатку Б.

					<i>БР 3.6.141.283 ПЗ</i>	Арк.
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		22

Таблиця 2.1.

## Загальна кількість МГЕС в Україні протягом ХХ – початку ХХІ ст. [7]

Рік	Кількість МГЕС	Загальна потужність, кВт
1924	84	4000
1929	150	8400
1941	100	9000
1946	2600	30000
1948	700	-
1950	956	29985
1960	близько 1000	-
1989	49	-
2006	67	107000
2007	73	-
2008	86	110740
2009	46	49200
2010	60	62600
2011	79	110740
2012	81	85000
2013	84	75000
2015	105	82000

У 2015 р. працювало 114 МГЕС (Додаток Б), зокрема, 7 мікро- ГЕС, які мали загальну встановлену потужність 94,2 МВт та виробили у 2014 р. 342,2 млн. млн кВт-год електроенергії, зокрема, у Чернівецькій області 1 діюча та 2 недіючих МГЕС, в Закарпатській області 6 діючих МГЕС, в Івано-Франківській області 4 діючих та 13 недіючих МГЕС, в Львівській 2 діючих та 7 недіючих МГЕС. Інформація щодо мікро- ГЕС потужністю менше 50кВт практично відсутня. Наразі існує 106 недіючих МГЕС загальною потужністю 26,0 МВт та можливим середнерічним виробництвом 98,4 млн. млн кВт год електроенергії, що говорить про наявність суттєвого гідроенергетичного потенціалу. За даними [4] з 2009 р. по 2017 р. кількість МГЕС невинно зростає з 32 до 136 (рис. 2.1).

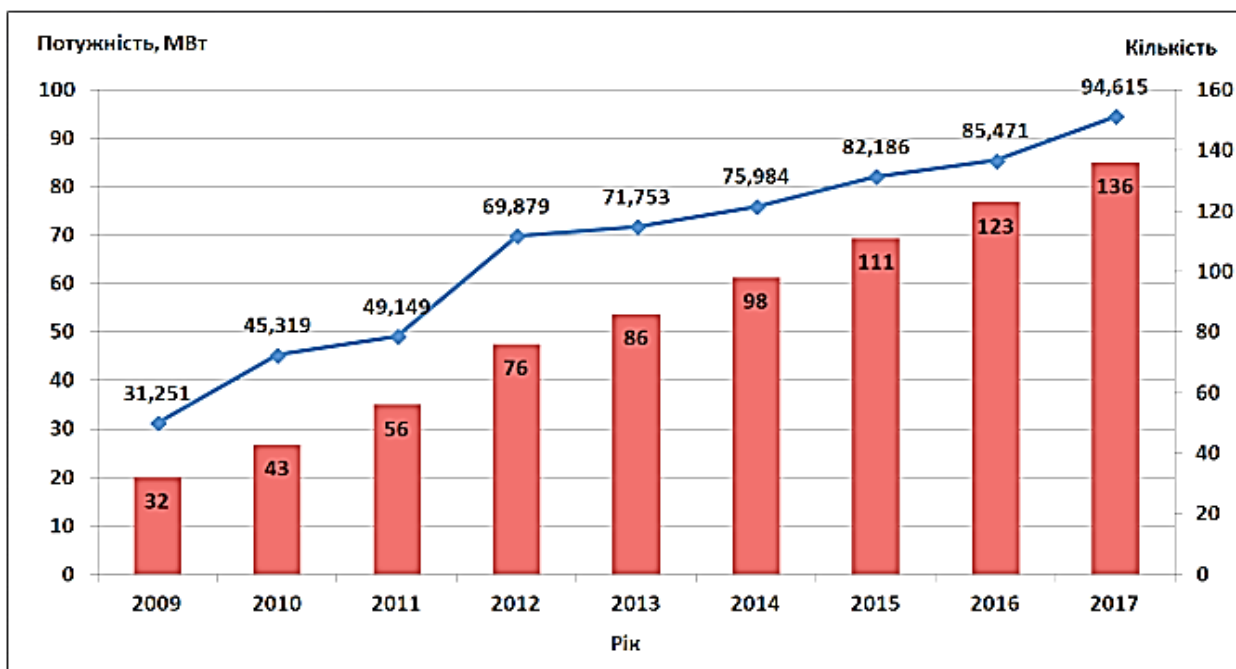


Рис. 2.1. Встановлена потужність та кількість об'єктів малої гідроенергетики України, що працюють за «зеленим» тарифом, за 2009-2017 рр.

За цей період встановлена потужність малих гідроелектростанцій збільшилась на 63 МВт. Динаміка уведення в експлуатацію об'єктів малої гідроенергетики України, що працюють за «зеленим» тарифом, та їх встановлена потужність за 2009-2017 рр. демонструє стабільні показники щорічного впровадження в експлуатацію біля 10 малих ГЕС з сумарною встановленою потужністю від 3 до 20 МВт.

## 2.2. Гідроенергетичний потенціал малих річок України

В Україні налічується понад 63 тисячі малих рік та водотоків 2728 загальною довжиною 135800 км, з них близько 60000 (95%) – дуже малі (довжина менше 10 км), їхня сумарна довжина – 112000 км, тобто середня довжина такого водотоку – 1,9 км. Більшість малих рік довжиною менше 10 км мають площу водозбору від 20,1 до 500 км<sup>2</sup> (87% усієї кількості і 72% всієї



довжини малих річок України) [12].

Річкова мережа належить до водозборів річок Вісли, Дунаю, Дністра, Південного Бугу, Дніпра, Сіверського Дінця, регіонів Приазов'я. Близько 98% території України належить до басейнів Чорного і Азовського морів і 2% до басейну Балтійського моря. Із загальної кількості річок 28% припадає на водозбір Дніпра, 26% - Дунаю, 24% - Дністра, 9% - Південного Бугу, решта 13% - на інші території (Додаток В). Найбільшою водоносністю відрізняються річки Карпат.

Україна має потужні ресурси гідроенергії малих річок. Загальний гідроенергетичний потенціал малих річок України становить близько 12,5 млрд. кВт-год, що складає близько 28% загального гідропотенціалу всіх річок України [4]. Головною перевагою малої гідроенергетики є дешевизна електроенергії, відсутність паливної складової, позитивний економічний ефект. Розподіл енергетичного потенціалу (загальний, технічний та економічний доцільний) малих річок в цілому по Україні наведено в таблиці 2.2, а по областях на рис. 2.2. Найбільший загальний гідроенергетичний потенціал малих річок України зосереджено у Закарпатській області (36% загального). Якщо взяти загальний гідроенергетичний потенціал малих річок Карпатського регіону (Закарпатська, Чернівецька, Івано-Франківська та Львівська області), то він буде складати 7628,7 млн. кВт-год/рік, або 61% загального. Мінімальний загальний гідроенергетичний потенціал малих річок представлений у Херсонській області, лише 2 млн. кВт-год/рік.

					<i>БР 3.6.141.283 ПЗ</i>	Арк.
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		25

## Гідроенергетичний потенціал малих річок України

Загальний потенціал		Технічний потенціал		Доцільно-економічний потенціал	
млрд. кВт-год/рік	млн. т у.п./рік	млрд. кВт-год/рік	млн. т у.п./рік	млрд. кВт-год/рік	млн. т у.п./рік
12,5	4,5	8,3	3,0	3,7	1,3

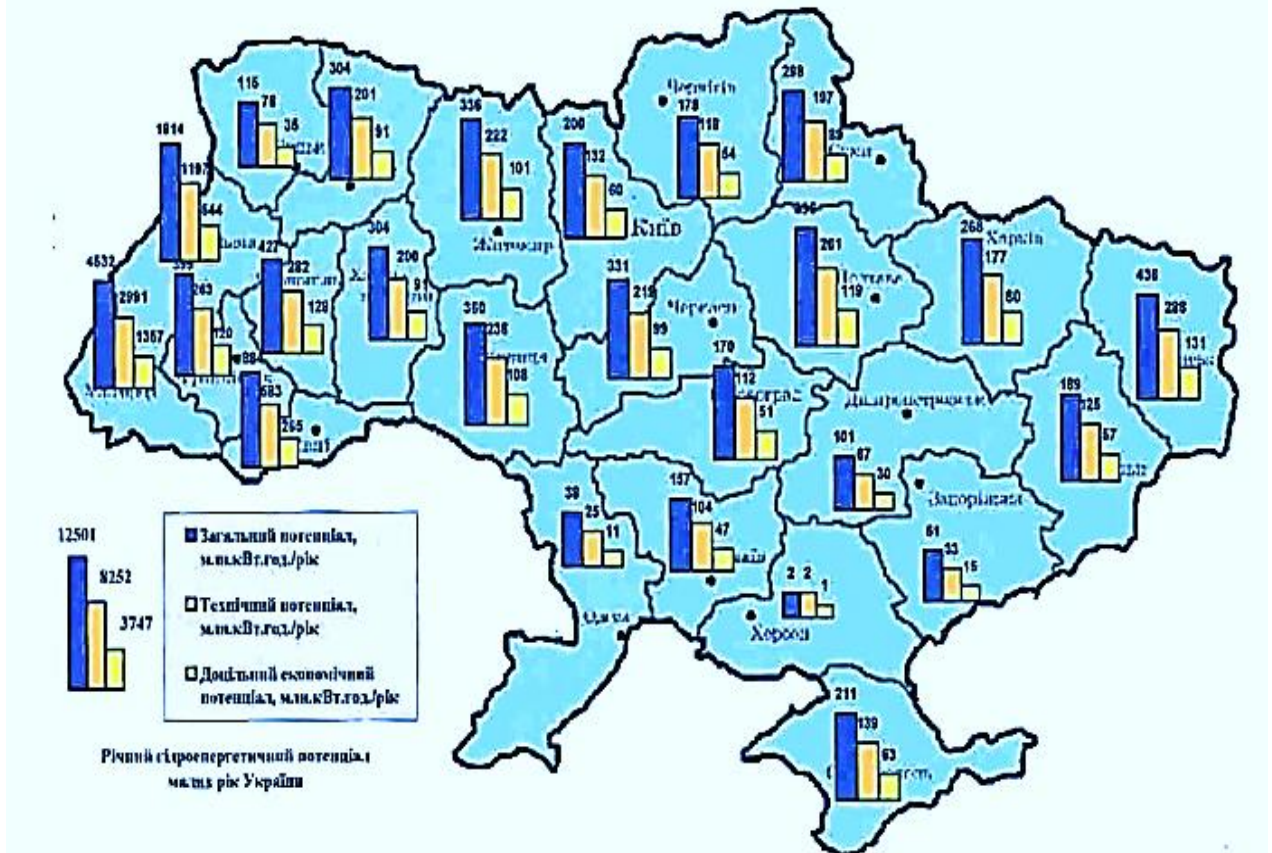


Рис. 2.2. Картографічна схема річного гідроенергетичного потенціалу малих річок за областями України [13]

Значення технічного потенціалу гідроенергетичних ресурсів малих річок країни знаходиться на рівні 1270 млн. кВт-год/рік, з них освоєно близько 250 млн. кВт-год/рік. Найбільший технічний потенціал гідроенергетичних ресурсів малих річок зосереджений в Карпатському регіоні (76%) та сягає 965 млн. кВт-год/рік (285 МВт). Другою за обсягом гідроенергетичного потенціалу є Правобережно-Дніпровська гідрологічна зона (14%). На лівобережній частині країни потенціал складає 6%. До малоперспективних територій для розвитку

малої гідроенергетики відносяться Західна та Поліська гідрологічні зони (разом 4%) (рис. 2.3).



Рис. 2.3. Технічний гідроенергетичний потенціал малих річок України за гідрологічними зонами [4]

Відповідні значення потужності малих ГЕС складають (станом на кінець 2015 року): загальна потужність - 375 МВт, знаходиться в експлуатації - 83 МВт (освоєний потенціал (22% технічного гідроенергетичного потенціалу)), підлягає відновленню - 12 МВт, залишається неосвоєним - 280 МВт (рис. 2.4).



Рис. 2.4. Освоєння технічного гідроенергетичного потенціалу малих річок України

Доцільно-економічний потенціал (частина енергії загального потенціалу відновлювальних джерел енергії, використання якої є доцільним з урахуванням економічних, політичних, суспільних, екологічних та інших чинників) становить 3,7 млрд кВт-год/рік, що становить майже 30% загального гідропотенціалу малих річок України.

### 2.3. Поточний стан малої гідроенергетики України

Частка гідроенергетики у загальному виробництві електроенергії України становить 6% (9004 млн. кВт-год), а частка малої гідроенергетики лише 0,13% (189 млн. кВт-год) (табл. 2.3), (рис. 2.5). Хоча мала гідроенергетика України у зв'язку з незначною питомою вагою у загальному енергобалансі не може суттєво впливати на умови енергозабезпечення країни, однак експлуатація МГЕС дає можливість виробляти близько 189 млн кВт-год, що еквівалентно економії до 57 тис. т дефіцитного органічного викопного палива [4].

У загальній структурі встановленої потужності електростанцій України на гідроелектростанції припадає лише 10%, а на малі ГЕС всього 0,015% (табл. 2.3), (рис. 2.5).

Таблиця 2.3.

#### Встановлена потужність і відпуск електроенергії за типами електростанцій України за 2016 рік [14]

Типи генеруючих підприємств	Встановлена потужність електростанцій, тис. кВт	Відпуск електроенергії, млн. кВт-год
Теплові електростанції (ТЕС)	27489	50215
Теплоелектроцентраль (ТЕЦ)	10569	11078
Атомні електростанції (АЕС)	13835	75931
Гідроелектростанції (ГЕС)	6167	9004
з них малі ГЕС (МГЕС)	<b>90</b>	<b>189</b>
Інші електростанції	1115	1549
Усього	59176	147777

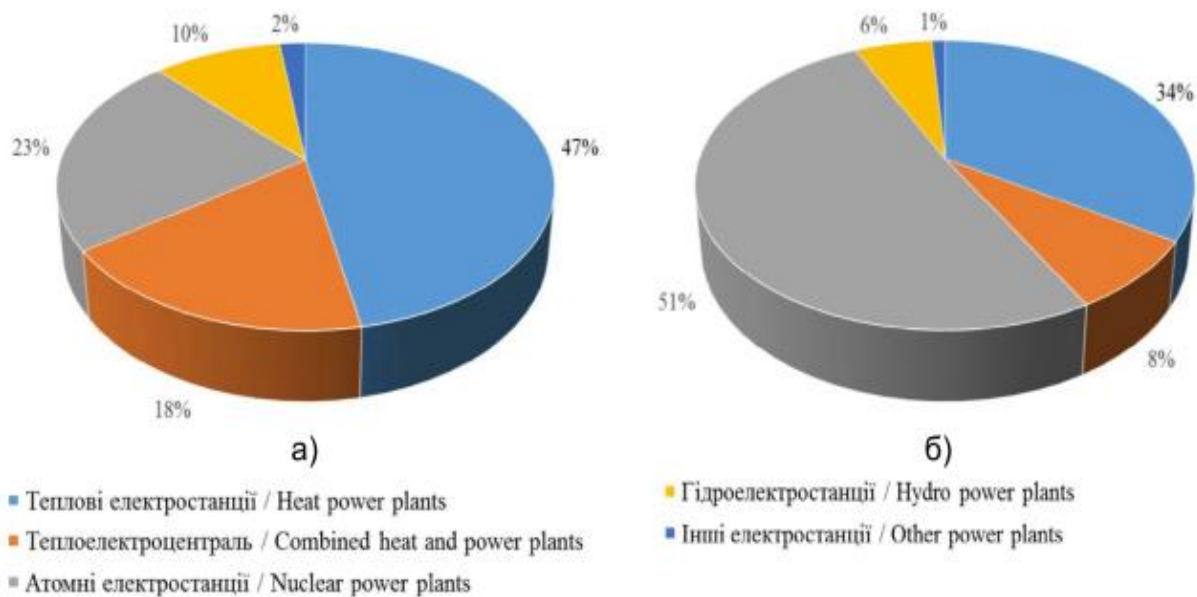


Рис. 2.5. Встановлена потужність електростанцій України (а) та відпуск ними електроенергії (б) на кінець 2016 року [15]

Частка малої гідроенергетики у загальному виробництві електроенергії об'єктами відновлюваної енергетики, що працюють за «зеленим» тарифом в Україні, у 2017 році склала 10,15%. Частка малої гідроенергетики у загальній встановленій потужності об'єктів відновлюваної енергетики, що працюють за «зеленим» тарифом, у 2017 році склала 6,89% [4].

Сектор малої гідроенергетики характеризується постійним зростанням. З 2013 року потужність малих ГЕС збільшилась на 23% (з 73 МВт на початку 2013 року до 90 МВт на кінець 2016 року). Потужність та обсяг виробництва електроенергії малими гідроелектростанціями, що працюють за «зеленим» тарифом, з 2013-2016 років наведено на рис. 2.6.

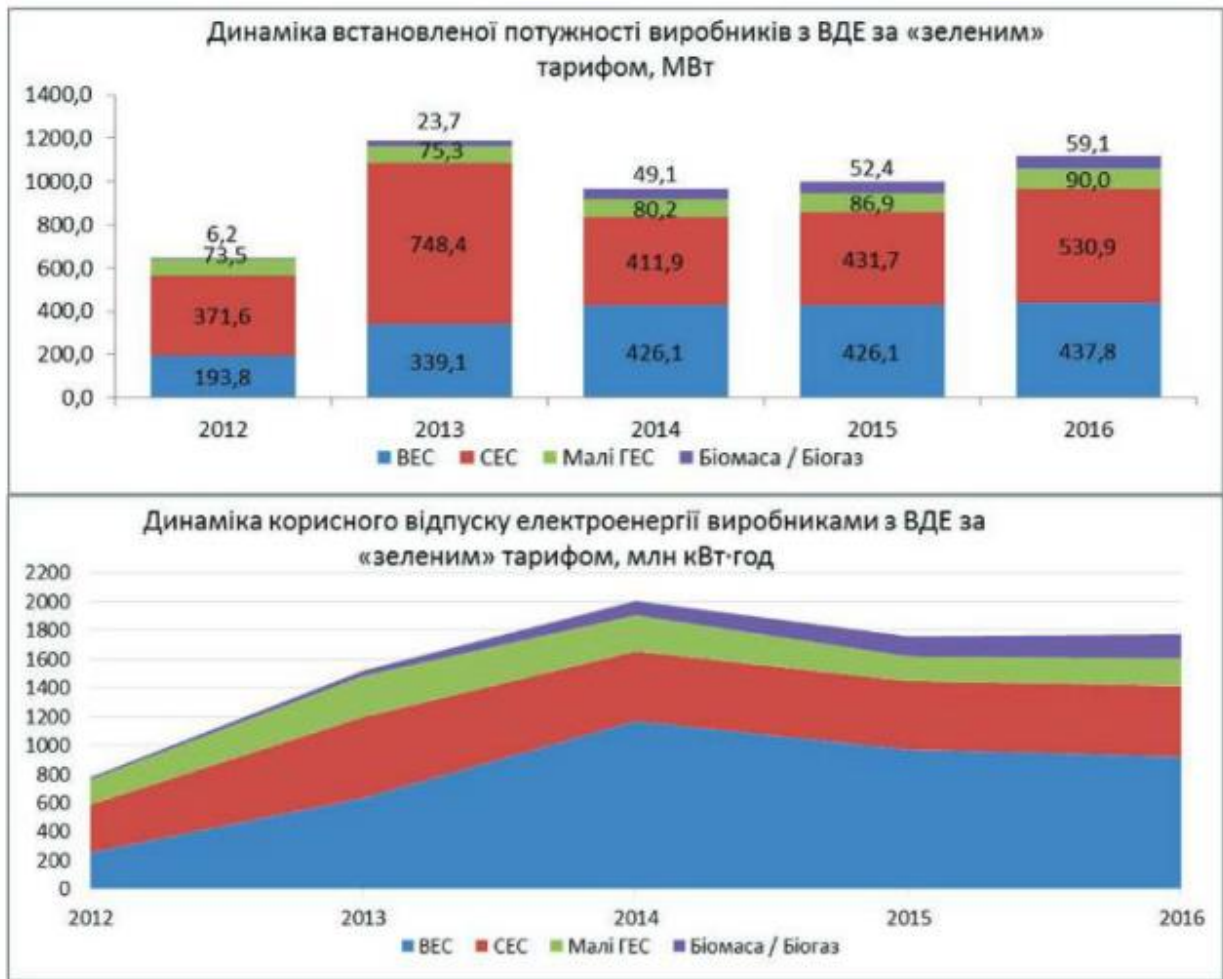


Рис. 2.6. Динаміка зростання встановленої потужності та корисного відпуску електроенергії виробниками ВДЕ за «зеленим» тарифом за 2012-2016 рр. [16]

Хоча кількість МГЕС та їх потужність характеризується постійним зростанням (див. рис. 2.1), але обсяг електроенергії, виробленої об'єктами малої гідроенергетики у 2013-2016 роках характеризується зменшенням на 34% (з 286 млн кВт-год у 2013 році до 189 млн кВт-год у 2016 році) (рис. 2.7), цей факт можна пояснити зменшенням водності річок, внаслідок чого коефіцієнти використання встановленої потужності демонструють поступове зменшення цього показника для малої гідроенергетики майже в 2 рази порівняно з 2013 роком. Але вже у 2017 році відбулося зростання обсягу електроенергії, виробленої МГЕС до 212,537 млн кВт-год.

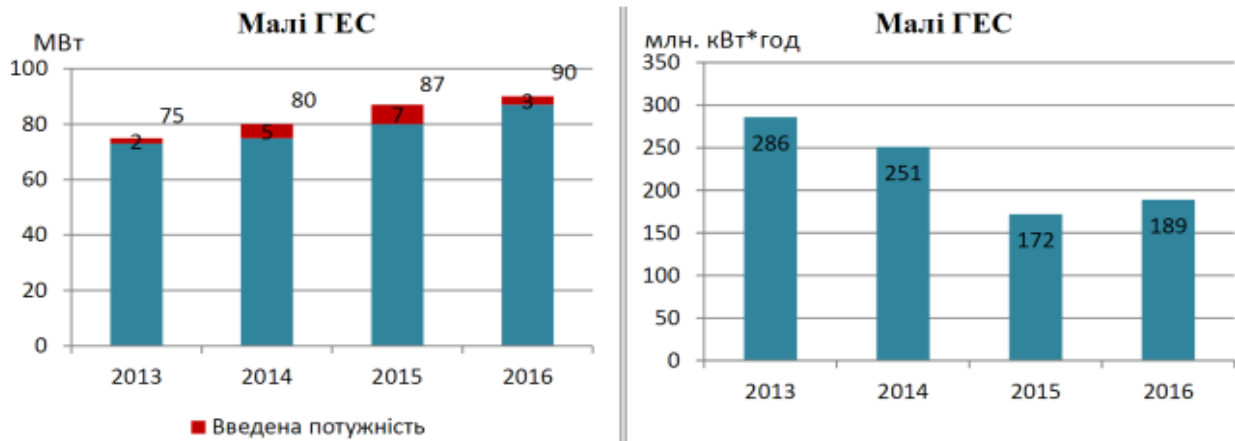


Рис. 2.7. Потужність та обсяг виробництва електроенергії малими ГЕС у період 2013-2016 рр. [17]

Станом на 01.01. 2018 року в Україні за даними [18] зареєстровано 136 малих ГЕС загальною потужністю близько 94,615 МВт, які загалом виробили в 2017 році 212,537 млн кВт-год та експлуатуються 60 суб'єктами господарювання за «зеленим» тарифом.

Переважає більшість – це міні ГЕС (105 одиниць або 77% загальної кількості МГЕС), а суттєво більша частина встановленої потужності (60,8%) припадає на малі ГЕС потужністю від 1000 кВт до 10000 кВт. Частка мікроГЕС складає тільки 9 одиниць або 6,6 % загальної кількості МГЕС (рис. 2.8).

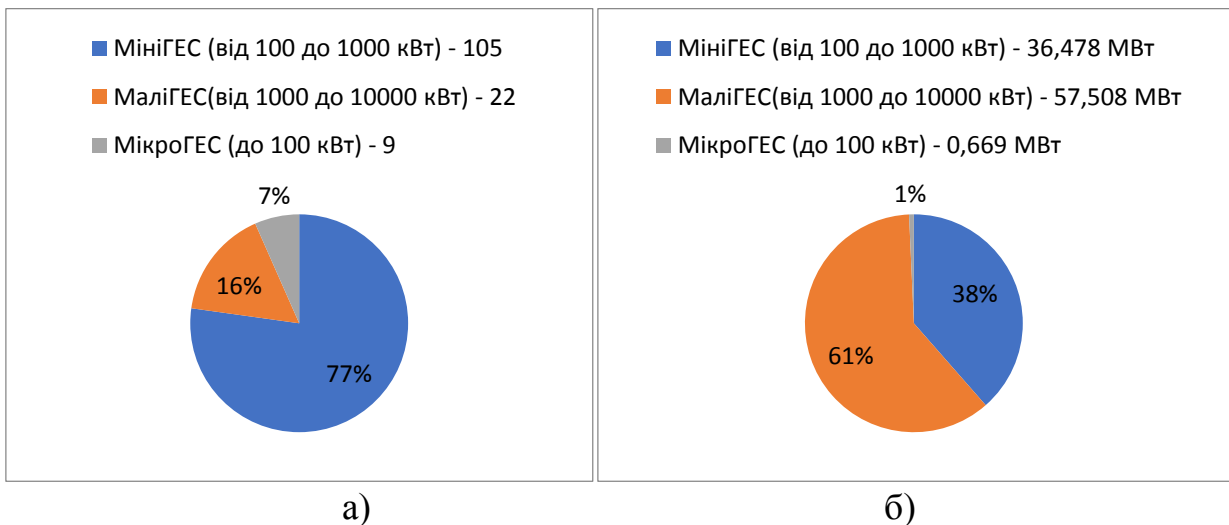


Рис. 2.8. Кількість а) та розподіл за встановленою потужністю об'єктів малої гідроенергетики України станом на 01.01.2018 р.

Розподіл потужностей малих ГЕС по областях України, які введені в експлуатацію та отримали «зелений» тариф станом на 01.01.2018 р., представлено на рисунку 2.9. Найбільше МГЕС введено в експлуатацію у Вінницькій області, загальна встановлена потужність яких складає близько 21,875 МВт. Наступними за загальною встановленою потужністю є Кіровоградська, Закарпатська та Тернопільська області.

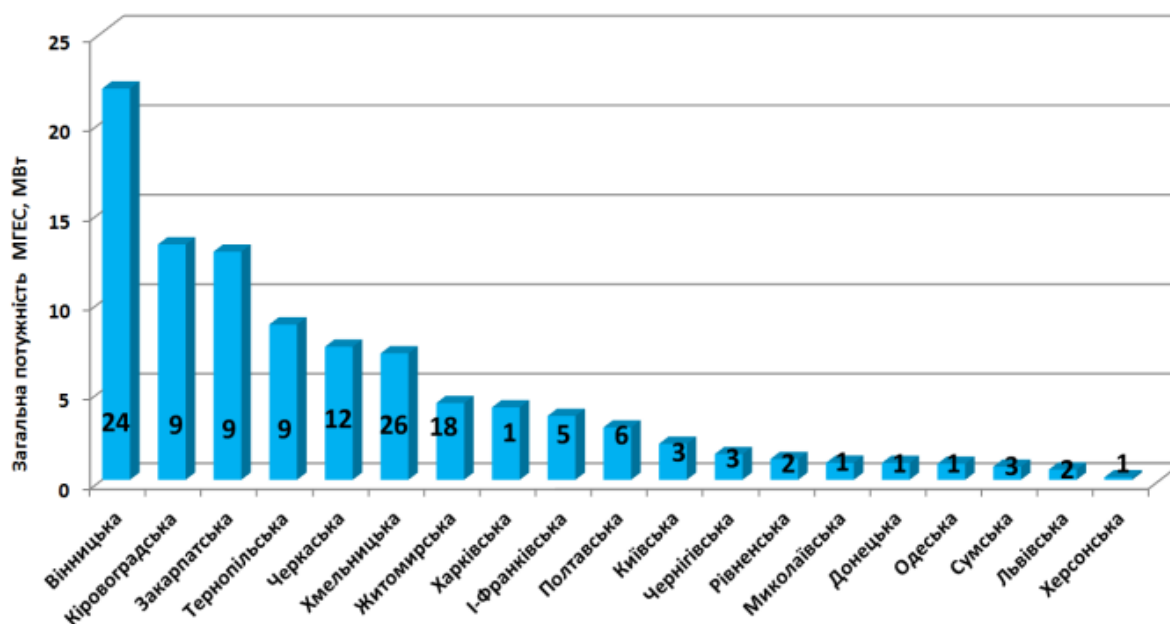


Рис. 2.9. Встановлена потужність та кількість МГЕС за областями України (станом на 01.01.2018 р.)

Найбільша кількість діючих за «зеленим» тарифом МГЕС (50 станцій) розташована в Хмельницькій та Вінницькій областях (37,5% від загальної кількості МГЕС в Україні).

## 2.4. Перспективні напрямки розвитку малої гідроенергетики в Україні

Згідно «Енергетичної стратегії України на період до 2030 року» до 2030 року передбачалось довести електрогенеруючу потужність всіх МГЕС України до 1140 МВт з річним обсягом виробництва електрики 3,75 млрд кВт-год.



Розвиток малої гідроенергетики повинен сприяти децентралізації загальної енергетичної системи, що зніме ряд проблем в енергопостачанні віддалених і важкодоступних сільських регіонів, а також вирішенню цілого комплексу економічних, екологічних і соціальних проблем сільської місцевості [19].

Фахівцями Інституту економіки та прогнозування НАН України було здійснено спробу прогнозування базового та альтернативних сценаріїв розвитку енергетичного сектору України до 2050 року з переходом на 100% забезпечення відновлювальною енергетикою, а також продемонстровано, яким чином може бути досягнутий перехід від викопних видів палива до відновлюваних джерел енергії, та які економічні наслідки це матиме.

Зокрема, було прогнозовано розвиток малої енергетики для трьох сценаріїв розвитку загалом економіки та енергетики України до 2050 року: базовий (консервативний), ліберальний (найбільш ймовірний) та революційний (оптимістичний) [20].

Для всіх трьох сценаріїв розвитку енергетики України до 2050 року частка малої гідроенергетики у загальному виробництві електрики варіюється від 0,16% до 0,28%, а у встановленій електрогенеруючій потужності – від 0,06% до 0,44%, а саме:

– базовий сценарій на 2050 рік: загальне виробництво електрики прогнозується 322 млрд. кВт·год, з них загальна частка ВДЕ складатиме 6,5%, зокрема, малої гідроенергетики – 0,28% (0,9 млрд. кВт·год); загальна встановлена електрогенеруюча потужність в країні прогнозується 90,8 ГВт, з них загальна частка ВДЕ складатиме 11,7 %, зокрема, малої гідроенергетики – 0,44% (0,4 ГВт);

– ліберальний сценарій на 2050 рік: загальне виробництво електрики прогнозується 253 млрд. кВт·год, з них загальна частка ВДЕ складатиме 44,7%, зокрема, малої гідроенергетики – 0,24% (0,6 млрд. кВт·год); загальна встановлена електрогенеруюча потужність в країні прогнозується 143 ГВт, з

					<i>БР 3.6.141.283 ПЗ</i>	Арк.
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		33

них загальна частка ВДЕ складатиме 76,3%, зокрема, малої гідроенергетики – 0,14% (0,2 ГВт);

– революційний сценарій на 2050 рік: виробництво електрики прогнозується 366 млрд. кВт·год, з них загальна частка ВДЕ складатиме 92,9%, зокрема, малої гідроенергетики – 0,16% (0,6 млрд. кВт·год); загальна встановлена електрогенеруюча потужність в країні прогнозується 327 ГВт, з них загальна частка ВДЕ складатиме 93,0 %, зокрема, малої гідроенергетики – 0,06% (0,2 ГВт).

З огляду наведених вище показників для всіх трьох сценаріїв розвитку енергетики України до 2050 року роль малої гідроенергетики не визначальна для всієї енергетики України загалом, а її потенціал у регулюванні виробництва електрики досить мізерний.

На думку громадських екологічних організацій, не відомий жоден приклад малої ГЕС в Україні, яка б відповідала екологічним критеріям, і вони приносять значно більше екологічної шкоди, ніж можуть бути отримані потенційні вигоди, тому пропонується використання 50% наявного потенціалу за умови дотримання найсуворіших екологічних критеріїв.

Таким чином, для розвитку малої гідроенергетики України можна виділити такі етапи: зародження (1919-1945 рр.), зростання (1945-1969 рр.), занепад (1969-1996 рр.) та відродження (1996-2018 рр.). Загальний гідроенергетичний потенціал малих річок України становить близько 12,5 млрд. кВт·год., що близько 28% загального гідроенергетичного потенціалу всіх річок України. Доцільно-економічний потенціал становить 3,7 млрд кВт·год/рік, що становить майже 30% загального гідропотенціалу. Частка гідроенергетики у загальному виробництві електроенергії України становить 6%, а частка малої гідроенергетики лише 0,13%. Частка малої гідроенергетики у загальному виробництві електроенергії об'єктами відновлюваної енергетики у 2017 році склала 10,15%. Кількість МГЕС та їх потужність характеризується постійним

					<i>БР 3.6.141.283 ПЗ</i>	Арк.
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		34

зростанням, але обсяг електроенергії, виробленої об'єктами малої гідроенергетики у 2013-2016 роках характеризується зменшенням на 34%. Станом на 01.01. 2018 року в Україні зареєстровано 136 малих ГЕС загальною потужністю близько 94,615 МВт, переважна їх більшість це міні ГЕС (77%).

					<i>БР 3.6.141.283 ПЗ</i>	Арк.
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		35

## РОЗДІЛ 3

### МАЛА ГІДРОЕНЕРГЕТИКА СУМСЬКОЇ ОБЛАСТІ

#### 3.1. Становлення, розвиток та сучасний стан малої гідроенергетики Сумської області

Згідно офіційного сайту Сумиобленерго [21] частки джерела енергії у загальній структурі обсягу купленої електричної енергії за обсягом виробництва у 2017 році наступна: першу позицію займає атомна електроенергетика (56%), другу теплова електроенергетика (28%), третю гідроенергетика (7%), останню позицію займає енергія вироблена альтернативними джерелами енергії (1,9%).

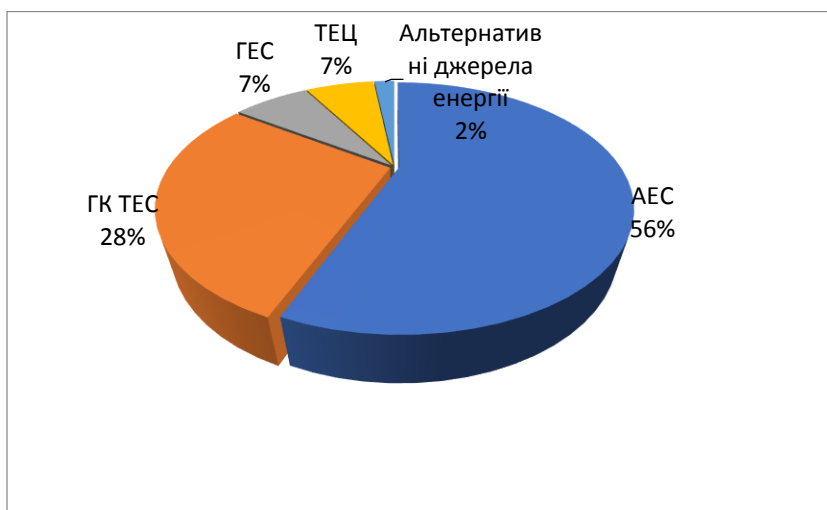


Рис. 3.1. Електроенергії за обсягом виробництва куплена Сумиобленерго у 2017 р.

Якщо розглядати окрема електроенергію отриману від різних альтернативних джерел енергії отримуємо наступне: на першій позиції електроенергія отримана від вітряних електростанцій (36%) (0,68% - загального обсягу виробництва електроенергії), сонячна електроенергія (29%) (0,53% - загального обсягу виробництва електроенергії), і лише на третій позиції електроенергія отримана від МГЕС (10%) (0,19% - загального обсягу виробництва електроенергії) (рис. 3.2).

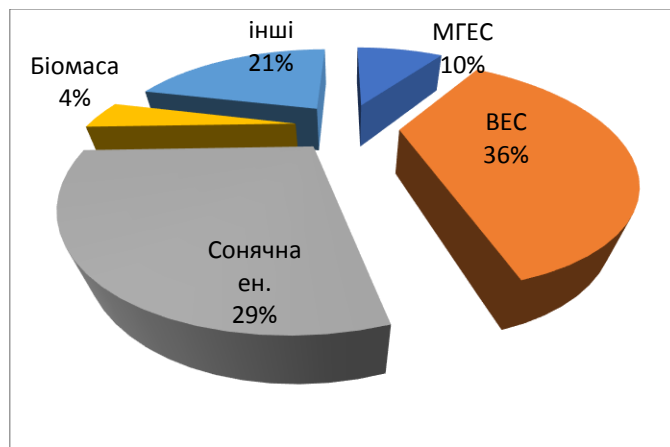


Рис. 3.2. Електроенергія вироблена альтернативними джерелами енергії

Рівень забезпеченості області електроенергією власного виробництва коливається від 23% у 2005 році до 17% у 2010 [33]. Основні електростанції області – теплові, вони виробляють 99,5% електроенергії області, гідроелектростанції виробляють менше 0,5% [22].

Перша гідроелектростанція в Сумській області була побудована ще в 1913 році для обслуговування Низівського цукрозаводу. Однак під час війни станція була зруйнована і довелося будувати заново.

Будівництво ГЕС у регіоні відбувалося на початковому етапі розвитку сільських міжколгоспних та державних ГЕС укрупненої потужності. У 50-х роках широкого розповсюдження набуло будівництво колгоспних і міжколгоспних невеликих ГЕС на річках області. У період з 1946 р. по 1950 р. були споруджені: Обтовська і Реутинська ГЕС на річці Реть Кролевецького р-ну, Лушниківська ГЕС на річці Осота Шосткинського р-ну, Скельська ГЕС на річці Ворскла Охтирського р-ну, Попівська і Пожнянська ГЕС на річці Ворсклиця і Великописарівська ГЕС на річці Ворскла Великописарівського р-ну, Боромлянська ГЕС на річці Боромля Тростянецького р-ну [23]. Але це були дуже ненадійні споруди, які згодом аварійно були виведені з ладу.

Більш надійні гідроелектростанції були збудовані на річці Псел: Низівська, потужністю 480 кВт у 1953 р., Маловорожбянська потужністю 350

кВт у 1959 р., Михайлівська потужністю 190 кВт у 1957 р., Бобровська потужністю 180 кВт у 1955 р [22]. З приходом в сільське господарство великої державної електроенергетики, ГЕС, як виробники електричної енергії ще в 60-і роки втратили своє значення. У даний час в роботі залишились три малі ГЕС: Низівська, Маловорожбянська і Михайлівська (Додаток В). Основна їх функція – підтримання заданих рівнів води в річці Псел. Вони до цього часу виробляють також і невелику кількість електричної енергії.

У 1953 році було закінчене будівництво гідроелектростанції в селищі Низи Сумського району (рис. 3.3.).



Рис. 3.3. Низівська ГЕС 1960-ті роки [24]

Гідроелектростанція була побудована за радянським планом електрифікації населених пунктів та промислових об'єктів. Перший електричний струм отримали довколишні колгоспи та села. На гідровузлі були встановлені 3 пропелерні турбіни вертикального виконання потужністю 160 кВт кожна. Витрата води на 1 агрегат запроектована  $4,63\text{ м}^3/\text{с}$ . Встановлений розрахунковий напір для ГЕС – 4,6 м. Також були встановлені 3 генератори виробництва заводу Уралгідромаш (1949 року випуску) з напругою 400-230 В та потужністю 200 кВт. Середньодобовий виробіток електроенергії складає 2200-

					<i>БР 3.6.141.283 ПЗ</i>	Арк.
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		38

3800 кВт/год електроенергії в залежності від напору води на гідроагрегатах. Напірними спорудами ГЕС було створене водосховище довжиною – 23 км, середньою шириною 35 м., з площею водного дзеркала – 81,25 га та об’ємом – 2,56 млн. м<sup>3</sup>, у тому числі, корисним – 1,0 млн. м<sup>3</sup>. Максимальна глибина водосховища – 6 м., середня глибина 2-3 м [25]. Принцип роботи ГЕС досить простий. Ланцюг гідротехнічних споруд забезпечує необхідний напір води, що надходить на лопаті гідротурбіни, яка приводить в дію генератори, що виробляють електроенергію. Далі електроенергія подається на підвищувальний трансформатор і вже звідти в електромережу. Встановлена потужність ГЕС складає 480 кВт. Станом на 1 січня 2014 р. в розпорядженні гідроелектростанції наявна потужність при максимальному напорі води складає 415 кВт., що пояснюється застарілістю обладнання ГЕС, яке до того ж знаходиться в аварійному стані. Після здачі в експлуатацію купівельна вартість виробленої електроенергії на ГЕС за 1 кВт-год складала 0,04 грн. На сьогоднішній день купівельна вартість тої ж електроенергії складає 0,4 грн. Це пов’язано насамперед з використанням застарілого обладнання, яке є енергозатратним та потребує частого ремонту. Також на собівартість виробленої на ГЕС електроенергії впливає вартість за водокористування та екологічні затрати. За 2013 звітний рік на ГЕС було вироблено 1275,795 тисяч кВт•год. електроенергії, що є далеко не максимальною потужністю для ГЕС такого типу [26]. Одна з головних функцій Нізівської ГЕС на сьогодні - підтримка Псел у нормальному стані. Піднімаючи своєї греблею рівень води на чотири метри, станція дозволяє зберігати Псел порівняно повноводним.

Бобрівська ГЕС – мала гідроелектростанція, розташована на р. Псел біля с. Боброве Лебединського району Сумської області (рис. 3.4). Побудована в 1955 р., потужністю 180 кВт. Встановлений розрахунковий напір для ГЕС – 3 м. Напірними спорудами ГЕС було створене водосховище з площею водного дзеркала – 1,1 км<sup>2</sup> та об’ємом – 2,9 млн. м<sup>3</sup>, у тому числі, корисним – 1,4 млн

					<i>БР 3.6.141.283 ПЗ</i>	Арк.
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		39

м<sup>3</sup>[2]. Обладнання для ГЕС було поставлено за рахунок репарацій з Австрії та Німеччини фірми «Фойт» – турбіни, редуктори і регулятори та фірми «Сіменс» – генератори і щити управління. Бобрівська ГЕС працювала до 2000 року і була зупинена внаслідок пошкодження генераторів та підсилюючого трансформатора 0,4/10 кВ. Відновлена у 2009 році з потужністю в 190 КВт. У 2013 році придбана компанією «Енергоінвест». Потужність ГЕС – 190 КВт, щорічний виробіток електроенергії – 1 млн 79 тис. кВт [27].



Рис. 3.4. Бобрівська ГЕС

Мало-Ворожбянська ГЕС Лебединський р-н, с. Мала Ворожба побудована у 1959 р. потужністю 350 кВт (рис. 3.5). Встановлений розрахунковий напір для ГЕС – 5,4 м. Напірними спорудами ГЕС було створене водосховище з площею водного дзеркала – 1,33 км<sup>2</sup> та об’ємом – 4,35 млн. м<sup>3</sup>, у тому числі, корисним – 2,55 млн м<sup>3</sup> [28].

					<i>БР 3.6.141.283 ПЗ</i>	Арк.
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		40





Рис. 3.5. Мало-Ворожбянська ГЕС

Михайлівська ГЕС розташована на р. Псел в Лебединському районі Сумської області, потужністю 186 кВт, була побудована і здана в експлуатацію у 1957 році (рис.3.6). Встановлений розрахунковий напір для ГЕС – 3 м. Напірними спорудами ГЕС було створене водосховище з площею водного дзеркала – 1,1 км<sup>2</sup> та об'ємом – 2,9 млн. м<sup>3</sup>, у тому числі, корисним – 1,4 млн м<sup>3</sup> [28]. Устаткування станції зношене, і станція потребує реконструкції [29].



Рис. 3.6. Михайлівська ГЕС

					<i>БР 3.6.141.283 ПЗ</i>	Арк.
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		41

Динаміка виробництва електроенергії МГЕС Сумської області у період з 2004 по 2008 має хвилеподібний характер: з 2004 по 2005 різко знизилася майже у 2 рази, а потім до 2007 року зростає до рекордного показнику 4,445 млн кВт-год, а потім знову знизилася у 2008 році до 3,639 млн кВт-год. У середньому МГЕС Сумської області виробляється близько 3 млн. кВт-год. електроенергії щороку.

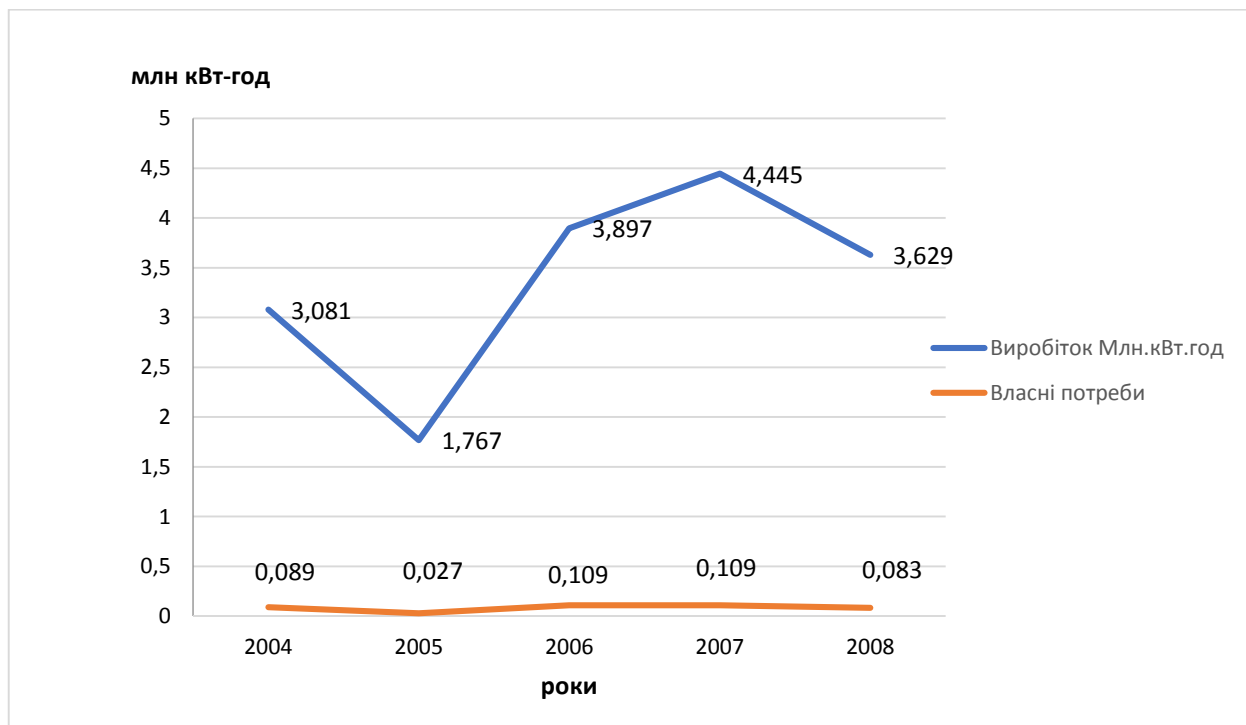


Рис. 3.7. Виробництва електроенергії МГЕС Сумської області у період з 2004 по 2008

### 3.2. Гідроенергетичний потенціал річок Сумської області

Територія Сумської області у гідрографічному відношенні розташована в межах басейну Дніпра. За даними Регіонального офісу водних ресурсів у Сумській області станом на 01. 01. 2018 р. довжина річок, що протікають по території регіону в загальному становить 8020 км, а їх кількість 1543. Десна – єдина велика річка, що входить до річкової мережі Сумської області, її площа

водозбору становить понад 50000 км<sup>2</sup>, 45,5% території регіону припадає на площу басейну (10860 км<sup>2</sup>). Завдовжки 37 км вона протікає по межі Сумської та Чернігівської області (табл. 3.1).

**Таблиця 3.1**

**Гідрологічна характеристика найбільших річок Сумської області [28]**

Назва річки (велика, середня)	Площа басейну, км <sup>2</sup>		Довжина, км		Густота річкової сітки км/км <sup>2</sup>	Середній похил русла, м/км <sup>2</sup>	Ширина русла, м	Середні річні витрати води в гірлі, або у місці витоків	Середній багаторічний стік, млн. м <sup>3</sup>
	загальна	У межах області км <sup>2</sup> /%	загальна	у межах області					
Десна	88900	<u>10860</u> 45,6	1130	37	0,30	0,08	90- 170	170-190	5760
Сейм	27500	<u>6408</u> 26,9	748	167	0,28	0,09	40-70	103,5	3267,5
Клевень	2662	<u>2102</u> 8,8	132	124	0,28	0,36	5-20	9,80	309
Сула	19600	<u>4440</u> 18,6	363	152	0,44	0,35	2-25	10,6	334
Псел	22800	<u>5580</u> 23,4	717	176	0,32	0,29	30-80	30,2	952
Хорол	3870	<u>564</u> 2,4	308	60	0,46	0,8	1-12	1,48	46,7
Ворскла	14700	<u>2970</u> 12,5	464	122	0,32	0,17	12-45	19,0	599
Разом	-	<u>23850</u> 100	-	838	0,35	-	-	-	-

На території області виділяють 6 середніх річок площею водозбору 2001-50000 км<sup>2</sup> – це Сейм (6408 км<sup>2</sup>), Клевень (2102 км<sup>2</sup>), Сула (4440 км<sup>2</sup>), Псел (5580 км<sup>2</sup>), Хорол (564 км<sup>2</sup>) та Ворскла (2970 км<sup>2</sup>). У межах області їх загальна довжина складає 801 км. Інші річки є малими й являють собою притоки названих вище великої та середніх річок. Велика кількість джерел та малих річок не мають навіть власної назви, але разом утворюють гідрографічну мережу, що відтворює умови зволоження території.

Десна – ліва притока р. Дніпро, друга за водозбірною площею серед її приток, бере початок на Смоленській височині (Смоленська обл.), впадає до

Дніпра у Київській області. Довжина 1130 км, в межах Сумської області – 37 км. Має 18 правих та 13 лівих значних приток. Долина переважно трапецієподібна, асиметрична – з характерним високим правим та низьким лівим берегами. Заплава заболочена, багато проток, стариць та озер.

Сейм – ліва і найбільша притока Десни, бере початок на північно-західній стороні с. Сонцевки (Курська обл.) впадає до Десни на схід від с. Мале Устя (Чернігівська обл.), протікає через Середньоруську височину і Придніпровську низовину. Загальна довжина – 748 км, в межах Сумської області – близько 110 км. Площа басейну – 27 500 км<sup>2</sup>. Правий берег високий (до 40 м), розчленований яружно-балковою мережею, лівий – пологий (до 10 м). Похил річки 0,2 м/км. Течія повільна 0,3-0,4 м/с, висота витоку 178 м, гирла – 112 м над рівнем моря; падіння ріки становить 66 метрів. Живлення переважно снігове, 35-40% стоку формується підземними водами [28].

Клевень – права притока Сейму, бере початок на північ від села Сопича (Брянська обл.), впадає до Сейму біля південної околиці села Каменя (Сумська обл.). Загальна довжина – 132 км, в межах Сумської області – близько 124 км. Площа басейну – 2662 км<sup>2</sup>. Річище помірно звивисте, похил річки 0,5 м/км. Живлення снігове і дощове.

Сула – ліва притока Дніпра, бере початок на південно-західних схилах Середньоруської височини, впадає у Кременчуцьке водосховище на захід від села Дем'янівки (Полтавська обл.). Загальна довжина – 363 км, в межах Сумської області – близько 152 км. Площа басейну – 19600 км<sup>2</sup>. Річище на всій протяжності звивисте, подекуди розгалужене, похил річки 0,2 м/км. Живлення переважно снігове.

Псел – ліва притока Дніпра, бере початок в межах Прохоровського району (Білгородської обл.), впадає до Дніпра в околицях міста Горішні Плавні (Полтавська обл.). Загальна довжина – 717 км, в межах Сумської області – близько 176 км. Площа басейну – 22800 км<sup>2</sup>. Схили долини асиметричні: високі

					<i>БР 3.6.141.283 ПЗ</i>	Арк.
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		44

праві та низькі ліві, річище звивисте та розгалужене. Живлення переважно снігове.

Хорол – права притока Псла, бере початок з джерел на північ від села Червона Слобода (Сумська обл.), впадає до Псла на північній околиці села Попівки (Полтавська обл.). Загальна довжина – 308 км, в межах Сумської області – близько 60 км. Площа басейну – 3870 км<sup>2</sup>. Похил річки 0,3 м/км. Річище на всій протяжності звивисте; живлення – дощове і снігове [28, 30].

Ворскла – ліва притока Дніпра, бере початок поблизу села Покровки (Белгородська обл.), впадає у Кам'янське водосховище на Дніпрі (в межах Полтавської обл.). Загальна довжина – 464 км, в межах Сумської області – близько 122 км. Площа басейну – 14700 км<sup>2</sup>. Долина річки трапецієподібна, завширшки 10 - 12 км, правий берег високий і крутий, лівий – низький. Похил річки 0,3 м/км. Живлення мішане [28, 30].

Малих річок налічується 1536 з загальною площею водозбору до 2000 км<sup>2</sup> та довжиною 7170 км. Струмків та річок довжиною менше 1 км на території області близько 340 – загальна довжина приблизно 202 км [28].

Річкова мережа в Сумській області помірно розвинута, середня густота становить 0,35 км/км<sup>2</sup>, що відповідає середній густоті річкової мережі в Україні. Найбільша в басейні р. Сули – 0,44 км/км<sup>2</sup>, найменша – в басейні Десни – 0,30 км/км<sup>2</sup> [30].

Загальний гідроенергетичний потенціал малих річок Сумської області становить 298 млн. кВт-год. на рік, технічний – 197 млн. кВт-год., доцільно-економічний – 39 млн. кВт-год [22]. Існуючими в Сумській області гідроелектростанціями виробляється до 3 млн. кВт-год. електроенергії щороку, це лише близько 1% загального гідропотенціалу, 1,5% технічний потенціалу та лише близько 8% доцільно-економічного потенціалу.

Використовуючи формулу (3.1), обчислимо рівень використання гідроенергетичного потенціалу річок Сумської області.

					БР 3.6.141.283 ПЗ	Арк.
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		45

$$ВИК = \frac{ВИР_{реал}}{ВИР_{потенц}} \times 100\% \quad (3.1)$$

де: ВИК – рівень використання гідроенергетичного потенціалу річок, %;

ВИРреал – річне виробництво електроенергії малими ГЕС, млн. кВт-год;

ВИРпотенц – річний потенціал виробництва електроенергії малими ГЕС, млн. кВт-год.

У результаті проведених розрахунків встановлено, що рівень використання гідроенергетичного потенціалу річок Сумської області лише 1-2%. Це надзвичайно низький рівень та є недопустимим в умовах нинішньої економічної, енергетичної та екологічної кризи.

Для збільшення обсягів власного виробництва електричної енергії існують такі шляхи розвитку гідроенергетики: модернізація існуючих гідроелектростанцій, спорудження нових малих ГЕС на малих річках. Мала гідроенергетика в області має перспективи для свого розвитку. На річках Ворскла, Знобівка, Івотка, Клевень, Псел, Реть, Ромен, Сироватка експлуатується 45 шлюзів-регуляторів, якими зарегульовано 41,7 млрд. м<sup>3</sup> води [28]. На чотирьох шлюзах-регуляторах облаштовані вже згадані вище МГЕС. Решта 41 шлюз для генерації електроенергії не використовуються, але можуть слугувати базою для спорудження малих ГЕС [22].

Таким чином, у Сумській області працює 3 МГЕС, які виробляють до 3 млн. кВт-год. електроенергії щороку, це лише 1-2% використання гідроенергетичного потенціалу річок регіону, що є надзвичайно низьким показником.

					<i>БР 3.6.141.283 ПЗ</i>	Арк.
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		46

## РОЗДІЛ 4

### РОЗТАШУВАННЯ ПРОЕКТОВАНОЇ МІНІ ГЕС ТА ОСНОВНЕ ЇЇ ОБЛАДНАННЯ

#### 4.1. Критерії місця розташування міні ГЕС

Для вибору місця розташування міні ГЕС в першу чергу звертають увагу на декілька критеріїв: 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 критеріїв, 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, та дасть більш чітке уявлення про можливості річки та станції в цілому.

#### 4.2. 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 [28]. За допомогою таблиці 1.3, вибрано

					<i>БР 3.6.141.283 ПЗ</i>	Арк.
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		47

гідротурбіну Каплана. Для аналізу характеристик агрегату використаємо програмне забезпечення RETSScreen [31].

Місцезнаходження об'єкту важливе для подальших розрахунків, оскільки для них необхідно знати кліматичні особливості зони. Програма використовує дані NASA по кліматичним показникам для цього регіону (рис. 4.1.).

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

Місяць	Температура повітря	Відносна вологість	Опади	Денна сума сонячної радіації - на горизонтальній поверхні		Атмосферний тиск	Швидкість вітру	Температура землі	Градусо-дні опалювального сезону 18 °C	Градусо-дні з від'ємною температурою 10 °C
	°C	%		кВтгод/м²/день	кПа					
Січень	-6,1	84,2%	76,98	1,14	99,8	4,4	-7,2	748	0	
Лютий	-5,8	81,8%	65,76	1,93	99,8	4,4	-6,6	665	0	
Березень	-0,2	76,8%	67,93	3,05	99,8	4,4	-0,4	564	0	
Квітень	9,0	61,6%	44,23	3,98	99,5	4,1	9,8	271	0	
Травень	15,8	49,7%	61,46	5,27	99,5	3,8	17,2	70	178	
Червень	19,3	54,6%	75,06	5,32	99,2	3,5	20,7	0	280	
Липень	21,8	53,7%	84,25	5,38	99,2	3,4	23,4	0	365	
Серпень	21,3	48,2%	53,60	4,67	99,4	3,5	23,4	0	351	
Вересень	15,3	57,7%	57,98	3,19	99,6	3,8	16,5	82	158	
Жовтень	8,2	68,4%	58,92	1,98	99,9	4,2	8,3	305	0	
Листопад	-0,2	80,0%	64,17	1,10	100,0	4,3	-0,5	545	0	
Грудень	-5,4	82,1%	63,38	0,86	99,9	4,4	-6,2	724	0	
<b>Щорічний</b>	<b>7,8</b>	<b>66,5%</b>	<b>773,73</b>	<b>3,16</b>	<b>99,6</b>	<b>4,0</b>	<b>8,3</b>	<b>3 974</b>	<b>1 332</b>	
<b>Джерело</b>	NASA	NASA	NASA	NASA	NASA	NASA	NASA	NASA	NASA	
Виміряно в						м	10	0		

Рис. 4.1. Кліматичні показники обраного регіону

Наступним кроком задано 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  $\epsilon$



безрозмірним чинником, який використовується у формулах для розрахунку оціночної максимальної ефективності турбіни, його можна вибрати з таблиці 4.1.

Таблиця 4.1.

**Коефіцієнт виготовлення/проектування турбіни [31]**

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. 4.2.).

Гідротурбіна - Рівень 2

**Оцінка ресурсів**

Запропонований проект		Руслова
Гідрологічний метод		Заданий користувачем
Загальний напор	м	3
Максимальний рівень води в нижньому б'єфі	м	1,4
Залишкова витрата	м³/с	0,1
% часу, коли є стійкий стік	%	95%
Стойкий потік	м³/с	

**Гідротурбіна**

Розрахунковий потік	м³/с	16
Тип		Каплан
ККД турбіни		Стандартний
Кількість турбін		2
Виробник		Hydro Innovation
Модель		Каплан
Розрахунковий коефіцієнт		4,5
Корегування ККД	%	0%
Максимальний ККД турбіни	%	78,4%
Потік при максимальному ККД	м³/с	12
ККД турбіни при розрахунковому стоці	%	78%

**Втрати**

Максимальні гідравлічні втрати	%	8%
Інші втрати	%	1%
ККД генератора	%	95,5%
Можливість використання	%	95%

**Резюме**

Електрична потужність	кВт	300
-----------------------	-----	-----

Стойкий

Рис. 4.2. Результати розрахунків програми RETScreen.

Показники в полі «втрати», представлені на рис. 4.2, підібрані під середні показники синхронних генераторів. Також програма розраховує ККД турбіни відносно номінальних витрат води, що дає змогу проаналізувати її роботу (рис. 4.3).

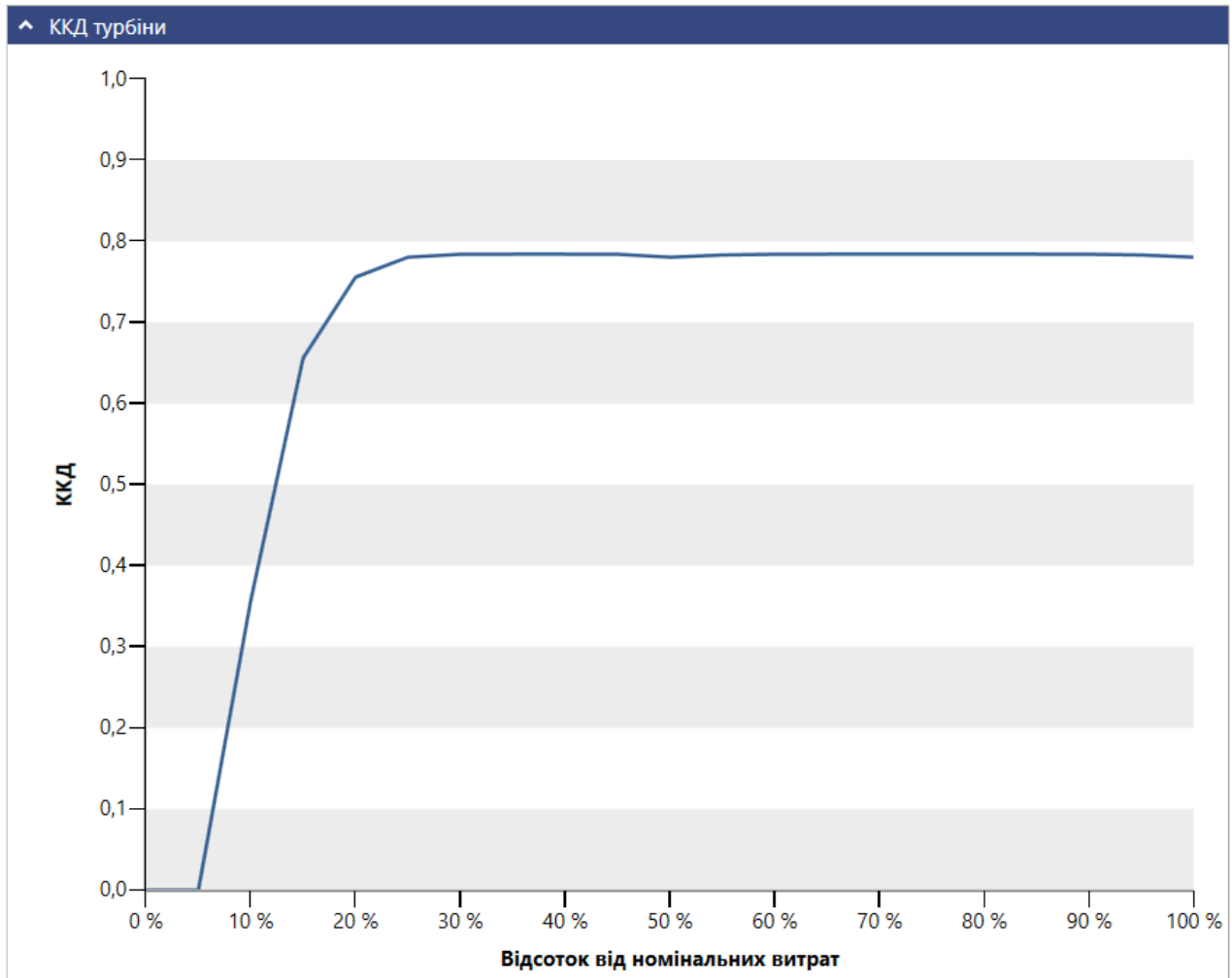


Рис. 4.3. ККД турбіни

### 4.3. Вибір гідрогенератора

Гідрогенератор підбирається за довідковими даними серійних типів по розрахунковим значенням його номінальної потужності і синхронної частоти обертання. По каталогу НП ЗАО «Електромаш» [32] вибираємо тип генератора СГИ–БК 150/14 УЗ. Параметри гідрогенератора зображені в таблиці 4.2

Таблиця 4.2

### 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.

## РОЗДІЛ 5 ЕЛЕКТРИЧНА ЧАСТИНА

### 5.1. 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 рисунку 5.1 показані види генераторних блоків, їх вибирають в залежності від надійності системи, кількості агрегатів та їх потужності, обслуговуваної апаратури.

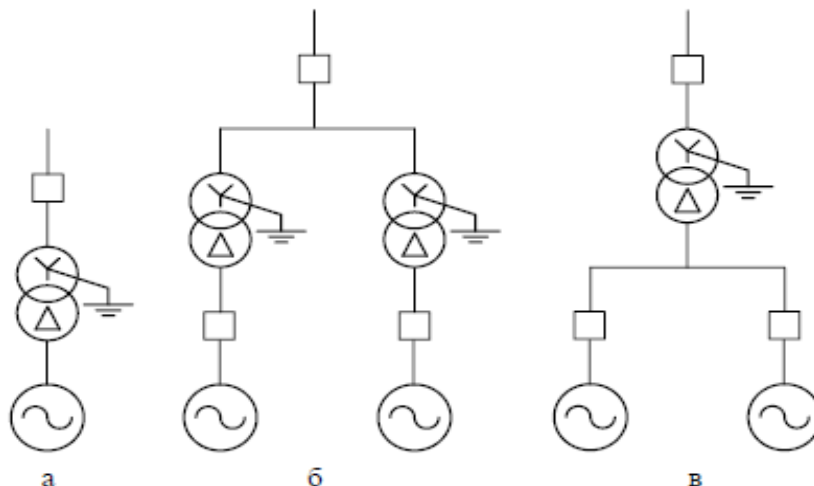


Рис. 5.1. Види генераторних блоків

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

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. 5.2.

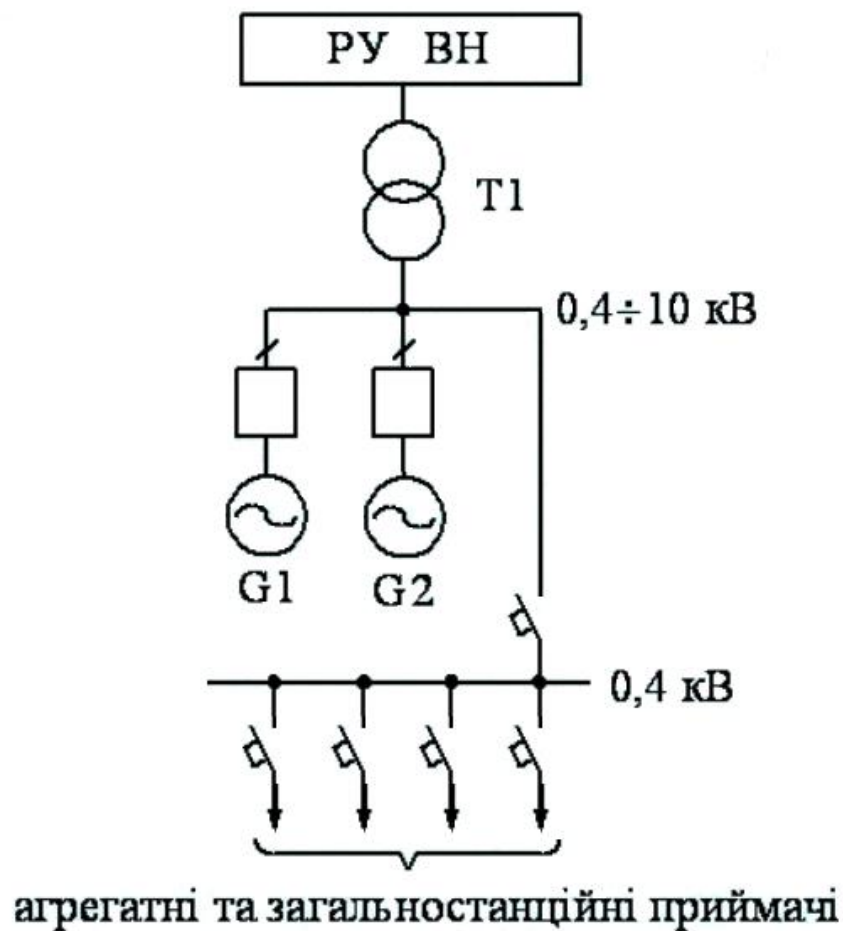


Рис. 5.2. Принципова електрична схема міні ГЕС

## 5.2. 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 5.1:

$$S_{\text{Гном}} = \frac{P_{\text{Г}}}{\cos \varphi} = \frac{300}{0,8} = 375 \text{ кВ} \cdot \text{А}, \quad (5.1)$$

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

Знаходимо розрахункову потужність трансформатора (формула 5.2):

$$S_{\text{розр}} = S_{\text{Гном}} - S_{\text{в.п.}} = 375 - 375 \cdot 0,04 = 360 \text{ кВ} \cdot \text{А}, \quad (5.2.)$$

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

Трансформатор вибираємо по каталогу ТОВ «Торгово-промислова компанія» «Чебоксари-Електра» [33] – ТСЗ 400/10 – УЗ: трансформатор стаціонарний сухий в захищеному виготовленні призначений внутрішнього та зовнішнього встановлювання. Каталожні дані приведені в таблиці 5.1.

**Таблиця 5.1**

**Каталожні дані 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 5.3) він повинен бути  $\geq 0,9$ .

$$k_3 = \frac{S_{\text{розр}}}{S_{\text{т}}} = \frac{360}{400} = 0,9 \quad (5.3)$$

Отже, обираємо трансформатор ТСЗ 400/10 – УЗ.

### 5.3. Розрахунок струмів трифазного короткого замикання

Для розрахунку струмів короткого замикання знайдемо індуктивний опір всіх елементів мережі в іменованих одиницях. Опір генератора розраховується за формулами 5.4, 5.5:

$$x_{\Gamma} = x_d'' \cdot \frac{U_{\text{баз}}^2}{S_{\text{НОМ}}}, \quad (5.4)$$

$$r_{\Gamma} = \frac{x_{\Gamma}}{\omega \cdot T_{\Gamma}}, \quad (5.5)$$

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 (5.6) та (5.7):

$$x_{\text{T}} = \frac{U_{\text{К}}}{100} \cdot \frac{U_{\text{ВН}}^2}{S_{\text{НОМ}}}, \quad (5.6)$$

$$r_{\text{T}} = \Delta P_{\text{К}} \cdot \frac{U_{\text{ВН}}^2}{S_{\text{НОМ}}^2}, \quad (5.7)$$

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 5.8:

$$x_c = \frac{U_6^2}{S_{к.з.}} = \frac{10^2 \cdot 10^6}{11 \cdot 10^6} = 9,1 \text{ Ом}, \quad (5.8)$$

де,  $U_6$  – базисна напруга системи;  $S_{к.з.}$  – потужність короткого замикання системи; Схема заміщення для розрахунку струмів КЗ – рисунок 5.3.

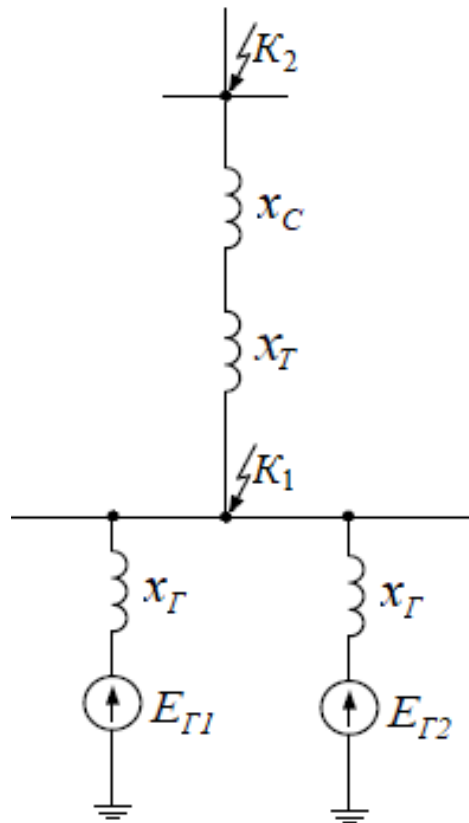


Рис. 5.3. Схема заміщення

Знаходимо опір до точки  $K_1$  за формулою 5.9:

$$X_{Г} = \frac{X_{Г} \cdot X_{Г}}{X_{Г} + X_{Г}} = 0,15 \text{ Ом} \quad (5.9)$$

Періодична складова струму КЗ в точці  $K_1$ :

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

Періодична складова струму КЗ в точці  $K_2$ :

					<i>БР 3.6.141.283 ПЗ</i>	Арк.
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		56



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

Розраховуємо ударний коефіцієнт за формулою 5.10:

$$k_y = 1 + e^{-\frac{0,01}{T_a}} \quad (5.10)$$

де,  $T_a$  – постійна часу затухання аперіодичної складової, вибрано з джерела [34].

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

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

Ударний струм розраховуємо за формулою 5.11:

$$i_y = \sqrt{2} \cdot k_y \cdot I_K \quad (5.11)$$

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

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

Проводимо розрахунки для аперіодичної складової струму КЗ, вважаючи, що амплітуда ЕРС та періодична складова струму незмінні у часі, рівний часу відключення (формула 5.12):

$$i_a = \sqrt{2} \cdot I_K \cdot e^{-\frac{\tau}{T_a}}, \quad (5.12)$$

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 5.13:

$$B_k = I_K^2 \cdot (\tau + T_a), \quad (5.13)$$

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

					<i>БР 3.6.141.283 ПЗ</i>	Арк.
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		57

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

Результати розрахунків струмів короткого замикання (КЗ) для точок схеми показані в таблиці 5.2.

**Таблиця 5.2**

**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, $\text{кА}^2 \cdot \text{с}$
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%:

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

Максимальний струм на стороні НН:

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

Струм у колі вимикача власних потреб:

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

## 5.4. 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:

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

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

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

Використовуючи каталог ТОВ Керуюча компанія «Електрошит-Самара» [35] вибираємо вимикач ВА-СЄЦ-TS 630 та роз'єднувач РЕ 13-43. Каталожні дані в таблицях 5.3, 5.4.

**Таблиця 5.3**

**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	35,3кА
$B_{\text{К}} \leq I_{\text{тНОМ}}^2 \cdot t_{\text{T}}$	149,77 кА <sup>2</sup> ·с	5000 кА <sup>2</sup> ·с

**Таблиця 5.4**

**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

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

Вибираємо трансформатор струму ТШП-Є 60 800/5 0,5 УХЛ4 виробник ООО «Енрон Енерго» [36]. Перевірка ТС – в таблиці 5.5.

Таблиця 5.5

### 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 таблиці 5.6.

Таблиця 5.6

### 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

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

В якості комутаційного апарата сторони ВН приймаємо вимикач ВГГ – 10. Високовольтний вимикач призначений для використання в закритих приміщеннях в електроустановках номінальною напругою 10,5 кВ [37]. Каталожні данні представлені в таблиці 5.7.

Таблиця 5.7

## Каталожні дані вимикач ВГГ – 10

Умови вибору	Розрахункові параметри	Каталожні дані
$U_{м.ном} \leq U_{ном.}$	10 кВ	10,5 кВ
$I_{розр} \leq I_{ном}$	21,8 А	4000 А
$I_{п0} \leq I_{пр.СКВ}$	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 [37]. Каталожні данні представлені в таблиці 5.8.

Таблиця 5.8

## 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
$I_{п0} \leq I_{пр.СКВ}$	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

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

Для сторони вищої напруги був вибраний трансформатор напруги ЗНОЛ – 10 [37] призначений для вимірювання величини напруги, управління приладами автоматики та захисту в мережах з напругою 10 кВ, частотою 50 Гц. Параметри трансформатора в таблиці 5.9.

Таблиця 5.9

## Каталожні дані трансформатор напруги ЗНОЛ

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

Трансформатор струму ТЛШ-Є 10 У2 був вибраний для вимірювання величини струму та подальшої її передачі приладам захисту [37]. Параметри трансформатора представлені в таблиці 5.10

Таблиця 5.10

## 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 кА <sup>2</sup> ·с

## 5.8. 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 5.14:

$$I_{\text{НБ(Н)}} = K_{\text{ОДН}} \cdot f_i \cdot I_{\text{Н}} = 0,5 \cdot 0,1 \cdot I_{\text{Н}} = 0,05 \cdot I_{\text{Н}}, \quad (5.14)$$

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

$$I_{\text{Н}} = \frac{S_{\text{Г}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{Г}}} = \frac{187,5 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 400} = 270,6 \text{ А.}$$

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

Умовою для вибору уставки  $\epsilon$  (формула 5.15):

$$I_{\text{ср0}} \geq K_{\text{Н}} \cdot I_{\text{НБ(Н)}} = 2 \cdot 0,05 \cdot I_{\text{Н}} = 0,1 \cdot I_{\text{Н}} = 27,06 \text{ А}, \quad (5.15)$$

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 протіканні 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 5.16:

$$I_{\text{НБ(КЗ)}} = K_{\text{АП}} \cdot K_{\text{ОДН}} \cdot f_i \cdot I_{\text{max}}, \quad (5.16)$$

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 5.17:

$$I_{\text{max}} = \frac{E_{\text{Г}}''}{x_{\text{д}}} \cdot I_{\text{Н}}, \quad (5.17)$$

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

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

					БР 3.6.141.283 ПЗ	Арк.
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		63

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 5.18:

$$K_T > \frac{I_{\text{НБ(КЗ)}} \cdot K_H}{I_{\text{max}}} = \frac{87,38 \cdot 2}{873,8} = 0,2, \quad (5.18)$$

приймаємо уставку  $K_T = 0,3$ .

3) Для збільшення зони роботи захисту без гальмування знайдемо уставку початкового гальмування за формулою 5.19:

$$I_{\text{НТ}} = \frac{I_{*cp}}{K_T} = \frac{0,15}{0,3} = 0,5. \quad (5.19)$$

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 рисунку 5.3 приведена характеристика спрацювання диференційного захисту:

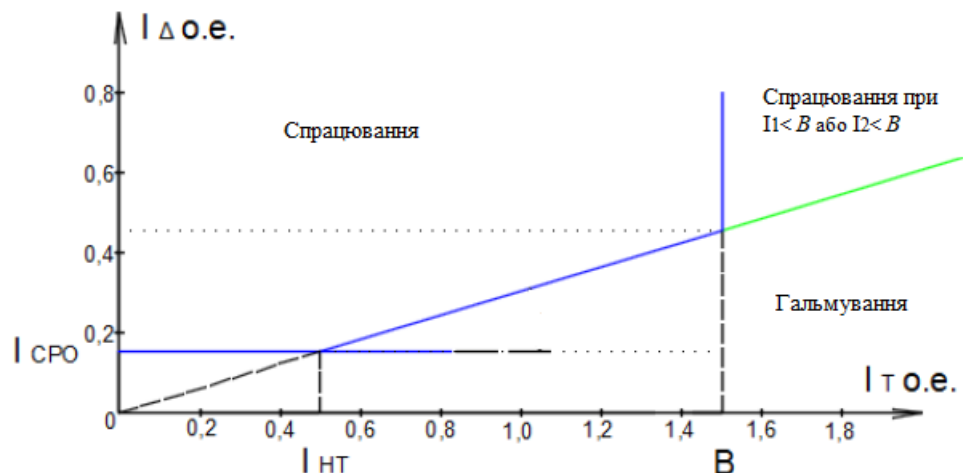


Рис. 5.3. Характеристика спрацювання диференційного захисту генератора



## РОЗДІЛ 6 ОХОРОНА ПРАЦІ

### 6.1. 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 [38].

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

					<i>БР 3.6.141.283 ПЗ</i>	Арк.
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		65

працівників на території підприємства, у виробничих приміщеннях, 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 організовувати роботодавець згідно з Законом про охорону праці [38].

За порушення вимог робітник безпосередньо несе відповідальність в залежності від масштабу порушення. За виконанням правил слідкує 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 [38].

					<i>БР 3.6.141.283 ПЗ</i>	Арк.
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		66

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 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 [38].

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.

## **6.2. Вимоги щодо охорони праці під час проектування, будівництва та реконструкції підприємств**

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

					<i>БР 3.6.141.283 ПЗ</i>	Арк.
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		67

видів робіт, перелік апаратів підвищеної небезпеки, граничні розміри тарифів на проведення експертизи [38].

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 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 [38].

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;

					<i>БР 3.6.141.283 ПЗ</i>	Арк.
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		68

- 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 [38].

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 [38].

## ВИСНОВКИ

В результаті **проведеного дослідження було досягнуто** таких висновків:

1) Гідроенергетика займає все важливішу роль у розвитку енергопостачання, а саме через розвиток малої гідроенергетики. Малою гідроенергетикою можна назвати сукупність невеликих гідроелектростанцій, які працюють на малих та середніх річках. Головним показником для класифікації малих ГЕС являється потужність, але загальноприйнятої немає. Відповідно до сучасної міжнародної класифікації за нормативом ООН, до малих гідроелектростанцій відносять гідроелектростанції потужністю від 1 до 30 МВт, до міні ГЕС – від 100 до 1000 кВт, до мікро ГЕС – не більше 100 кВт. Велика варіативність моделей електростанцій та розвиток головного обладнання все більше звертає на себе увагу, що дає великі перспективи на розвиток цієї галузі.

2) У розвитку малої гідроенергетики України виділено такі етапи: зародження (1919-1945 рр.), зростання (1945-1969 рр.), занепад (1969-1996 рр.) та відродження (1996-2018 рр.) – сучасний етап. Частка гідроенергетики у загальному виробництві електроенергії України становить 6%, а частка малої гідроенергетики лише 0,13% (189 млн. кВт-год). Сектор малої гідроенергетики характеризується постійним зростанням. З 2013 року потужність малих ГЕС збільшилась на 23%. Станом на 01.01. 2018 року в Україні зареєстровано 136 малих ГЕС загальною потужністю близько 94,615 МВт, які загалом виробили в 2017 році 212,537 млн кВт-год. Переважна більшість – це міні ГЕС (105 одиниць або 77% загальної кількості МГЕС), а суттєво більша частина установленної потужності (60,8%) припадає на малі ГЕС потужністю від 1000 кВт до 10000 кВт. Частка мікро ГЕС складає тільки 9 одиниць або 6,6 % загальної кількості МГЕС.

					<i>БР 3.6.141.283 ПЗ</i>	Арк.
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		70

3) Загальний гідроенергетичний потенціал малих рік України становить близько 12,5 млрд. кВт-год, що складає близько 28% загального гідропотенціалу всіх річок України, а Сумської області – 298 млн. кВт-год. на рік. У регіоні існує 4 МГЕС: Низівська (потужністю 480 кВт), Маловорожбянська (350 кВт), Михайлівська (190 кВт), Бобровська (180 кВт), які виробляють до 3 млн. кВт-год електроенергії щороку, це лише близько 1% загального гідропотенціалу, 1,5% технічного потенціалу та лише близько 8% доцільно-економічного потенціалу, що надзвичайно низьким показником. Мала гідроенергетика в області має перспективи для свого розвитку: на річках регіону експлуатується 45 шлюзів-регуляторів, із них 41 можуть слугувати базою для спорудження малих ГЕС.

4) Основою для проектування міні ГЕС являється аналіз гідрологічних характеристик річки, обчислення потенційної потужності річки та визначення типу гідроелектростанції. На основі цих даних вибирається місце розташування станції та тип гідротурбіни з певними характеристиками (потужністю та напругою). Використовуючи отриману інформацію робляться висновки доцільності побудови ГЕС. 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.

5) 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.

					<i>БР 3.6.141.283 ПЗ</i>	Арк.
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		71

б) 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, від тривалих перенавантажень та коротких замикань підібрані автоматичні вимикачі.

					<i>БР 3.6.141.283 ПЗ</i>	Арк.
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		72



## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Сучасний стан, проблеми та перспективи розвитку гідроенергетики України. Аналітична доповідь. НІСД, 2014, 54 с.
2. Закон України «Про внесення змін до Закону України «Про електроенергетику» щодо стимулювання виробництва електроенергії з альтернативних джерел енергії» URL: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/5485-17>
3. Гідроенергетика. Вікіпедія. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Гідроенергетика>
4. Мала гідроенергетика України. Аналітичний огляд. Том I / Інститут проблем екології та енергозбереження Київ. 2018. 181с.
5. Мала гідроенергетика України. Аналітичний огляд. Том II / Інститут проблем екології та енергозбереження Київ. 2018. 181с.
6. Малі ГЕС України. URL: [http://uk.wikipedia.org/wiki/Малі\\_ГЕС\\_України](http://uk.wikipedia.org/wiki/Малі_ГЕС_України)
7. Ободовський О. Г., Рахматуліна Е. Р., Тимуляк Л. М. Коротка історія розвитку та сучасний стан малої гідроенергетики на рівнинних річках України. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2016. Т. 4 (43). С. 94–106.
8. Мороз А. В. Етапи становлення та сучасний стан малої гідроенергетики України. *Відновлювана енергетика*. 2013. № 4 (35). С. 59-63.
9. Моррис К. Немецкий энергетический поворот: аргументы за возобновляемое энергетическое будущее. 2012. 83 с. URL: [http://energytransition.de/wp-content/themes/boell/pdf/ru/German-Energy-Transition\\_ru.pdf](http://energytransition.de/wp-content/themes/boell/pdf/ru/German-Energy-Transition_ru.pdf)
10. Данильченко О. С., Кисорець М. В. Історія становлення та сучасний стан малої гідроенергетики України та Сумської області. *Теоретичні та прикладні аспекти досліджень з біології, географії та хімії*: матеріали II Всеук. наук. конф., м. Суми, 25 квітн. 2018 р. Суми, 2018. С. 112-116.

					БР 3.6.141.283 ПЗ	Арк.
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		73

11. Пояснювальна записка до проекту Закону України «Про внесення змін до деяких законів України щодо стимулювання розвитку малої гідроенергетики України». URL: <http://w1.c1.rada.gov.ua/pls/zweb2/webproc34?id=&pf3511=27675&pf35401=92020>
12. Малі річки України: довідник / за ред. А. В. Яцика та ін. Київ: Урожай, 1991. 193 с.
13. Кудря С. О., Яценко Л. В. Атлас енергетичного потенціалу відновлюваних джерел енергії України: Ін-т електродинаміки, Київ: НАН України, 2001. 41 с.
14. Стан і перспективи розвитку малої гідроенергетики, сонячної, вітрової та інших джерел поновлюваної енергії зарубіжних країн та України. URL: <https://ua.energy/wp-content/uploads/2018/01/4.-Stan-i-perspektyvy-rozvytku-PDE.pdf>
15. Постачання та використання енергії за 2016 рік. Статистичний бюлетень. Державна служба статистики України. Київ. 2017. URL: [http://www.ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat\\_u/publenerg\\_u.htm](http://www.ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat_u/publenerg_u.htm)
16. Звіт про результати діяльності Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг у 2016 році. URL: [http://www.nerc.gov.ua/data/filearch/Catalog3/Richnyi\\_zvit\\_NKREKP\\_2016.pdf](http://www.nerc.gov.ua/data/filearch/Catalog3/Richnyi_zvit_NKREKP_2016.pdf)
17. 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>
18. Статистична інформація щодо об'єктів альтернативної електроенергетики, яким встановлено «зелений» тариф за 2017 рік станом на 01.01.2018 р. URL:

					<i>БР 3.6.141.283 ПЗ</i>	Арк.
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		74

[http://www.nerc.gov.ua/data/filearch/elektro/energo\\_pidpnyemstva/stat\\_info\\_zelenyi\\_taryf/2017/stat\\_zelenyi-taryf.12-2017.pdf](http://www.nerc.gov.ua/data/filearch/elektro/energo_pidpnyemstva/stat_info_zelenyi_taryf/2017/stat_zelenyi-taryf.12-2017.pdf)

19. Енергетична стратегія України на період до 2030 року : Схвалена розпорядженням Кабінету Міністрів України № 1071 від 24.07.2013 р. / Офіційний веб-сайт Міністерства енергетики та вугільної промисловості URL: <http://mpe.kmu.gov.ua/fuel/control/uk/doccatalog/list?currDir=50358>
20. Перехід України на відновлювану енергетику до 2050 року / О. Дячук та ін. Київ : Вид-во ТОВ «АРТ КНИГА», 2017. 88 с. URL: <http://www.minregion.gov.ua/wp-content/uploads/2017/03/Rozvitok-VDE-v-Ukrai--ni.pdf>
21. Сайт ПАТ «Сумиобленерго». URL: <http://www.soe.com.ua>
22. Програма розвитку малої гідроенергетики Сумської області на 2012-2015 роки. URL: <http://sm.gov.ua/ru/dokumenty/2-uncategorised/2706-kviten-2011.html>
23. Протокол про приєднання України до Договору про заснування Енергетичного Співтовариства: міжнародний документ. URL: [http://zakon1.rada.gov.ua/laws/show/994\\_a27](http://zakon1.rada.gov.ua/laws/show/994_a27)
24. Низівська ГЕС URL: <http://wikimapia.org/10057396/uk/Низівська-ГЕС>
25. Довідка стан малих ГЕС на р. Псел 1996р.: Управління водних ресурсів в Сумській області. Суми, 1996.
26. Звіт про роботу Низівської ГЕС за 2013 рік.
27. Бобрівська ГЕС. URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Бобрівська\\_ГЕС](https://uk.wikipedia.org/wiki/Бобрівська_ГЕС)
28. Водний і меліоративний фонди Сумської області : довідник. Суми, 2006. 128 с.
29. Михайлівська ГЕС URL: <http://http.kharkov.ua/ua/myhaylivska-ges>
30. Данильченко О.С. Гідролого-географічна структура водних ресурсів Сумської області. Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. Київ: ВГЛ «Обрії», 2010. Т. 18. 260-266 с


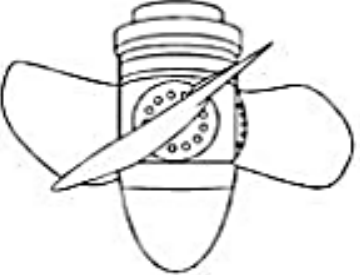
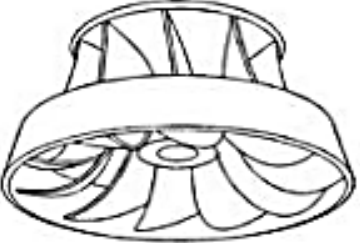
					<i>БР 3.6.141.283 ПЗ</i>	Арк.
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		75

31. RETScreen Software Online User Manual/ Small Hydro Project Model/Resources Canada 2001-2004. 109 art.
32. 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)
33. Трансформатор сухой силовой с литой изоляцией общего назначения ТЛС (ТСЛ): каталог. URL: <https://chebelektra.com/transformator/tsz400>
34. Остапчук Ж. І., Кулик В. В., Тептя В. В. Моделирование в задачах розвитку електричних систем. Вінниця: ВНТУ, 2008. 128 с.
35. Каталог продукции «Электрощит-Самара». URL: [https://www.electroshield.ru/catalog\\_electroshield.ru.pdf](https://www.electroshield.ru/catalog_electroshield.ru.pdf)
36. Трансформаторы тока измерительные: каталог. URL: <https://profsector.com/media/catalogs/59a30d60a4dbb.pdf>
37. 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.
38. Про охорону праці : Закон України від 27.12.2019 р. № 2694-XII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12> (дата звернення: 20.05.2020).

## ДОДАТКИ

### Додаток А

#### Основні типи турбін для малих ГЕС [14]

№ п/п	Тип гідротурбіни	Зовнішній вигляд	Основні показники	Характеристика
1	Томсон (пропелерна)		Напір: 6 ... 150 м Вихідна потужність: 15 кВт ... 4 МВт Виконання турбіни горизонтальне	Турбіна має найвищу швидкохідність серед всіх типів турбін. Це дозволяє при малих швидкостях потоку отримувати більш високу швидкість обертання. Високі обороти турбіни в свою чергу дозволяють застосовувати більш швидкохідні, а значить, більш легкі і дешеві електрогенератори або зменшувати витрати на передавальні пристрої (редуктори або ремінні системи передач). Турбіни застосовують при найнижчих напорах, коли швидкості потоку невеликі.
2	Каплан (поворотно-лопатевая)		Напір: 7 ... 40 м Вихідна потужність: 600 кВт ... 2 МВт Виконання турбіни вертикальне	Лопаті в турбіні можуть виготовлятися, як фіксованими, так і поворотними. У першому випадку лопаті нерухомо закріплені під обраним кутом, відповідним робочим тискам і оптимальним навантаженням генератора. Поворотні лопаті виправдано застосовувати у великих турбінах при значних коливаннях напору і роботі генератора в умовах зі змінним навантаженням. За допомогою поворотних лопатей можна підтримувати незмінну частоту обертання робочого колеса і частоту вироблення напруги в генераторах.
3	Френсіс (радіально-осьова)		Напір: 30 ... 200 м Вихідна потужність: 250 кВт ... 2.5 МВт Виготовляються в вертикальному і горизонтальному виконаннях	Вода на робоче колесо радіально-осьової турбіни надходить із зовнішнього боку колеса і рухається по радіусу до центру турбіни. Пройшовши між лопатями складної просторової зігнутої форми, вода віддає енергію ротору, примушуючи його обертатися.

Продовження додатку А

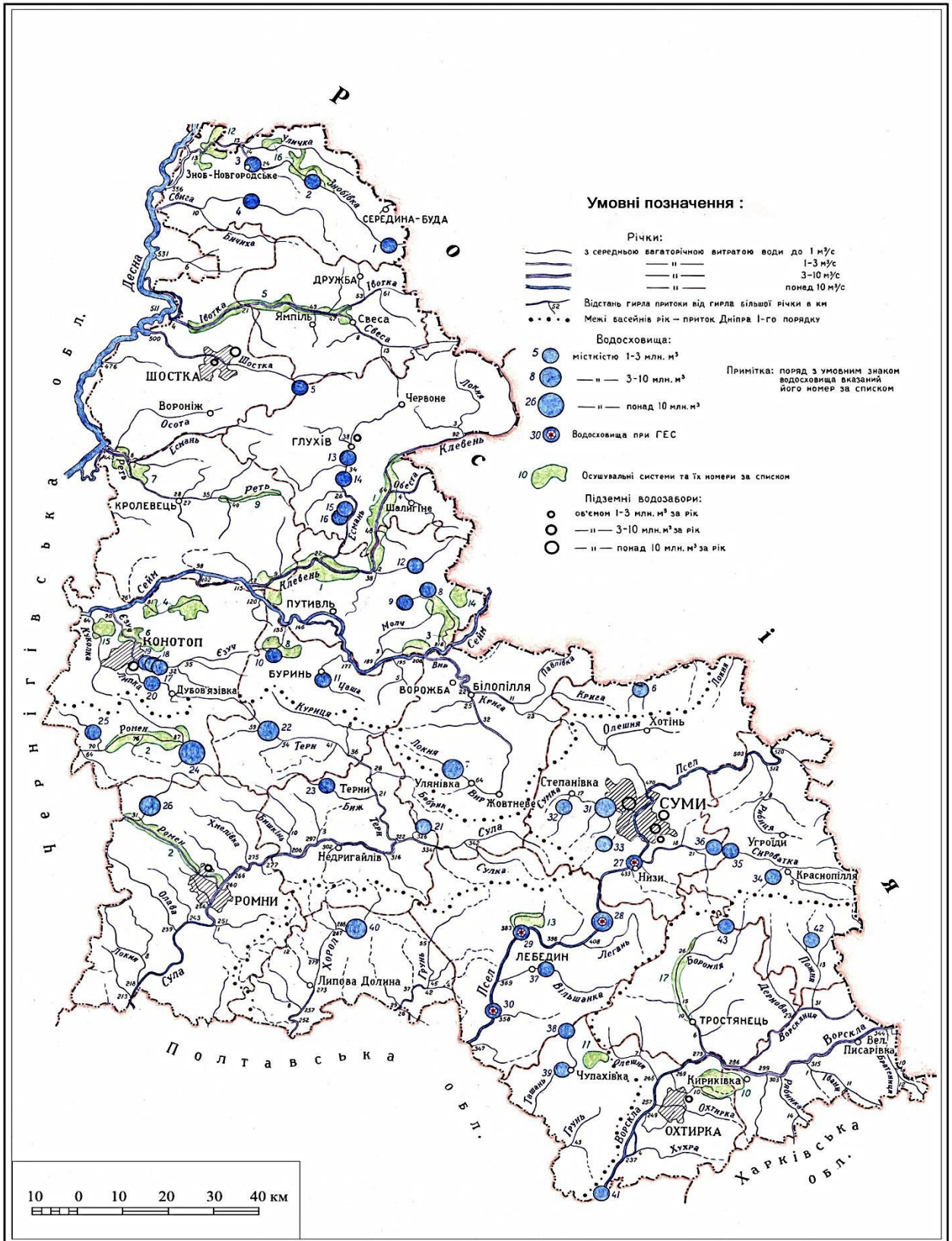
4	Пельтон (ковшова)		<p>Напір: 40 ... 700 м          Вихідна потужність:          30 кВт ... 4 МВт          Виготовляються в          вертикальному і          горизонтальному          виконаннях</p>	<p>Цей тип турбін застосовують при великих напорах. Напірний трубопровід заходить до будівлі гідроелектростанції і закінчується соплом, що направляють струмінь на робоче колесо турбіни. Струмінь води, що вилітає з сопла, прокочується по увігнутій поверхні ковша і змінює напрямок свого руху на протилежне.</p>
5	Тюрго (похило-струменева)		<p>Напір: 35 ... 130 м          Вихідна потужність:          30 кВт ... 2 МВт          Виготовляються в          вертикальному і          горизонтальному          виконаннях</p>	<p>Це активна турбіна, відома як турбіна Банкі-Мічелла (Banki-Michell), застосовується в більш широкому діапазоні напорів, ніж у турбін Каплана, Френсіса і Пельтона. Вода в турбіну підводиться до робочого колеса голчастим соплом. Робоче колесо має велике число лопатей, що змінюють напрямок руху струменів, що на них натікають, і викидаються з сопла під кутом до осі обертання колеса.</p>
6	Банкі (дворазова)		<p>Напір: 6 ... 15 м          Вихідна потужність:          1 кВт ... 15 кВт          Виконання турбіни          горизонтальне</p>	<p>Активна турбіна поперечно-струменевої течії. Особливість: подвійне перетворення енергії, яке відбувається під час «попадання» води на лопаті на вході і виході з полого ротора. Використання двох робочих фаз не забезпечує ніякої переваги за винятком того, що це дуже ефективний і простий спосіб відведення води з ротора.</p>

## Інформація про стан та потенціал малої гідроенергетики України на 2015 рік

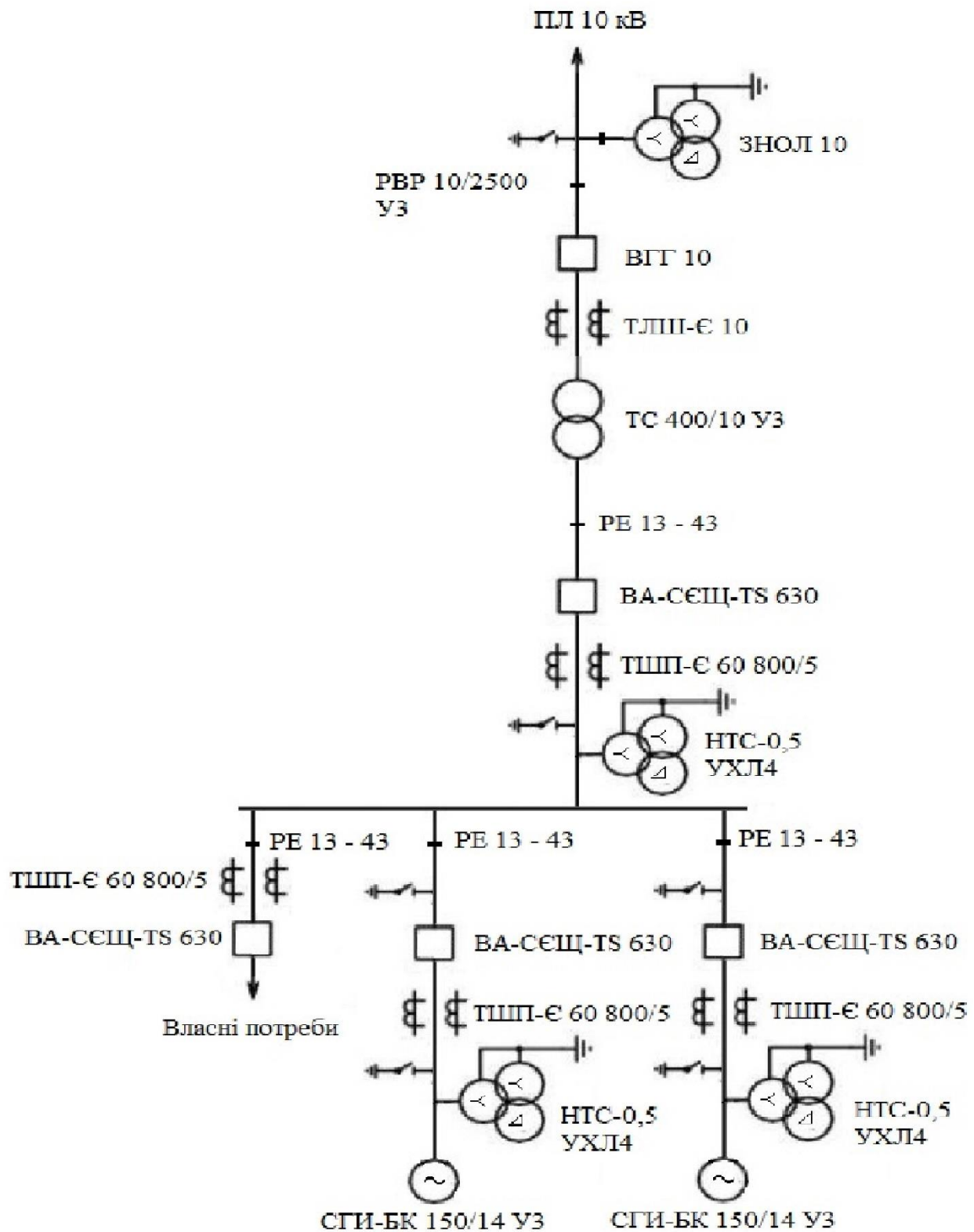
№ п/п	Область	Діючі малі ГЕС			Недіючі малі ГЕС			Технічний гідроенергопотенціал млн. кВт-год.	Доцільно-економічний гідроенергопотенціал млн. кВт-год.
		Кількість, одиниць	Потужність МВт	Середньорічне виробництво електроенергії млн. кВт · год.	Кількість одиниць	Орієнтовна потужність МВт	Можливий середньорічне виробництво млн. кВт-год.		
1	Вінницька	16	19,48	91,3	11	1,56	7,5	238	108
2	Волинська	-	-	-	-	-	-	76	35
3	Дніпропетровська	-	-	-	-	-	-	67	30
4	Донецька	-	-	-	-	-	-	125	57
5	Житомирська	14	2,47	9,8	28	5,90	23,4	222	101
6	Закарпатська	6	8,36	9,9	-	-	-	2991	1357
7	Запорізька	-	-	-	-	-	-	33	15
8	І.-Франківська	4	2,59	5,5	13	0,90	1,8	263	120
9	Київська	5	2,46	5,2	9	1,07	8,5	132	60
10	Кіровоградська	4	12,25	40,0	8	1,00	4,0	112	51
11	Луганська	-	-	-	-	-	-	288	131
12	Львівська	2	0,57	2,2	7	8,00	17,0	1197	544
13	Миколаївська	4	12,87	46,7	-	-	-	104	47
14	Одеська	-	-	-	1	0,5	2,0	25	11
15	Полтавська	5	1,20	2,6	3	1,2	2,6	261	119
16	Рівненська	2	1,27	5,2	-	-	-	201	91
17	Сумська	3	0,79	13,3	1	0,16	1,0	197	89
18	Тернопільська	13	10,72	39,4	8	2,02	8,7	282	128
19	Харківська	1	4,50	15,0	-	-	-	177	80
20	Херсонська	-	-	-	1	-	-	2	1
21	Хмельницька	18	6,31	22,3	8	1,15	10,0	200	91
22	Черкаська	11	6,15	23,5	6	2,25	9,6	219	99
23	Чернівецька	1	1,00	9,0	2	0,38	2,3	583	265
24	Чернігівська	1	0,23	0,9	-	-	-	118	54
25	АР Крим	4	0,15	0,5	-	-	-	139	63
	<b>Всього</b>	<b>114</b>	<b>94,20</b>	<b>342,2</b>	<b>106</b>	<b>26,00</b>	<b>98,4</b>	<b>8252</b>	<b>3747</b>

Джерело: ВГО «Асоціація «Укргідроенерго»

Водосховища та МГЕС Сумської області [2]







					<b>БР 3.6.141.283 ПЗ</b>		
Изм/Лист	№ докум	Подп.	Дата	Проектування малої гідроелектростанції	Лист	Маса	Масштаб
Разраб.							
Проб.					Лист 1	Листов 1	
Т. Контр.					Кафедра ЕЕЕ, 2020		
Головна електрична схема							
Н. Контр.							
Утв.							