

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»
Факультет машинобудування, електроінженерії та хімічних технологій
Кафедра електричної інженерії

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____	О. КОЛЛАРОВ
(підпис)	(ініціали, прізвище)
«___» _____	2022 р.

Кваліфікаційна робота
бакалавра

на тему Розробка автономної електростанції на базі фотоелектричних елементів і вітряка

Виконав студент 4 курсу, групи ЕЛКп-19
(шифр групи)

спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та
підготовки _____
(шифр і назва спеціальності підготовки)

та електромеханіка»

Володимир КУЗУРМАН

(ім'я та прізвище)

(підпис)

Керівник к. т. н. Н.САВЧЕНКО

(посада, науковий ступінь, вчене звання, ініціали, прізвище)

(підпис)

Рецензент _____

(посада, науковий ступінь, вчене звання, ініціали, прізвище)

(підпис)

Нормоконтроль:

О. ЛЮБИМЕНКО

(підпис)

06.06.2022

(дата)

Засвідчую, що у цій випускній кваліфікаційній роботі немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент _____

(підпис)

06.06.2022

(дата)

ЛУЦЬК – 2022

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
«ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»**

Факультет машинобудування, електроінженерії та хімічних технологій

Кафедра електричної інженерії

Освітній ступінь: бакалавр

Спеціальність: електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри

_____ (О. КОЛЛАРОВ)

« » _____ 2022 р.

**ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Володимиру КУЗУРМАНУ

(ім'я та прізвище)

1. Тема роботи: Розробка автономної електростанції на базі фотоелектричних елементів і вітряка

керівник роботи _____ Наталя САВЧЕНКО, канд. техн. наук

(ім'я та прізвище, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від _____ № _____

2. Строк подання студентом роботи 06 червня 2022 року

3. Вихідні дані до роботи: Метеорологічні та кліматичні умови для

Донецької області, максимальна потужність навантаження 45 кВт,

напруга 380/220 В, частота мережі 50 Гц

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):

1. Аналіз побудови систем з ВДЕ.

2. Оцінка потенціалу ВДЕ.

3. Розробка гібридної автономної електростанції.

4. Розробка заходів з охорони праці.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, якщо передбачається)

Вісім слайдів презентаційного матеріалу.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Ініціали, прізвище та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділи 1 – 3	Н. САВЧЕНКО, доц. каф.		
Розділ 4	О. КОЛЛАРОВ, зав. Каф.		
Нормоконтроль	О. ЛЮБИМЕНКО, доц. каф.		

7. Дата видачі завдання 05 травня 2021 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Розділ 1	03.05.22 – 12.05.22	
2.	Розділ 2	13.05.22 – 23.05.22	
3.	Розділ 3	24.05.22 – 31.05.22	
4.	Розділ 4	01.06.22 – 06.06.22	
5.			
6.			
7.			
8.			
9.			

Студент _____
(підпис)

Володимир КУЗУРМАН
(ім'я та прізвище)

Керівник роботи _____
(підпис)

Наталя САВЧЕНКО
(ім'я та прізвище)

АНОТАЦІЯ

Кузурман Володимир Віталійович. Розробка автономної електростанції на базі фотоелектричних елементів і вітряка / Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «Бакалавр» за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». – ДВНЗ ДонНТУ, Луцьк, 2022.

Дипломна робота складається з вступу, чотирьох розділів основної частини, висновку та списку використаних джерел.

У першому розділі наведений огляд існуючих гібридних автономних систем електропостачання, їх структура та склад.

У другому розділі виконана оцінка потенціалу відновлювальних джерел енергії для окремого регіону країни та розглянуті загальні показники впливу на вироблення електричної енергії гібридною електростанцією.

У третьому розділі наведений розрахунок необхідних потужностей автономної гібридної електростанції за завданням навантаженням та виконаний вибір обладнання.

У четвертому розділі розглянуті питання охорони праці.

Ключові слова: фотоелектрична станція (ФЕС), вітроустановка (ВЕУ), відновлювальне джерело енергії (ВДЕ), гібридна електростанція, енергоємність.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ПОБУДОВИ СИСТЕМ З ВДЕ	7
1.1 Класифікація та огляд автономних електростанцій з ВДЕ	7
1.2 Структура та склад ФЕС	10
1.3 Структура та склад ВЕУ	13
1.4 Принципи побудови гібридної автономної електростанції	17
РОЗДІЛ 2. ОЦІНКА ПОТЕНЦІАЛУ ВДЕ	19
2.1 Потенціал сонячної енергетики у Україні	19
2.2 Потенціал вітрової енергетики у Україні	21
2.3 Оцінка метеорологічних та кліматичних умов у Донецькій області	23
РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА ГІБРИДНОЇ АВТОНОМНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ	26
3.1 Розробка схеми автономної електростанції	26
3.2 Розрахунок сонячної електростанції та вибір обладнання	27
3.3 Розрахунок вітроелектростанції та вибір обладнання	42
3.4 Забезпечення надійності роботи гібридної електростанції	48
ВИСНОВКИ	50
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	51
ДОДАТОК А. ОХОРОНА ПРАЦІ	52

ВСТУП

Електрична енергія є однією із видів енергії, без якої неможливо у сучасному світі уявити життя та діяльність людства. Від розвитку енергетичних систем залежить розвиток усіх сфер виробництва, науки та техніки, а також комфортабельність умов існування людини. Критичний стан у енергетиці з традиційними джерелами енергії призвів до потужного розвитку нетрадиційних відновлюваних джерел енергії. Особливо це стало актуально в умовах неможливості застосування традиційних джерел енергії через їх негативний вплив на навколишнє середовище, а також на віддалених об'єктах, де застосування традиційних джерел енергії недоцільно економічно або з інших причин.

За останніми дослідженнями та оцінками перспектив використання відновлюваних джерел енергії, можливо зробити висновок, що їх технічний ресурс дуже великий. Переважну частку потенціалу має енергія сонця та енергія вітру. Також для запровадження ВДЕ необхідно враховувати економічний потенціал, який залежить від існуючих економічних умов, вартості, наявності та якості запасів викопних паливно-енергетичних ресурсів. Особливістю економічного потенціалу є його мінливість у часі. Впровадження відновлювальної енергетики значно впливає на вирішення проблеми енергозабезпечення децентралізованих районів та проблеми розвантаження Енергетичної системи країни. Найбільш енергоефективним та надійним варіантом побудови автономних енергетичних комплексів є гібридні системи, що переважно складаються з сонячних та вітрових станцій.

Тому метою даної роботи є поглиблення знань у галузі альтернативної енергетики та розробка оптимальної гібридної електростанції для покриття завданого навантаження.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ПОБУДОВИ СИСТЕМ З ВДЕ

1.1 Класифікація та огляд автономних електростанцій з ВДЕ

Розвиток відновлюваної енергетики - це майбутнє усього енергетичного комплексу країни. Заміщення традиційних джерел на відновлювальні джерела енергії є вирішенням проблем енергетичної кризи, що маємо у сучасному світі.

За останніми науковими дослідженнями Стендфордського Університету. світ повністю перейде на відновлювані джерела до 2050 року.

Джерела відновлювальної енергії можливо класифікувати за джерелом походження на наступні види (рис 1.1):

- сонячна енергія;
- вітрова енергія;
- енергія води, а саме енергія хвиль та припливів;
- геотермальна енергія;
- низькопотенційна теплова енергія навколишнього середовища;
- енергія біомаси та біогазу;
- водородна енергія.

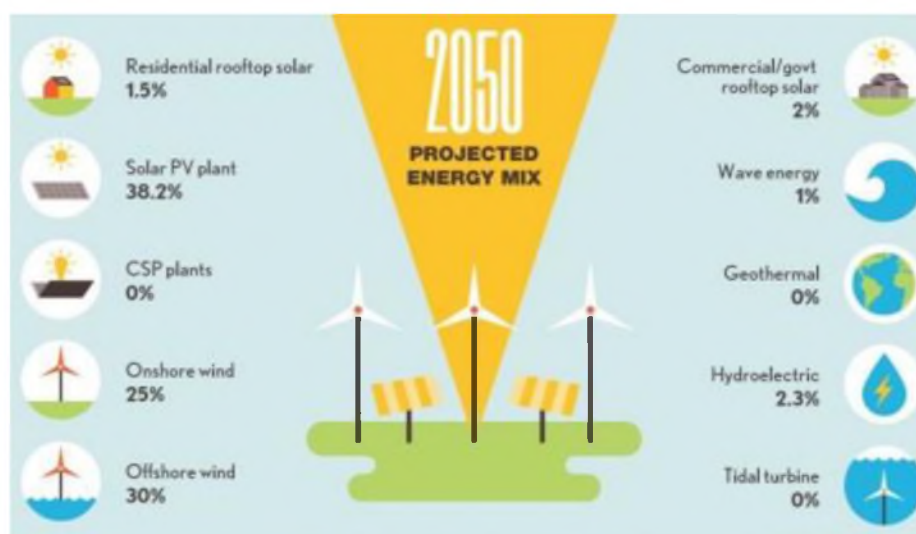


Рисунок 1.1 – Класифікація та перспективи розвитку альтернативних джерел енергії

Принцип отримання електричної енергії у відновлювальній енергетиці заснований на використанні та перетворенні природних ресурсів, що переслідує мету заповнення екологічно чистої енергії. ВДЕ мають перевагу від традиційних джерел саме у своїй екологічності, так при роботі вони практично не мають брудних відходів, не мають викиду забруднюючих речовин у навколишнє середовище. Відсутність екологічних витрат, легкість автоматизації та можливість роботи без посередньої участі людини, роблять відновлювальні джерела енергії привабливими та конкурентоспроможними у виробничій та експлуатаційній інфраструктурі енергетики.

Також розвиток відновлювальної енергетики є запорукою енергозбереження. Таким чином, за класом енергозбереження ВДЕ можливо класифікувати на ті що використовують первинні та вторинні енергоресурси. До первинних джерел енергії відносять джерела, що були утворені в результаті геологічного розвитку Землі та мають поновлюваний характер і їх використання має першочергову задачу, а саме використання сонячної енергії, вітрової, приливів-відливів, геотермальної енергії і та інші (рис.1.2).

Найбільш перспективним для України згідно кліматичних умов вважається запровадження сонячних електростанцій, вітроенергетичних установок та низькопотенційних теплових малопотужних електростанцій.

Вторинні джерела енергії здебільшого є головним резервом збереження енергії і вони засновані на застосуванні енергозберігаючих технологій.

На базі ВДЕ формуються два типи електростанцій – автономні, що працюють відокремлено від загальної енергосистеми та системні, що можуть працювати паралельно з загальною енергосистемою (рис.1.3).

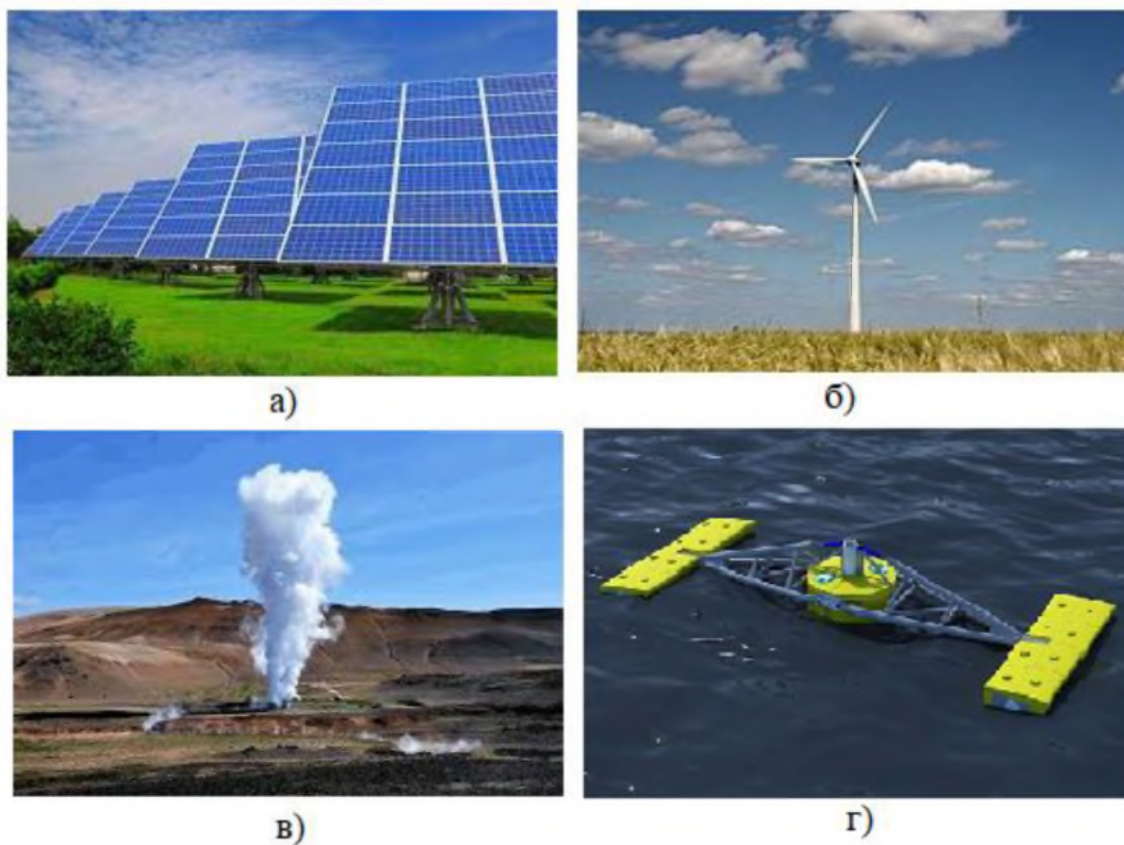


Рисунок 1.2 – Різновиди автономних електростанцій:

а) сонячна електростанція; б) вітрова електростанція; в) геотермальна електростанція; г) електростанція заснована на енергії морських хвиль



Рисунок 1.3- Структура системної електростанції

Таким чином, впровадження альтернативної енергетики призведе до загального розвантаження Енергетичної системи країни та вирішення питань енергозбереження та екологічності як власних домогосподарств так і у промисловій сфері, причому засоби заощаджені завдяки раціональному використанню енергії необхідно скеровувати на подальші енергозберігаючі заходи.

1.2 Структура та склад ФЕС

Сонячна енергетика базується на використанні сонячного випромінювання для отримання електричної та теплової енергії на потреби споживача. Сонячна енергетика у сучасному світі є найбільш затребувана як екологічно чиста та має відновлюване джерело енергії.

Структура сонячної електростанції залежить від її призначення, відповідно їх розрізняють як автономні (рис.1.4) та з комутацією з електричною мережею (рис.1.5) [1].

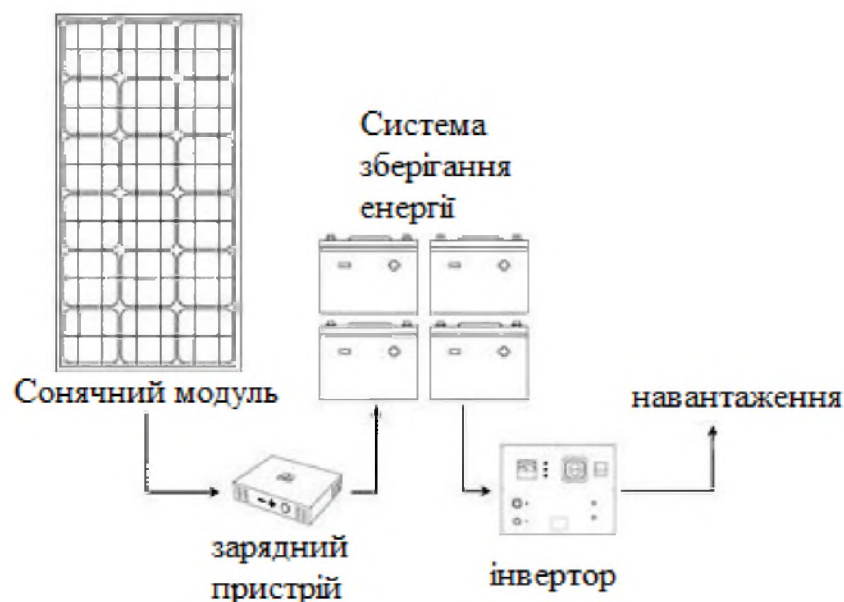


Рисунок 1.4 – Спрощена структура автономної ФЕС

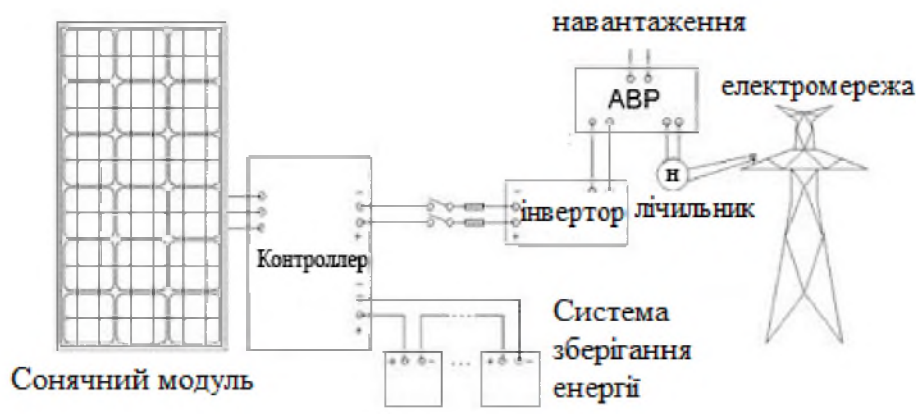


Рисунок 1.5 – Спрощена структура ФЕС з комутацією з електромережою

Усі фотоелектричні станції (ФЕС) мають у своєму складі одні й ті ж самі елементи. Практично ФЕС представляє собою комплекс збірних фотомодулів (сонячних панелей), що працюють в системі зі спеціальним інвертором та системою зберігання енергії.

Фотомодулі поглинають сонячне світло і перетворюють його на постійний електричний струм. А інвертор модифікує постійний струм в змінний – такий, який і застосовується для побутових потреб. За рахунок двонаправленого лічильника система враховує кількість виробленої станцією і спожитої будинком електроенергії. Надлишок направляється в мережу, а його кількість враховується лічильником. Саме за цими даними буде визначатися обсяг проданої за Зеленим тарифом електроенергії.

Наведемо основні складові ФЕС та їх призначення:

1. Фотомодулі або сонячні модулі. Фотомодулі поглинають сонячне світло і перетворюють його на постійний електричний струм. Потужність та напруга фотомодулю залежить від кількості фотоелементів, матеріалу виготовлення та схеми їх поєднання. Фотоелементи виробляють з кремнію. Саме від виду кремнію залежить енергоефективність роботи всієї ФЕС. Тому що кремній містить різні домішки. Для виготовлення фотоелементів кремній необхідно

очишати від домішок. Чим однорідніше склад кремнію, тим вища продуктивність фотоелементів [2].

Кремній для сонячних батарей застосовується двох видів[2]:

- полікристалічний – бюджетний і містить домішки. З природного матеріалу отримують пари кремнію, які охолоджують, осаджують і перетворюють в пластини для фотомодулів;
- монокристалічний – більш якісний і «чистий». Його вирощують з природно цілісного кристала, який, в свою чергу, отримують з розплавленої маси кремнію. Це моноліт, який розрізається на найтонші пластини для майбутніх батарей. Сам процес складний і дорогий, тому такі панелі дорожчі за полікристалічні;

2. Система зберігання енергії. Цей елемент може бути відсутнім для систем, що працюють паралельно з електромережою. Система зберігання енергії здебільшого складається з декількох акумуляторів необхідних для накопичення електричної енергії, але може мати у своєму складі і інші накопичуючі пристрої. Необхідність накопичення енергії пов'язана з особливістю роботи фотомодулів, оскільки вироблення струму ними непостійне в часі. Накопичувальний пристрій буде віддавати накопичену енергію коли її вироблення буде недостатнім для забезпечення споживача. Ємність системи накопичення визначає час споживання при простій сонячних батарей;

3. Інвертор. Пристрій, який модифікує постійний струм в змінний від фотоелементів задля споживання навантаженням;

4. Додаткові елементи, а саме різні з'єднання, контролери заряду-розряду, дроти, кріплення та інше.

Наведемо переваги ФЕС [3]:

- загальнодоступність та невичерпність джерела;
- екологічність, а саме відсутній шкідливий вплив на навколишнє середовище.

Недоліки ФЕС[3]:

- режим роботи фотоелектростанції цілком залежить від часу доби та кліматичних умов, вона не працює вночі та має низьку енергоефективність в ранкових та вечірніх сутінках;
- велика вартість фотоелементів, але з розвитком технології цей недолік буде усунуто;
- низький ККД фотоелементів, але з кожним роком новітні розробки дають можливість його підвищення;
- продуктивність фотопанелей значно знижується з накопиченням шару потрібно пилу та інших забруднень, тому їх необхідно очищати. При великій площі це може викликати труднощі;
- енергоефективність фотоелектричних елементів доволі сильно зменшується при їх нагріванні, тому необхідно встановлювати в установці систему охолодження;
- довільний строк служби, через 20-30 років експлуатації в залежності від виду фотомодулів ефективність їх починає знижуватись.

1.3 Структура та склад ВЕУ

Вітроенергетика – галузь альтернативної енергетики, яка спеціалізується на перетворенні кінетичної енергії вітру в електричну енергію [4].

Джерелом вітроенергетики, що відповідає за утворення вітру є сонце. Атмосфера землі вбирає сонячну радіацію нерівномірно через неоднорідності її поверхні та різний кут падіння світла в різних широтах в різну пору року. Повітря розширюється та підіймається догори, утворюючи потоки. Там де повітря нагрівається більше ці потоки підіймаються вище та зосереджуються у зонах низького тиску, а холодніше повітря підіймається нижче, створюючи зони високого тиску. Різниця атмосферного тиску змушує повітря пересуватися від зони високого тиску до зони низького тиску з пропорційною швидкістю. Цей рух повітря і є вітром [4].

Вітроелектроустановки також можливо поділити на автономні (рис. 1.6) та ті, що працюють з комутацією мережі(рис.1.7).

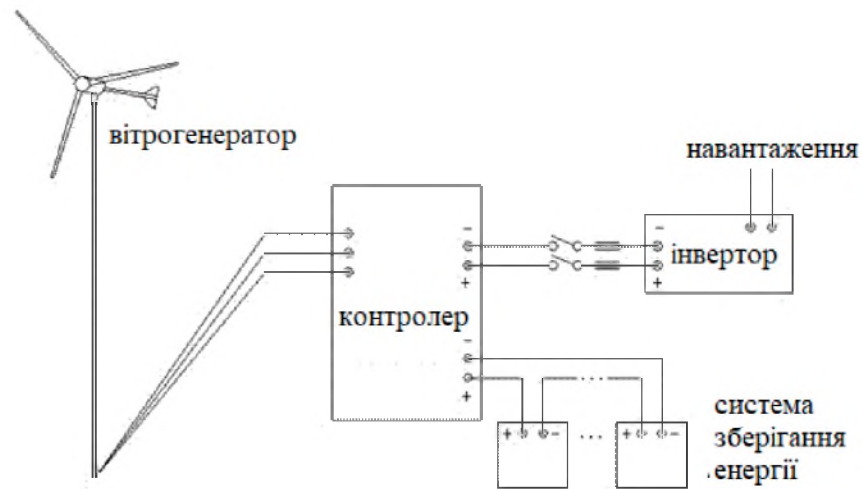


Рисунок 1.6 – Спрощена схема автономної ВЕУ

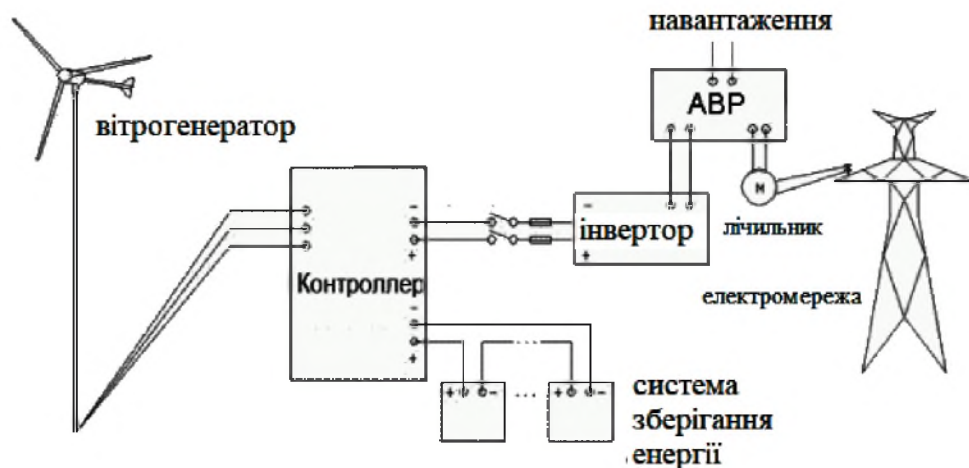


Рисунок 1.7 – Спрощена схема ВЕУ, що працює паралельно з електромережею

Основні компоненти ВЕУ [5]:

1. Генератор, загальним призначенням якого є заряд накопичуючих пристроїв системи зберігання енергії. Від його потужності залежить швидкість заряду пристроїв системи зберігання енергії. Генератор є джерелом змінного

струму. Сила струму та напруга генератора залежить від швидкості та стабільності вітру.

2. Лопаті - надають руху валу генератора завдяки кінетичній енергії вітру.

3. Щогла – від її висоти залежить стабільність та сила вітру. Таким чином, чим вище щогла, тим більше виробляється енергії генератором.

Список додаткових компонентів[5]:

1. Контролер – керує усіма процесами вітроустановки.

2. Накопичуючі пристрої – накопичують електроенергію для використання в безвітряний годинник. Також вони вирівнюють і стабілізують напругу, що виходить з генератора.

3. Анемоскоп і датчик напрямку вітру – відповідають за збір даних про швидкість та напрям вітру в установках середньої та великої потужності.

4. АВР – автоматичний перемикач джерела живлення. Здійснює автоматичне перемикання між декількома джерелами електроживлення за проміжок 0,5 секунд при зникненні основного джерела.

5. Інвертор – перетворює струм з постійного, що накопичується в акумуляторних батареях, змінний, який споживає більшість електроприладів.

Вітрогенератори за призначенням поділяються на дві категорії: промислові та для приватного використання. Промислові мають у складі декілька потужних вітрогенераторів, що об'єднані у мережі, у результаті маємо вітряну електростанцію. Вона є екологічною, тому що має повну відсутність як сировини, так і відходів. Єдина важлива вимога для ВЕУ – високий середньорічний рівень вітру.

Основні різновиди вітроагрегатів поділяються на дві групи [6]:

1. Вітродвигуни з горизонтальною віссю обертання (крильчасті) (рис.1.8);

2. Вітродвигуни з вертикальною віссю обертання - карусельні: лопатеві та ортогональні (рис1.9).

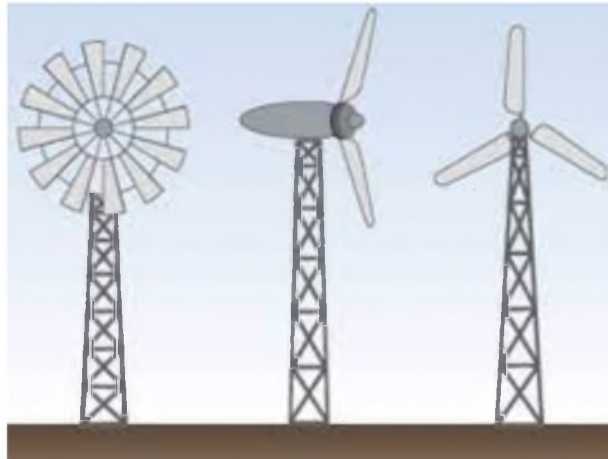


Рисунок 1.8 – Крильчасті ВЕУ

Типи крильчастих вітродвигунів відрізняються лише кількістю лопатей.

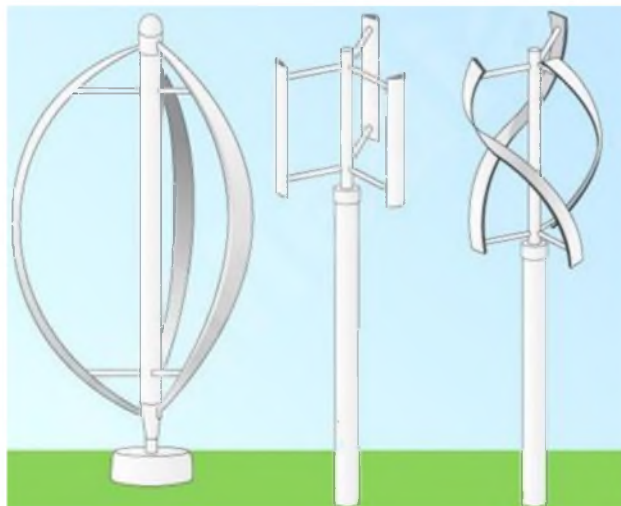


Рисунок 1.9 – ВЕУ з вертикальною віссю обертання

Переваги ВЕУ:

- екологічно-чистий вид енергії;
- ергономічність;
- невичерпаний ресурс енергії;
- можливість встановлення у важкодоступних місцях.

Недоліки:

- нестабільність у роботі в залежності від кліматичних та погодних умов;
- відносно невисокий ккд;
- висока вартість;
- шумове забруднення.

1.4 Принципи побудови гібридної автономної електростанції

Проблемою альтернативної енергетики є її залежність від кліматичних та погодних умов. Рішенням є запровадження гібридних систем енергопостачання від різних джерел. Самим перспективним є дублювання та комбінування вітроустановки та сонячної батареї, при цьому головною умовою є домінування одного джерела над іншим. У такому разі алгоритм роботи системи буде наступним - при відсутності вироблення енергії від одного із джерел, інше виступає дублюючим, а у разі неможливості отримання електроенергії від обох джерел автоматично підключається система зберігання енергії, забезпечуючи надійне енергопостачання споживача.

Численні дослідження з використання гібридних систем доводять, що спочатку неможливо передбачити об'єми вироблення енергії в конкретному регіоні за рахунок відновлюваних джерел. Таким чином, розрахунок величини встановлюваної потужності генеруючого обладнання для конкретного споживача з його особливостями та графіком споживання в локальних кліматичних умовах є важкою і практично неможливою задачею. Тому найпростішим рішенням є встановлення максимальної розрахункової гібридної конфігурації з подальшим збільшенням кількості компонентів при необхідності. Саме для гібридної системи заходи з нарощення потужності не мають наслідків для споживача у питанні енергопостачання у зв'язку з взаємним дублюванням джерел енергії. Це перевага та основний принцип побудови гібридних систем.

Також головною ознакою гібридних систем енергопостачання є одночасне використання різних за походженням видів палива, таких як традиційне (бензин, вугілля, газ, дизель та ін.) та відновлювані джерела енергії (вітер, вода, сонце та

ін.), але гібридна система побудована тільки на альтернативних джерелах є найбільш незалежною. Загальна структурна схема таких систем наведена на рис.1.10.

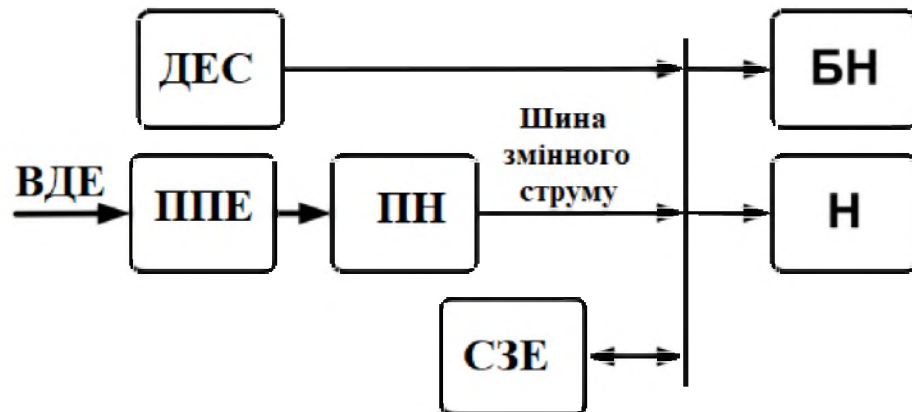


Рисунок 1.10 – Структурна схема гібридної автономної системи:

ДЕС – дизельна електростанція; ППЕ – перетворювач первинного енергоресурсу; ПН-перетворювач напруги; СЗЕ-система зберігання енергії; Н- навантаження; БН-баластове навантаження

Комплексне енергопостачання є спільною генерацією електричної та теплової енергій в одній системі. Гібридні автономні системи енергопостачання поєднують у собі всі перераховані вище функції, досягаючи таким чином безперебійного, економічно вигідного та екологічно чистого забезпечення об'єкта електричної та теплової енергіями. Одним із принципів функціонування автономних систем електропостачання є почергове використання накопичувачів електричної енергії, у якості яких можуть виступати акумуляторні елементи, механічні накопичувачі енергії та суперконденсатори. Почергове використання елементів СЗЕ дає змогу збільшити час автономної роботи.

Таким чином, розробка гібридної системи потребує визначення потенціалу регіону де буде побудована електростанція, а за результатами обрати її склад.

РОЗДІЛ 2. ОЦІНКА ПОТЕНЦІАЛУ ВДЕ

2.1 Потенціал сонячної енергетики у Україні

Україна має значний потенціал основних видів відновлюваних джерел енергії, але на даний час вони становлять досить незначну частку в загальному енергобалансі держави [6].

Альтернативна енергетика як у світі так і в Україні щороку дешевшає завдяки вдосконаленню технологій її отримання та застосування, що робить можливим реалізацію питання енергетичної незалежності України.

Потенціал використання сонячної енергії в Україні є достатньо високим для широкого впровадження як теплоенергетичного, так і фотоенергетичного обладнання. Середньорічна кількість сумарної сонячної енергії, що надходить на 1 км² території України, становить майже 1070 кВт·год у північній частині країни та 1400 кВт·год і вище у південних областях. Задля подальшого розвитку та масового виробництва сонячних фотоелементів розроблені модулі батарей на основі напівпровідникового кремнію [4].

Сонячна енергетика в Україні поки не набула широкого господарського використання, проте передумови для цього є. Вона здатна забезпечити економію за рік до 6 млн т умовного палива, потенціал її розвитку забезпечують власна наукова і промислова бази.

Фотоенергетичне обладнання може достатньо ефективно експлуатуватися на протязі всього року проте, максимально ефективно протягом 7 місяців на рік (з квітня по жовтень).

Перетворення сонячної енергії в електричну в умовах України слід орієнтувати в першу чергу на використання фотоелектричних пристроїв. Наявність значних запасів сировини, промислової та науково-технічної бази для виготовлення фотоелектричних пристроїв може забезпечити сповна не тільки потреби вітчизняних споживачів, але й експортувати більше двох третин виробленої продукції.

Беручи до уваги досвід з впровадження сонячних електростанцій (далі – СЕС) в європейських країнах зі схожим рівнем сонячного випромінювання, а також з огляду на світові тенденції постійного зниження собівартості будівництва СЕС внаслідок розвитку технологій, в Україні за рахунок вдосконалення технології та введення в експлуатацію нових потужностей виробництво електроенергії СЕС може бути значно збільшено.

Умовно територію України можна розділити на чотири зони, залежно від інтенсивності сонячної радіації [4].



Рисунок 2.1 – Розподіл питомої сумарної сонячної радіації на території України протягом року

Станції, що працюють на сонячній енергії (геліостанції), взагалі безшумні. Істотний недолік полягає у тому, що такі станції займають великі площі. Кожен 1 МВт потужності СЕС потребує відведення щонайменше 1,5 га землі. Мінусом також є те, що вихід енергії – непостійний. На СЕС сьогодні припадає близько 4% виробленої електроенергії з відновлювальних джерел енергії у світі.

За допомогою енергії Сонця можна частково забезпечити електроенергією мешканців приватного сектору, (паралельно з роботою електричної мережі). Для цього використовуються фотоелектричні елементи, які розташовуються на даху будинку.

Станом кінець 2020 року встановлено СЕС загальною номінальною потужністю 6320 МВт без урахування близько 407,9 МВт потужностей, які перебувають на окупованій Росією території, які генерують 1,265 млрд кВт-год електроенергії. Частка СЕС на перший квартал 2021 року загальній генерації України складає близько 6%.

Варто зазначити, що клімат та географічне положення України сприятливі для розвитку сонячної енергетики і будівництва СЕС. Навіть північні області країни мають значний потенціал для розвитку даної галузі, який не поступається більшості європейських регіонів.

2.2 Потенціал вітрової енергетики у Україні

Україна має значну перспективу розвитку вітроенергетики завдяки освоєнню вітрового потенціалу степових та гірських районів, зокрема Причорноморського та Приазовського. Для промислового використання енергії вітру економічно обґрунтованими є степові простори південних та південно-східних областей. У перспективі виробництво електроенергії шляхом створення та експлуатації вітроелектричних установок може становити 15 – 20% у загальному балансі електроенергії. Україна має достатній досвід проектування, будівництва, експлуатації та обслуговування вітрових електростанцій. Ефективність використання вітрових електростанцій становить 7 – 10%. Для прикладу, у країнах ЄС цей показник – 20 – 24% [6].

Максимально ефективне використання енергії вітру в Україні дасть змогу щорічно виробляти 5,71 млн МВт-год, тобто компенсувати 2,5% загального енергоспоживання країни.

Для того, щоб будівництво вітроелектростанції виявилася економічно виправданим, необхідно, щоб середньорічна швидкість вітру в цьому районі становила не менше 6 м/с.

Щоб найкраще використати вітряну енергію, важливо досконало розуміти добові та сезонні зміни вітру, зміну швидкості вітру в залежності від висоти над поверхнею землі, кількість поривів вітру за короткі відрізки часу, а також статистичні дані хоча б за останні 20 років.

Інститутом відновлюваної енергетики НАН України складена карта вітроенергетичного потенціалу нашої країни [4].

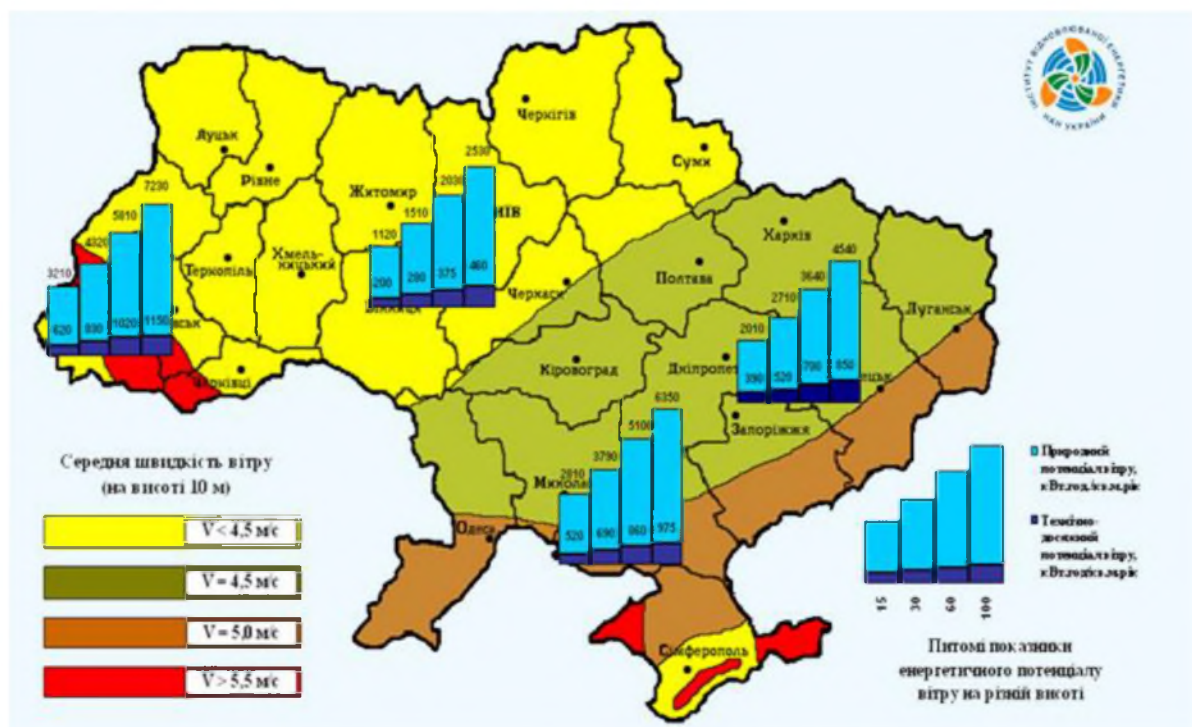


Рисунок 2.2 – Карта вітроенергетичного потенціалу України

Причини позитивного розвитку світових ринків вітроенергетики, безумовно, включають економічні переваги енергії вітру та її зростаючу конкурентоспроможність по відношенню до інших джерел електроенергії, а також гостру необхідність реалізації технологій без викидів з метою пом'якшення наслідків зміни клімату та забруднення повітря.

2.3 Оцінка метеорологічних та кліматичних умов у Донецькій області

Донецька область за своїм географічним розташуванням відноситься до Центрального степу. Клімат області континентальний із посушливо-суховійними явищами. Вітрові маси, які надходять з Азіатського материка й Нижневолжських степів, зумовлюють низькі температури взимку з холодними, а восени і влітку сухими гарячими вітрами. Середні температури січня від -5 до -8 °С, липня $21-23$ °С. Опадів близько 500 мм на рік. Навесні бувають суховії (частіше — у травні), влітку — посухи, іноді — пилові бурі, град, взимку — завірюхи.

Для побудови фотоелектричної станції у завданому районі необхідні значення сонячної інсоляції (радіації), що також дозволить визначити режим роботи ФЕС (цілорічний або сезонний).

У таблиці 2.1 вказані питомі місячні та сумарні річні значення сонячної радіації ($E_{y\partial}$) для Донецької області, де буде встановлена ФЕС.

Таблиця 2.1 - Значення питомої сонячної радіації для Донецької області

Місяць	Січень	Лютий	Березень	Квітень	Травень	Червень	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень	Листопад	Грудень
$E_{y\partial}$, кВт·год/ (м ² · день)	1,21	1,99	2,94	4,04	5,48	5,55	5,66	5,09	3,67	2,24	1,23	0,96

Аналіз таблиці 2.1 дає змогу зробити висновок, що оптимальне використання ФЕС припадає на період з березня до жовтня, мінімальні значення виробленої енергії ФЕС будуть з листопада до лютого.

Тривалість сонячного саява становить 2000-2050 годин і так само залежить від рельєфу місцевості [1].

Розрахунок місячного та сумарного річного значення сонячної радіації за наведено у таблиці 2.2.

Величина сонячної радіації за місяць:

$$E = E_{y0} \cdot n_{\text{дм}}, \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{м}^2$$

де $n_{\text{дм}}$ - кількість днів у завданому місяці.

Таблиця 2.2 – Значення місячної та річної сонячної радіації

Місяць	E_{y0} , кВт·год/ (м ² · день)	$n_{\text{дм}}$, дні	$E_{\text{міс}}$, кВт·год/ м ²
Січень	1,21	31	37,51
Лютий	1,99	28	55,72
Березень	2,94	31	91,14
Квітень	4,04	30	121,2
Травень	5,48	31	169,88
Червень	5,55	30	166,5
Липень	5,66	31	175,46
Серпень	5,09	31	157,79
Вересень	3,67	30	110,1
Жовтень	2,24	31	69,44
Листопад	1,23	30	36,9
Грудень	0,96	31	29,76
Усього		365	1221,4

Критерій визначення раціонального режиму роботи ФЕС знаходиться за такою формулою:

$$k_{\text{рад}} = E_{\text{річ}} / E_{\text{міс}},$$

де $E_{\text{річ}}$ - середні річні суми сумарної радіації на горизонтальну поверхню, кВт·год/ м².

$E_{\text{міс}}$ - середньомісячна сума сумарної радіації на горизонтальну поверхню, мінімальна протягом року, кВт·год/ м².

Коефіцієнт $k_{\text{рад}}$ характеризує відношенні сонячної радіації при найменш сонячному місяці до радіації за весь рік, тому можна сказати, якщо це

відношення буде більше 50, то режим роботи для ФЕС необхідно вибрати сезонний, якщо менше 50 - цілорічний [3].

$$k_{pad} = 1221,4 / 29,76 = 41,04.$$

Так як значення k_{pad} вийшло менше 50, то використання ФЕС застосовується цілорічне.

Розглянемо умови побудови вітроустановки у Донецькій області.

Високий потенціал вітрової енергії властивий району Донецької височини. Тут протягом року сприятливі умови для вітровикористання та ефективної роботи потужних вітроелектростанцій та автономних вітроенергоустановок.

Вітроенергетичні характеристики для Донецької області наведені у таблиці 2.3 [7].

Таблиця 2.3 – Вітроенергетичні показники району

Район	Середня річна швид- кість вітру, м/с	Питома потужність вітрової енергії, Вт/м²		Сумарні вітро- енергоресурси, МДж/м²		Тривалість (год.) різної швидкості вітру, м/с				Оцінка потенціалу вітрової енергії
		потен- ційної	утилізо- ваної	потен- ційної	утилізо- ваної	Загальна			безпе- ревна	
						<3	>3	>5	>3	
Донецька височина	5,0-6,0	200- 250	150-200	6000- 7500	4500- 5000	2250- 2750	4500- 5000	2000- 3200	17-25	Високий потенціал. Сприятливі умови вітровикористанн я

Аналіз вітроенергетичних показників з табл.2.3 вказує на можливість побудови вітроенергетичної установки, яка може працювати як у режимі основного джерела так і дублюючого.

РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА ГІБРИДНОЇ АВТОНОМНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ

3.1 Розробка схеми автономної електростанції

При розробці гібридної автономної електростанції необхідно визначити питання складу та яке з джерел буде головним, а яке дублюючим. Згідно проведеного раніше аналізу можливо зробити висновок, що Донецькій регіон має високий потенціал як з сонячної енергетики так і з вітрової, але монтаж сонячної електростанції у порівнянні з вітроустановками легший. Тому приймаємо, що ФЕС буде основним джерелом, а ВЕУ дублюючим. Система зберігання енергії буде складатися з акумулюючих елементів. Процес заряду-розряду акумуляторів буде виконувати гібридний контролер, який переключатиме перетоки енергії з ФЕС та ВЕУ. Необхідний рівень напруги та якість електричної енергії забезпечить інвертор. Схема автономної гібридної електростанції наведена на рис.3.1.

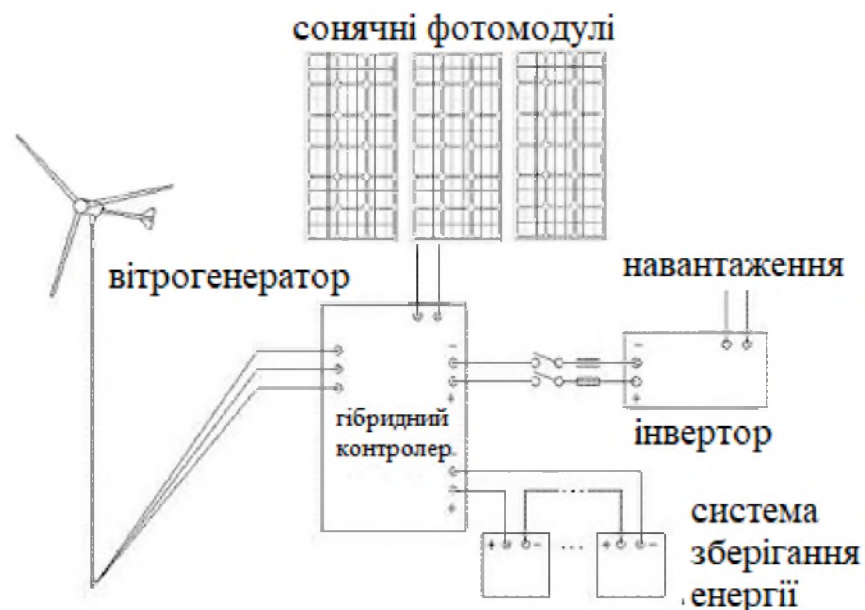


Рисунок 3.1 – Структурна схема автономної гібридної електростанції

3.2 Розрахунок сонячної електростанції та вибір обладнання

Сонячні елементи за матеріалом виготовлення, формою, ефективності перетворення енергії бувають трьох типів – монокристалічні, полікристалічні та аморфні.

Відмінність монокристалічних від полікристалічних комірок полягає у чистоті та однорідності за структурою кристалів кремнію при виготовленні. Монокристалічні мають перевагу у порівнянні з полікристалічними з технічних характеристик вироблення електроенергії.

Аморфні не мають каркаса і зроблені у вигляді плівки, яка наклеюється на поверхню, тому вони є найдешевшими через меншу витрату кремнію, але непрактичні у використанні та мають багато недоліків у порівнянні з монокристалічними та полікристалічними.

Таким чином, можливо зробити висновок, що при проектуванні ФЕС найбільш доцільним буде вибір монокристалічних фотоелектричних модулів.

Виконаємо розрахунок потужності сонячних панелей для забезпечення необхідною кількістю електроенергії від ФЕС.

Розрахунок площі сонячної батареї:

$$S_{\text{ФЕС}} = P_{\text{нав}} / P_{\text{ФЕМ}},$$

де $P_{\text{нав}}$ - загальне навантаження кВт, приймаємо 45 кВт для ФЕС та 5 кВт для ВЕУ.

Потужність ФЕС необхідно збільшити на 20% у зв'язку з неминучими втратами у проводах та обладнанні, а також з поступовим незначним зниженням ефективності ФЕМ при експлуатації.

$$P_{\text{нав1}} = P_{\text{нав}} \cdot 1,2 = 45000 \cdot 1,2 = 54000 \text{ Вт.}$$

Розрахункова середня потужність ФЕМ, Вт/м²;

$$P_{\text{ФЕМ сер}} = P_{\text{ФЕМ}} \cdot \eta,$$

де $P_{\text{ФЕМ}}$ – максимальна питома потужність, що віддається ФЕМ, Вт/м², за номінальною умовою освітлення, $P_{\text{ФЕМ}} = 1000$ Вт/м²;

η - коефіцієнт корисної дії (ККД) монокристалічних ФЕМ, у середньому становить значення від 15 до 22%. Приймаємо значення 20%.

$$P_{\text{ФЕМ сер}} = 1000 \cdot 0,2 = 200 \text{ Вт/м}^2.$$

Вибираємо для проєкту сонячний модуль типу TRINA SOLAR TSM-DE18M(II) з наступними характеристиками, які наведені у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Технічні характеристики ФЕМ TRINA SOLAR TSM-DE18M(II) [8]

Тип кремнію	Монокристал
Клас фотомодуля	"А"
Мах. потужність, (Вт)	500
Напруга при макс. потужності, (В)	42,8
Струм при макс. потужності, (А)	11,69
Струм к.з. (А)	12,28
Напруга х.х. (В)	51,7
Рама	Анодований алюміній
Розміри, (мм)	2176x1098x35
Вага, (кг)	26,3

Характеристики модулю наведені на рис. 3.2

Площа ФЕС становитиме:

$$S_{\text{ФЕС}} = P_{\text{нав}} / P_{\text{ФЕМ}} = 54000 / 200 = 270 \text{ м}^2;$$

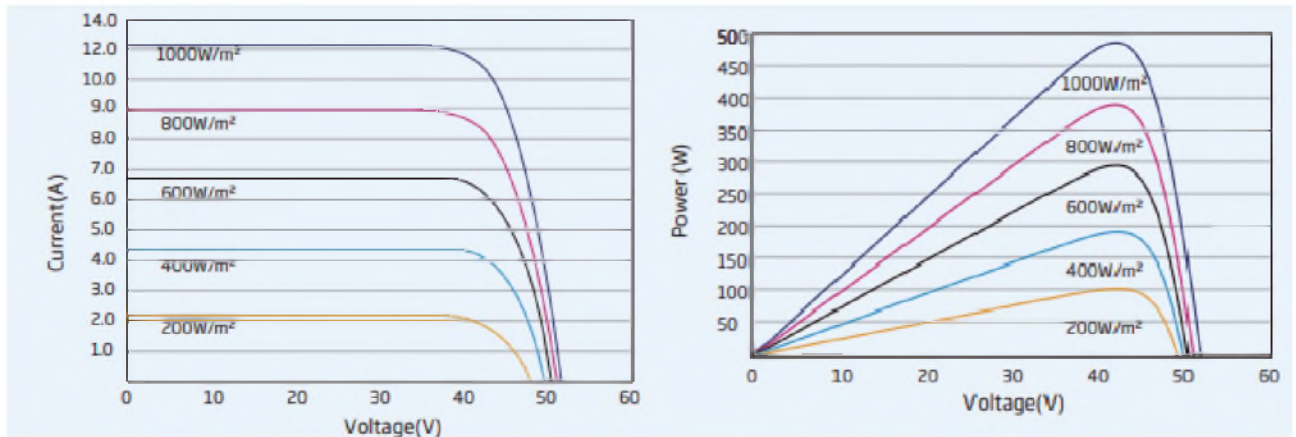


Рисунок 3.2 – Характеристика ФЕМ

З таблиці 3.1 площа одного ФЕМ складе:

$$S_{\text{ФЕМ}} = 2,176 \cdot 1,098 = 2,389 \text{ м}^2.$$

Кількість панелей ФЕС:

$$N_{\text{ФЕС}} = S_{\text{ФЕС}} / S_{\text{ФЕМ}} = 270 / 2,389 = 113 \text{ шт.}$$

Округлюємо до парного найближчого значення 114 шт;

Номінальна потужність всіх ФЕМ ФЕС складе:

$$P_{\text{ФЕС}} = N_{\text{ФЕС}} \cdot P_{\text{ФЕМ}} = 114 \cdot 500 = 57 \text{ кВт.}$$

Кількість виробленої електроенергії сонячною батареєю:

$$W_i = k_i \cdot E_{\text{ydi}} \cdot P_{\text{ФЕС}} / 1000$$

де E - значення інсоляції за вибраний період таблиці 2.1;

k - коефіцієнт, що дорівнює 0,5 та 0,7 у літній та зимовий періоди, відповідно. Він робить поправку на втрату потужності сонячних елементів під час нагрівання на сонці, а також враховує кут падіння променів на поверхню модулів протягом дня.

Розрахунок кількості виробленої енергії наведений у таблиці 3.2.

Графік даних за результатами таблиці 3.2 наведено на рис. 3.3.

Таблиця 3.2 - Вироблення енергії ФЕС залежно від місяця

Місяць	$E_{уд}$, кВт·год/ (м ² · день)	ФЕС, кВт·год
Січень	1,21	48,279
Лютий	1,99	79,401
Березень	2,94	117,306
Квітень	4,04	115,14
Травень	5,48	156,18
Червень	5,55	158,175
Липень	5,66	161,31
Серпень	5,09	145,065
Вересень	3,67	104,595
Жовтень	2,24	89,376
Листопад	1,23	49,077
Грудень	0,96	38,304

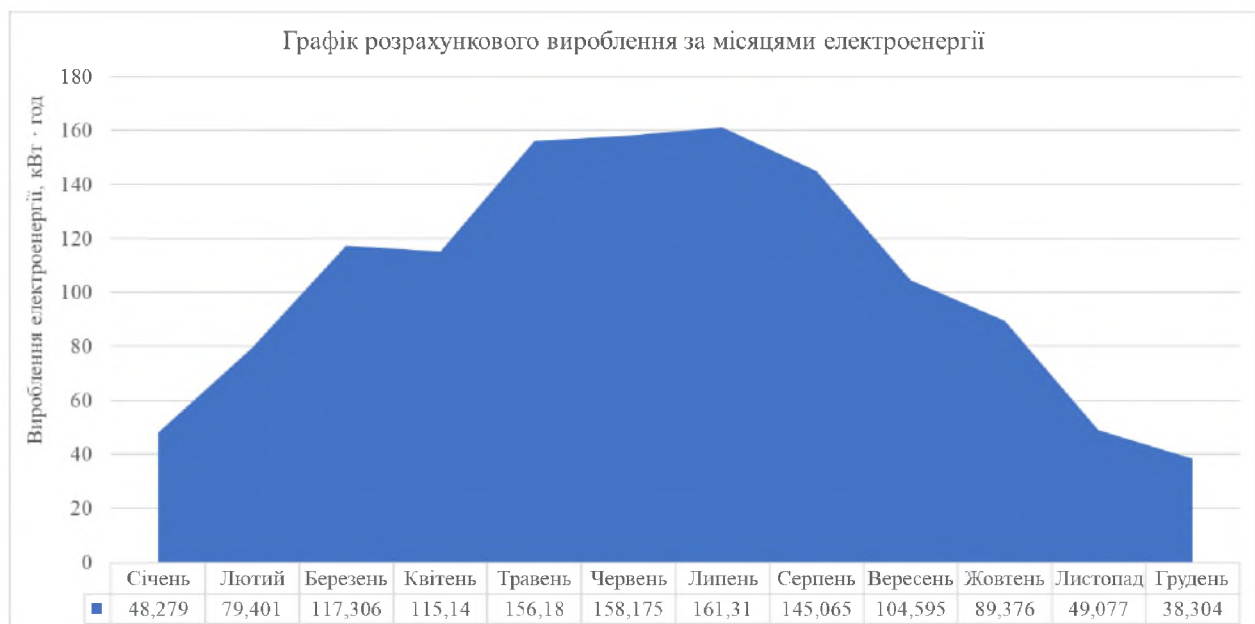


Рисунок 3.3 – Графік розрахункового вироблення за місяцями електроенергії ФЕМ

Аналіз графіку, представленого на рис. 3.3, дає змогу виявити мінімальне вироблення ФЕС, яке припадає на зимові місяці Листопада, Грудня та Січня. У ці місяці виробництво електроенергії ФЕС не покриває потреби споживачів, згідно завданої потужності. Тому для покриття навантаження додатково необхідно встановити ВЕУ, що працює паралельно із ФЕС. ВЕУ також буде дублювати вироблення електричної енергії для споживачів у разі затяжних похмурих днів, рясного снігопаду, туману та інших природніх незгод.

Надмірну енергію, що виробляється в літньо-весняний період, можна продавати, за умови встановлення додаткового обладнання.

Продуктивність фотоелектричних панелей також залежить від кута між модулем і Сонцем – назовемо його кутом β . У разі коли поглинаюча поверхня і сонячне випромінювання перпендикулярні один одному щільність потоку випромінювання максимальна. При зміні кута β щільність потоку випромінювання зменшується.

Кут нахилу сонячної панелі має значний вплив на величину вироблення енергії. Якщо кут нахилу незмінний, то максимальна продуктивність за весь рік досягається тоді, коли він дорівнює широті φ тобто $\varphi = \beta = 48^\circ$. Більш пологі кути нахилу сприяють збільшення падаючого випромінювання влітку, тоді як крутіші - взимку. Також крутіший кут $\beta = 70^\circ$ і більше в умовах рясного снігопаду не дозволить снігу залишатися на ФЕМ і знижувати ефективність ФЕС [3].

Також на вибір кута положення впливає на вибір міжрядь ФЕМ відстань d на рисунку 3.4. Вибір відстані d проводиться шляхом компромісу між скороченням міжрядного затінення ФЕМ та економії площі займаної ФЕС. Так само ця відстань впливає на скорочення довжини кабельних трас для обліку втрат у провідниках у допустимих межах.

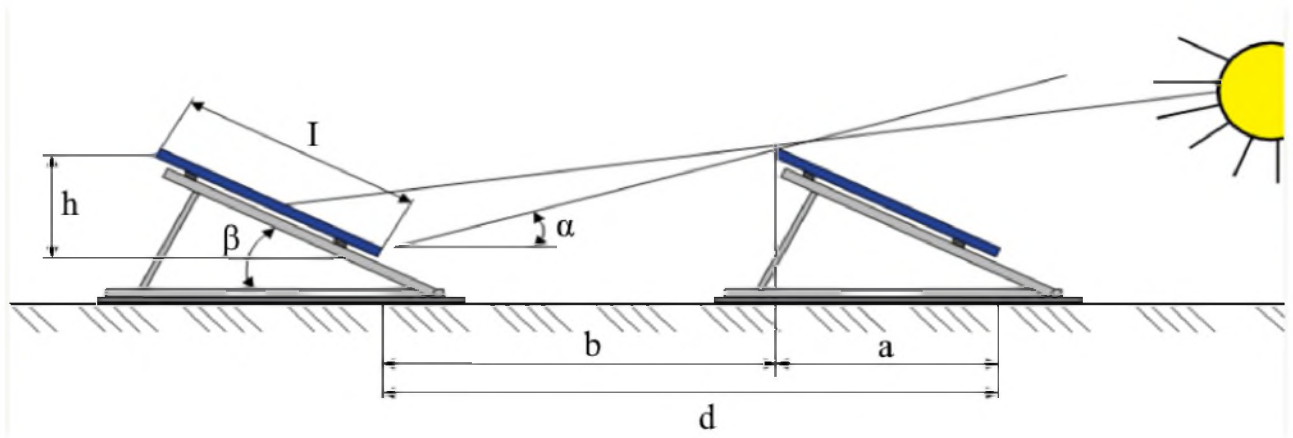


Рисунок 3.4 – Розташування ФЕМ ФЕС

Відповідно кут нахилу ФЕМ визначається у градусах:

$$\beta = 90 - \alpha,$$

де α - кут висоти Сонця на небі, виміряний в градусах від горизонтального положення. На сході кут піднесення дорівнює 0° і 90° - коли Сонце знаходиться вище всього на небі (прямо над головою, що можна спостерігати, наприклад, на екваторі в дні весняного та осіннього рівнодення).

Кут висоти на сонячний полудень для північної півкулі:

$$\alpha = 90 - \varphi + \delta,$$

де φ - це широта розташування. У нашому випадку $\varphi = 48^\circ$ градусів північної широти.

δ - схилення Сонця.

Схилення δ дорівнює нулю у дні рівнодення (22 березня і 22 вересня), позитивно, як у північній півкулі літо і негативно, коли там зима. Максимуму, рівного 23.45° схилення досягає 22 червня (літнє сонцестояння у північній півкулі) та мінімуму, -23.45° , 22 грудня (зимове сонцестояння у північній півкулі) [24].

Схилення розраховується за формулою:

$$\delta = 23,45^\circ \cdot \sin\left(\frac{360}{365}(d - 81)\right),$$

де d – день року.

Напрямок з боків світла визначається zenітним кутом. Zenітний кут аналогічний куту піднесення за тим винятком, що він відраховується не від горизонтальної осі, а від вертикальної. Напрямок сонячних батарей буде спрямований на південь.

Розрахуємо кут нахилу ФЕС та відстань міжряддя.

Розрахунок кута і відстані міжряддя зробимо для чотирьох точок положення сонця - тобто в дні рівнодення (22 березня і 22 вересня), 22 червня і 22 грудня, відповідно для літнього та зимового сонцестояння в північній півкулі [9].

Наведемо розрахунок кутів:

$$\delta_{\text{березень}} = 23,45^\circ \cdot \sin\left(\frac{360}{365}(81-81)\right) = 0^\circ;$$

$$\alpha_{\text{березень}} = 90 - \varphi + \delta = 90^\circ - 48^\circ + 0^\circ = 42^\circ;$$

$$\beta_{\text{березень}} = 90 - \alpha = 90^\circ - 42^\circ = 48^\circ;$$

$$\delta_{\text{червень}} = 23,45^\circ \cdot \sin\left(\frac{360}{365}(173-81)\right) = 23,44^\circ;$$

$$\alpha_{\text{червень}} = 90 - \varphi + \delta = 90^\circ - 48^\circ + 23,44^\circ = 67,44^\circ;$$

$$\beta_{\text{червень}} = 90 - \alpha = 90^\circ - 67,44^\circ = 22,56^\circ;$$

$$\delta_{\text{вересень}} = 23,45^\circ \cdot \sin\left(\frac{360}{365}(265-81)\right) = -0,6^\circ;$$

$$\alpha_{\text{вересень}} = 90 - \varphi + \delta = 90^\circ - 48^\circ - 0,6^\circ = 41,4^\circ;$$

$$\beta_{\text{вересень}} = 90 - \alpha = 90^\circ - 41,4^\circ = 48,6^\circ;$$

$$\delta_{\text{грудень}} = 23,45^\circ \cdot \sin\left(\frac{360}{365}(365-81)\right) = -23,44^\circ;$$

$$\alpha_{\text{грудень}} = 90 - \varphi + \delta = 90^\circ - 48^\circ - 23,44^\circ = 18,56^\circ;$$

$$\beta_{\text{грудень}} = 90 - \alpha = 90^\circ - 18,56^\circ = 71,44^\circ.$$

Виходячи з отриманих даних, приймаємо кут нахилу $\beta = 48^\circ$ для літнього та осінньо-весняного періоду. Для зимового періоду кут нахилу дорівнюватиме $\beta = 72^\circ$, що дозволить уникнути накопичення снігу на панелях, оскільки кут природного укосу снігу дорівнює $30\text{--}40^\circ$ і при куті понад 60 градусів на похилій поверхні не затримується (рис.3.5).

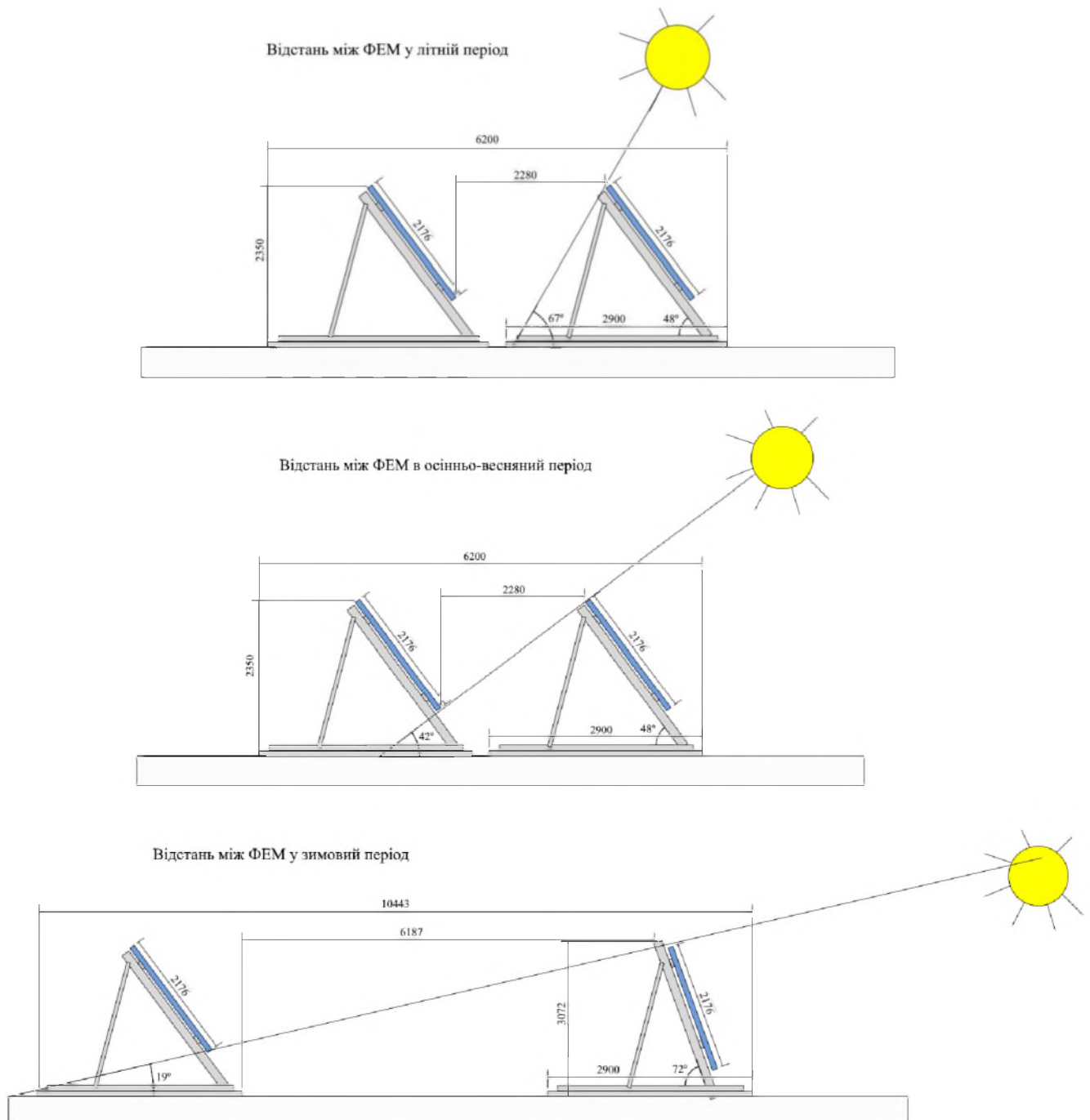


Рисунок 3.5 – Вибір основних розмірів ФЕС

Задля надійної роботи ФЕС необхідно у її складі мати систему накопичення енергії, яка у даному випадку буде складатися з акумуляторів, для покриття навантаження у нічний час доби, а також у разі затяжного снігопаду, туману тощо.

Приймаємо до установки АКБ типу GEL тяговий панцирний NetPRO HTL12-300 12V300AH.

Цей АКБ використовують у резервних і автономних системах електропостачання, характеристики якого наведені у табл.3.3

Таблиця 3.3 - Характеристики АКБ NetPRO HTL12-300 12V300AH

Характеристика АКБ	Величина
Ємність АКБ	300 Аг
Напруга АКБ	12 В
Кількість циклів	800
Термін служби АКБ	15 років
Гарантія	2 роки
Габарити	52x26,8x22см
Вага (у сухозарядженому стані)	77 кг
Тип	Обслуговується

Енергія (енергоємність) акумуляторної батареї визначається як добуток її ємності на номінальну напругу. Місткість показує потенціал акумуляторної батареї, тобто скільки часу вона зможе навантажувати, якщо буде повністю заряджений. У міру розряду напруга та енергоємність акумуляторної батареї падають.

Витрата ємності ΔC акумуляторної батареї СЕС за час живлення навантаження $\Delta t_{нг}$:

$$\Delta C = \frac{P_n}{U_n} \Delta t_{нг} = \frac{P_n}{U_n} (24 - \Delta t_{оч})$$

де P_n -номінальна потужність навантаження;

U_n - номінальна напруга навантаження, приймаємо 48 В;

$\Delta t_{нч}$ - інтервал нічного часу доби в літній час $\Delta t_{нч} = 10$ годин, взимку - $\Delta t_{нч} = 16$ годин;

$\Delta t_{дв}$ - інтервал денного часу доби, приймаємо 16 годин.

Витрати ємності для батареї взимку.

$$\Delta C = \frac{P_{наб1}}{U_n} \Delta t_{нч} = \frac{54000}{48} \cdot 16 = 18000 \text{ Агод.}$$

Глибокий розряд не допустимий для акумулятор бо може вивести його з ладу. Тому виробники акумуляторів встановлюють обмеження напруги розряду, його не можна розряджати більш ніж на 70-80%.

Ступінь розряду АКБ ФЕС:

$$S_p = \frac{C_n - C_{\min}}{C_n} 100\% = \frac{\Delta C}{C_n} 100\%$$

Необхідна ємність акумуляторної батареї ФЕС:

$$C_{абн} = \frac{100}{S_p} \cdot \frac{P_{наб}}{U_n} \cdot \Delta t_{нч}$$

Найбільш важким режимом експлуатації АКБ ФЕС є зимовий час, тому при розрахунках приймають $\Delta t_{нч} = 16$ год, а ступінь розрядженості АКБ - $S_p = 70\%$.

$$C_{аб1} = \frac{100}{S_p} \cdot \frac{P_{наб1}}{U_n} \cdot \Delta t_{нч} = \frac{100}{70} \cdot \frac{54000}{48} \cdot 16 = 25714 \text{ Агод.}$$

Акумуляторна батарея ФЕС з ємністю C_n набирається з окремих акумуляторних батарей шляхом послідовного і паралельного їх з'єднання. Послідовне з'єднання окремих акумуляторних батарей збільшує напругу, а

ємність гілки акумуляторної батареї дорівнює ємності окремої акумуляторної батареї. Акумуляторна батарея при паралельному з'єднанні, має ємність, що дорівнює сумі ємностей одиночних акумуляторних батарей.

Енергоємність акумуляторної батареї автономної сонячної електростанції:

$$W = C_n \cdot U_n$$

Чим більша енергоємність, тим менше окремих акумуляторів потрібно в акумуляторну батарею ФЕС.

Число послідовно включених акумуляторів у гілці:

$$n = U_n / U_{аб},$$

де $U_{аб}$ – напруга окремої акумуляторної батареї. $U_{аб} = 12$ В.

Число паралельних гілок в АКБ ФЕС:

$$m = C_n / C_{аб},$$

де $C_{аб}$ - ємність окремої акумуляторної батареї, $C_{аб} = 300$ Агод.

Загальна кількість окремих акумуляторних батарей в акумуляторній батареї ФЕС:

$$N = n \cdot m, \text{ шт}$$

Маємо наступний розрахунок:

$$n = U_n / U_{аб} = 48 / 12 = 4 \text{ шт};$$

$$m = C_n / C_{аб} = 25714 / 300 = 85,7 \text{ округляємо до } 86 \text{ шт};$$

$$N = n \cdot m = 4 \cdot 86 = 344 \text{ шт.}$$

В результаті розрахунків отримали кількість АКБ, що дорівнює 344 шт., але розрахунок дає завищену необхідну ємність акумуляторної батареї, яка повинна уточнюватись врахуванням графіку навантаження на інтервалі нічного часу доби.

Наступним елементом, що входить до складу ФЕС и потребує вибору це сонячний контролер, який відповідає за контроль та регулювання заряду акумуляторної батареї, ввімкнення навантаження після того, як відновився заряд, відключення пристрою, коли батарея зарядилася повністю, а також припинення навантаження під час повної розрядки; автоматичне увімкнення струму, коли потрібна зарядка [10].

У ФЕС можуть використовуватися три типи контролерів, які відрізняються своєю функціональністю та деякими особливостями:

Перед тим, як вибрати, слід проаналізувати варіанти обладнання та можливості кожного. Існують наступні види контролерів [10]:

- з найпростішим алгоритмом ON/OFF;
- ШІМ – з широтно-імпульсною модуляцією;
- MPPT – пристрій, які стежить за точками максимальної потужності;
- гібридний.

Найпростіший пристрій – ON/OFF. Він вимикає заряд, коли струм максимальний, щоб не було перегріву. Мінус – акумулятор ніколи не заряджатиметься на 100%, через що термін експлуатації може суттєво зменшитися.

Контролер заряду сонячної батареї ШІМ знижує струм, коли показник досягає максимуму.

MPPT контролер заряду для сонячних батарей – найпопулярніший. Його принцип дії такий: перетворення максимальної напруги в ту, яка оптимальна. Завдяки цьому заряд можливий до ста відсотків. MPPT проводить аналіз

показників системи та визначає завдяки яким параметрам обладнання досягне найбільшої потужності. Ефективність роботи, порівняно з ШМ, зростає до 30%.

Гібридні – використовують для сонячних систем, до складу яких входять вітрогенератори та фотоелементи. Основна функція такого – уникнення енергії в надлишку.

Таким чином, за розробленою схемою у п.3.1 оберемо гібридний контролер.

Умови вибору сонячного контролера [10]:

1) $U_{\text{контр}} \geq U_{\text{ФЕМ}}$ – вхідна напруга сонячного контролера має бути на 20% більша від усіх підключених пристроїв у режимі роботи;

2) $U_{\text{контр}} \geq U_{\text{аб}}$ – вихідна напруга сонячного контролера повинна дорівнювати або бути більше ніж максимальна напруга АКБ;

3) $I_{\text{контр}} \geq I_{\text{зар.аб}}$ – струм заряду з сонячного контролера, повинен бути більшим або дорівнювати максимальному струму заряду АКБ;

4) Сумарна потужність – повинна бути не вища від показника вихідних напруги та струму, коли відбувається повна розрядка акумулятора

5) Мати можливості захисту – від перегрівання, короткого замикання, перезарядження тощо.

Визначаємо максимальний струм заряду АКБ:

$$I_{\text{заряд.аб}} = 0,1 \cdot C_{\text{аб}}$$

Відповідно зарядний струм батарей двох об'єктів дорівнюватиме виходячи з ємності ланцюжка n послідовно з'єднаних батарей всієї АБ:

$$I_{\text{заряд.аб}} = 0,1 \cdot C_{\text{аб1}} = 0,1 \cdot 300 = 30 \text{ А};$$

Обираємо до установки гібридний контролер від сонячних панелей 500Вт/1000Вт і вітрогенераторів 400Вт/800Вт 12/24В IP67 типу ECO Energy зі

струмом зарядки 30А. Технічні характеристики контролера представлені у таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Характеристики гібридного контролера ECO Energy

Характеристика контролера	Величина
Потужність сонячної батареї	500 Ватт
Струм заряду	30 ампер
Тип АКБ	Усі типи
Напруга АКБ	12В, 24В

Наступним основним складовим елементом ФЕС є інвертор.

Інвертор – пристрій для перетворення постійного струму у змінний зі змінною величини напруги та частоти.

Основні види інверторів:

- Автономні - однофазні інвертори які працюють від акумуляторної батареї, при цьому виконують тільки функцію перетворення напруги 12 В, 24 В, 48 В постійного струму в напругу 220 В змінного струму з частотою 50 Гц. Як правило це малопотужні інвертори до 3 кВт. Представляємо Вашій увазі автономні інвертори китайського виробника «LUXEON».

- Гібридні - однофазні або трифазні інвертори, які працюють при підключенні до центральної електромережі, також можуть працювати і без неї від акумуляторів або від сонячних батарей безпосередньо, так як мають вже вбудований зарядний пристрій.

- Мережеві інвертори з резервної функцією - інвертори, які призначені для продажу надлишку електроенергії в мережу за «зеленим тарифом». Працюють за принципом гібридних інверторів. Такі види інверторів можна підключити паралельно між собою, тим самим збільшити потужність електростанції в кілька разів.

- Мережеві - інвертори, які працюють тільки при підключенні до центральної електромережі. Можуть бути як однофазні потужністю до 8 кВт, так і трифазні потужністю до 60 кВт. Використовуються в мережевих сонячних

електростанціях для споживання генерується електричної енергії у власних потребах і продажу надлишку енергії в мережу [11].

У нашому випадку доцільно буде обрати гібридний інвертор.

При виборі інвертора враховується все сумарне навантаження приладів, що підключаються до інвертора, збільшена щонайменше на 30% .

Так само інвертори діляться на однофазні та трифазні.

Схеми підключення інвертора наведені на рис.3.5

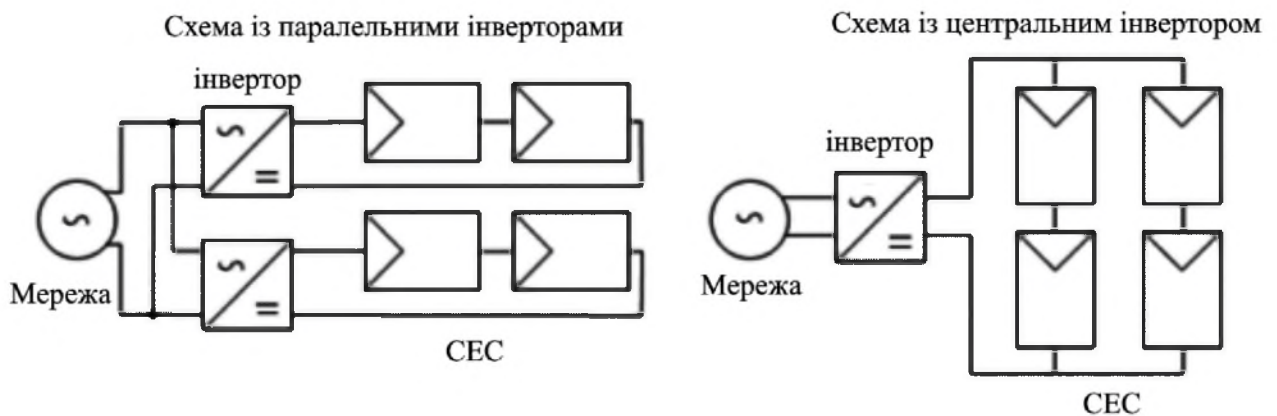


Рисунок 3.5 – Схеми підключення інверторів

Для середніх ФЕС найбільш доцільна схема з центральним інвертором. Центральний інвертор має високу надійність і простоту установки у порівнянні зі схемою з паралельними інверторами. Основний їх недолік, те що відсутнє резервування і у разі поломки вся система виходить з ладу.

Обираємо схему із центральним інвертором.

Розрахуємо потужність інвертора, збільшену на 30% :

$$P_{inv} = P_{розр.нав} \cdot 1,3 = 45000 \cdot 1,3 = 58500 \text{ Вт.}$$

Обираємо інвертор типу Altek AKSG-60K-TM. Технічні характеристики наведені у таблиці 3.5

Таблиця 3.5 - Характеристики Altek AKSG-60K-TM

Найменування інвертора	Altek AKSG-60K-TM x 3 фази (60 кВт)
Потужність, кВт	60,00
U, В	48,0
U _{вих} , В	220,00 - 380,00
~Частота, Гц	50
Пікова потужність, кВт	67,00

3.3 Розрахунок вітроелектростанції та вибір обладнання

Недостатній ресурс вироблення електричної енергії у зимовий час ФЕС потребує встановлення додаткового дублюючого джерела, а саме ВЕУ.

Сформуємо технічні вимоги до ВЕУ:

- 1) Встановлення ВЕУ доцільне, якщо швидкість вітру складає 5-6 м/с, але при швидкості більше ніж 15 м/с агрегат повинен відключатися;
- 2) Робота ВЕУ повинна бути у допустимому допустимі шумовому діапазоні: вдень – 52 дБ, уночі – 44 дБ;
- 3) Потужність ВЕУ повинна бути достатньою задля покриття навантаження за результатами розрахунків.

Для оцінки ресурсів використання енергії вітру визначимо потенціал вітру цього району. Методика визначення описано у джерелі [34].

Визначаємо вітроенергетичний потенціал:

$$P_{\text{min}} = 0,95 \cdot \rho \cdot (V^3)_{\text{сер}},$$

де ρ - щільність повітря рівна 1,225 кг/м³ на рівні моря при атмосферному тиску 760 мм.рт.ст. та температурі 15°C;

$(V^3)_{\text{сер}}$ - середній куб швидкості.

$$(V^3)_{cep} = 1,9(V_{cep})^3$$

Тоді маємо:

$$P_{nut} = 0,95 \cdot \rho \cdot (V_{cep})^3$$

Спрощена формула:

$$P_{nut} = 1,17 \cdot V_{cep}^3$$

Розрахунок вітрового потенціалу наведений у таблиці 3.6.

Таблиця 3.6 - Потенціал вітрового потоку помісячний для Донецького регіону

Проміжок часу	V_{cp} , м/с	P_o , Вт/м ²
Січень	6,1	265,6
Лютий	6,2	278,8
Березень	5,9	240,3
Квітень	5,7	216,7
Травень	5,5	194,6
Червень	5,2	164,5
Липень	5,2	164,5
Серпень	5,4	184,2
Вересень	5,5	194,6
Жовтень	5,8	228,3
Листопад	5,8	228,3
Грудень	5,9	240,3
За рік	5,68	214,4

Побудуємо залежність вітрового потенціалу від часу, вказану на рисунку 3.6.

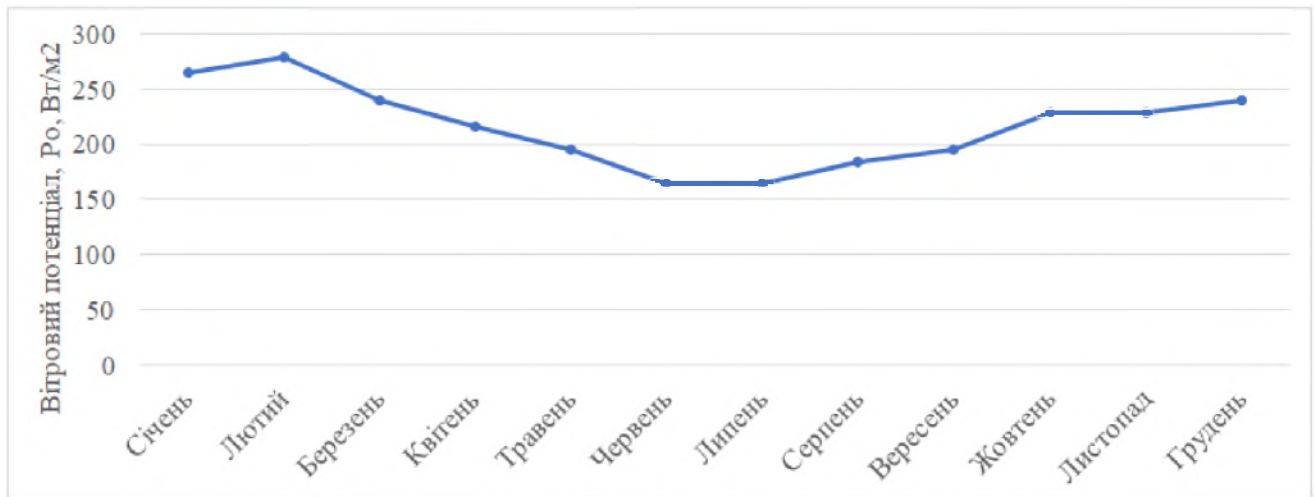


Рисунок 3.6 – Графік залежності вітрового потенціалу від пори року

Аналіз представленого на рис. 3.6 показує, що використання вітроенергетичних ресурсів буде найбільш вигідним у зимово-весняний період, що саме покращить роботу СЕС.

Для вибору ВЕУ визначимо потужність при мінімальному виробленні електричної енергії від ФЕС.

Відповідно розрахунків вироблення ФЕС у грудні місяці складе приблизно 38,3 кВт год за необхідного нам 45 кВт год згідно завданню. Маємо дефіцит потужності $45 - 38,3 = 6,7$ кВт год.

Розрахуємо номінальну потужність вітрогенератора необхідну для зарядки АКБ:

$$P_{BEV} = V_{ш} / \xi \cdot \eta_{ген},$$

де ξ - коефіцієнт використання енергії вітру Коефіцієнт використання енергії вітру залежить від виду вітроколеса і становить 35-40% для профільованого крильчастого репелера.

$\eta_{ген}$ - ККД генератора, приблизно становить 80%;

$V_{ш}$ - швидкість заряду акумуляторів

$$V_{\text{ш}} = C_{\text{аб}} / T_z,$$

де T_z - кількість годин на добу.

$$V_{\text{ш}} = C_{\text{аб}} / T_z = 25714 / 24 = 1071,4 \text{ Вт} \cdot \text{год};$$

$$P_{\text{BEY}} = V_{\text{ш}} / \xi \cdot \eta_{\text{ген}} = 1071,4 / 0,4 \cdot 0,8 = 3348 \text{ Вт} \cdot \text{год}.$$

Таким чином, необхідна потужність вітрогенератора повинна бути 3,5-4 кВт .

Обираємо ВЕУ з горизонтальною віссю обертання з трьома лопатями моделі SK - 4000. Технічні характеристики наведені у табл. 3.7

Таблиця 3.7 – Технічні характеристики ВЕУ моделі SK - 4000

Найменування	Значення
Діаметр вітроколеса:	3,2 м
Регулювання кута лопатей:	Автоматична
Номінальна швидкість вітру:	10 м/сек
Номінальна напруга:	48/96 В
Номінальна потужність:	4000 Вт
Генератор:	трифазний, постійні магніти
Номінальна швидкість обертання:	300 об/хв
Стартова швидкість вітру:	3 м/сек
Рекомендована висота щогли	від 9,0 м
Передача:	пряма
Термін експлуатації	50 років

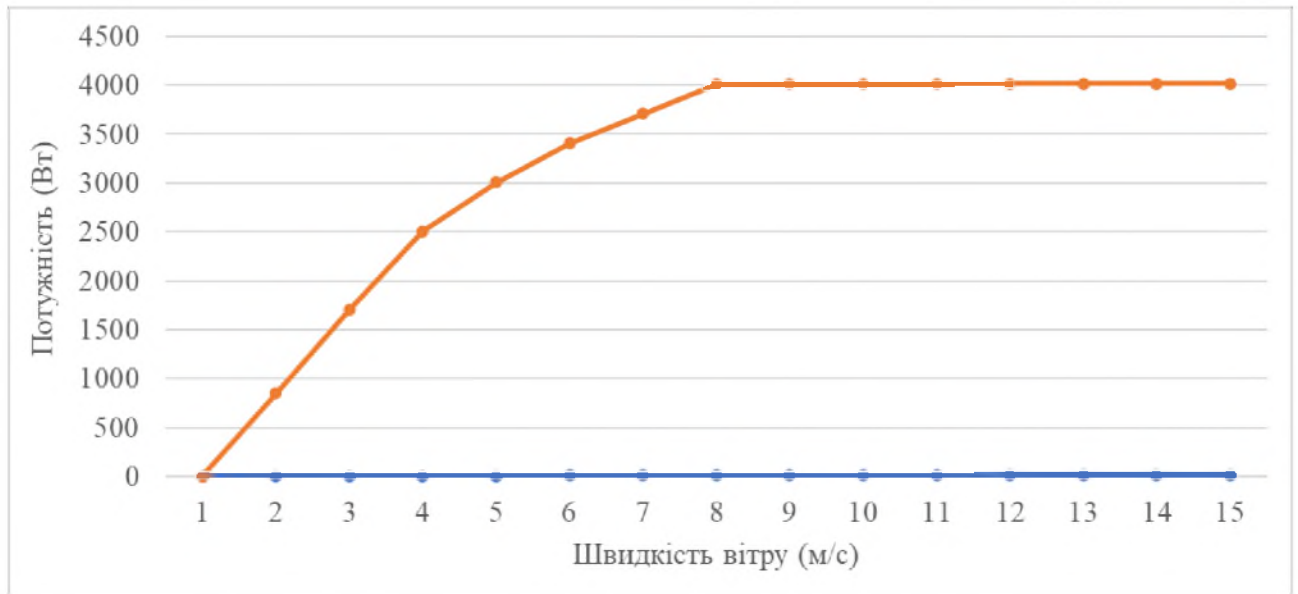


Рисунок 3.7 – Характеристики потужності залежно від сили вітру

Вітрогенератор поставляється без щогли. Вибір висоти щогли впливає на швидкість вітру, чим вона вище від рівня землі, тим вище зазвичай швидкість вітру. Також необхідно враховувати, що щогла повинна витримувати максимальну швидкість вітру та бути легкою в установці.

Місце установки обирається згідно дотримання умов з забезпечення стабільної, тривалої та ефективної швидкості вітру. Рельєф місцевості встановлення повинен бути плоским та не вище за будівлю або пагорб. Місце встановлення не повинно мати нерівності у вигляді пагорбів, щоб уникнути створення вихору. Такі зони називають зонами турбулентності і її необхідно уникати.

За конструкцією щогли бувають (рис.3.8):

- щогли з розтяжками;
- щогли-ферми;
- зварні трубні.

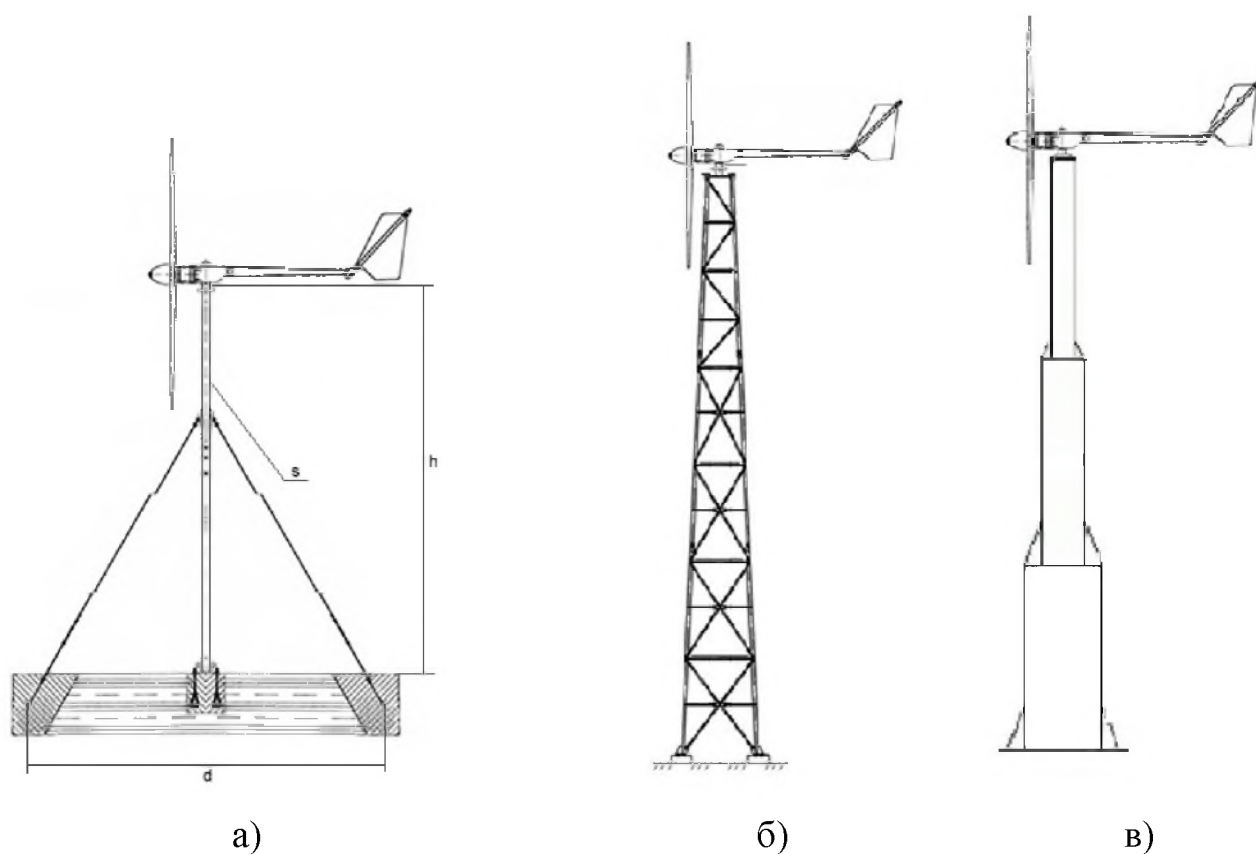


Рисунок 3.8 – Конструкція щогли

Виходячи з умов встановлення вітрогенератора обираємо щоглу з розтяжками для вітрогенератора заввишки 12 м (рис.3.8). Основні характеристики її наведені у таблиці 3.8.

Таблиця 3.8 – Технічні характеристики щогли з розтяжками

Висота	Радіус площадки (м)	Розмір фундаменту мачти (м)			Розмір фундаменту опор розтяжок (м)		
		довжина	ширина	глибина	довжина	ширина	глибина
12	6,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

Конструктивний вигляд ВЕУ представлений на рисунку 3.9.



Рисунок 3.9 – Конструктивний вигляд вітрогенератора

ВЕУ необхідно встановити безпосередньо або біля споживача, або поряд з ФЕС з метою зменшення втрат енергії при її передачі. У нашому випадку доцільно встановити саме поряд з ФЕС.

Щоглу вітрогенератора необхідно заземлити або з'єднати із заземлюючим пристроєм ФЕС.

3.4 Забезпечення надійності роботи гібридної електростанції

Завданню забезпечення надійної роботи електроенергетичних систем (ЕЕС) завжди приділяли особливу увагу.

У нормальних режимах роботи зміна таких параметрів, як потік активної та реактивної потужностей, частота та напруга є повільним процесом і відбувається безперервне регулювання його підсистемами керування. Але при аварійних випадках електричні процеси, що протікають у мережі, настільки швидкі, що для оперативного виявлення порушень та запобігання їх розвитку необхідні спеціальні швидкодіючі засоби, що працюють в автоматичному режимі, які забезпечують не лише виключення аварій та високу надійність електропостачання, а й виконують регулювання роботи системи при швидкому зміні навантаження. Для регулювання роботи системи та захисту від пошкоджень є протиаварійна система автоматики, що складається з пристроїв релейного захисту (РЗ), автоматичного регулювання збудження синхронних машин (АРВ), автоматичного включення резервного живлення (АВР), автоматичного розвантаження при зниженні частоти (АЛР), автоматичного синхронізації генераторів (АС), автоматичного повторного включення (АПВ) та деяких інших. Для підтримки високої надійності електропостачання найважливішими засобами протиаварійної системи є автоматичне повторне включення та автоматичне введення резерву. АПВ працює таким чином: при виникненні короткого замикання спрацьовує РЗ, що відключає лінію, а після закінчення певного часу за командою АПВ лінія знову починає працювати. У разі нестійкого або короткочасного порушення режиму електропостачання за цією ЛЕП відновлюється. Лінії, на яких передбачено двостороннє живлення, включаються лише за відсутності напруги. Коли напруги з обох боків лінії несинхронні, проводиться синхронізація, і тільки після цього - включення. 44 Якщо паралельно включені елементи системи (трансформатори, лінії електропередач) працюють окремо для зменшення струмів к.з., тоді застосовується АВР. В основному АВР використовується при електропостачанні промислових підприємств та міських електромереж. Коли зникає напруга, після деякої витримки часу, АВР підключає знеструмлених споживачів до резервного джерела живлення. За допомогою АВР можуть включатись секційні вимикачі, резервні трансформатори, лінії тощо [13].

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі розглянуті принципи проектування, розрахунку, вибору та роботи автономних гібридних систем електропостачання з використанням відновлюваних джерел енергії. Проведено дослідження та оцінка потенціалу використання ВДЕ у Україні та безпосередньо у місцевості побудови автономної електростанції з ВДЕ та дійшли висновку, що доцільно у Донецькому регіоні побудова гібридної систем електропостачання, заснованої на використанні ФЕС та ВЕУ є доцільним. Також проведена оцінка метеорологічних та кліматичних умов у Донецькому регіоні. Розроблена схема автономної гібридної системи електропостачання. Виконано розрахунок ФЕС та ВЕУ та проведено обґрунтований вибір складових. Розглянуті питання охорони праці при експлуатації електроустановок.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Сонячна енергетика [Електроний ресурс] : / Вікіпедія – Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/Сонячна_енергетика
2. <https://generacia.energy/zelenyj-tarif/budova-ses/>
3. Лукутин, Б. В. Системы электроснабжения с ветровыми и солнечными электростанциями : учебное пособие / Б. В. Лукутин, И. О. Муравлев, И. А. Плотников. – Томск : Издательство ТПУ, 2015
4. Державне агентство з енергоефективності та енергозбереження України [Електроний ресурс] : / Альтернативна енергетика – Режим доступу: <https://saee.gov.ua/uk/ae/windenergy>
5. <http://wind.ae.net.ua/index.php/main/index/0/510>
6. <https://agroexpert.ua/potencial-vidnovlivanih-dzerel-energii-v-ukraini/>
7. Дмитренко Л.В. Вітроенергетичні ресурси в Україні / Л.В. Дмитренко, С.Л. Барандіч. Наукові праці УкрНДГМІ - 2007. – № 256. – с.166-173.
8. <https://ekotechnik.in.ua/ru/shop/produksiya/solnechnye-moduli/sonyachni-moduli-trina-solar-tsm-de18m-ii-500vt/>
9. Наземное солнечное излучение [Электронный ресурс] : / ООО «Энергосистемы». – Режим доступа: http://ust.su/solar/media/section-inner_12/637/
10. <https://soncedim.com.ua/blog/dlia-chogo-potriben-kontroler-zariadu>
11. <https://rbp-group.com.ua/g61045101-merezhevi-gibridni-invertori>
12. <http://www.ecosvit.net/ua/shogli-dlya-vitrogeneratoriv>
13. Казанський С.В. Надійність електроенергетичних систем: навч. посібник / С.В. Казанський, Ю.П. Матесенко, Б.М. Сердюк. – К.: НТУУ «КПІ», 2011 – 216 с.
14. Курс лекцій дисципліни «Охорона праці в галузі» для студентів енергетичних спеціальностей за освітньо-кваліфікаційними рівнями «спеціаліст» і «магістр» / Укл.: Л. Д. Третьякова. – К.: НТУУ «КПІ», ІЕЕ, 2016. – 110 с.

ДОДАТОК А

ОХОРОНА ПРАЦІ

"Охорона праці" - це наукова дисципліна, що вивчає питання безпеки праці на виробництві, розробляє заходи й засоби попередження виробничого травматизму, нещасних випадків (вибухів, пожеж) і професійних захворювань.

Законодавчими актами по охороні праці є: Конституція України; кодекси законів про працю (КЗОТ), закон України "Про охорону праці", закон України "Про пожежну безпеку", закон України "Про працю".

Законодавчі положення з охорони праці відображені в таких основних документах:

- Наказ Державного комітету України по нагляду за охороною праці від 3 серпня 1993р. №72 про „Типові положення про комісії з питань охорони праці підприємств”.
- „Типові положення про навчання, інструктаж і перевірку знань працівників з питань охорони праці”, затверджених наказом Державного комітету України по нагляду за охороною праці від 4 березня 1994р. №30;
- Постанову Кабінету Міністрів України від 27.01.1993р. №64 “Про заходи для виконання Закону України про охорону праці”.

Технічні заходи з охорони праці спрямовані на запобігання від різного роду виробничих травм і нещасних випадків робітників, на забезпечення комфортних умов праці й усунення причин, що викликають травматизм і шкідливі впливи на організм людини. Лікувально-профілактичні заходи спрямовані на забезпечення здорових умов праці на виробництві.

У зв'язку з необхідністю забезпечення нормативних умов праці виникає необхідність розробки комплексу заходів з охорони праці щодо виключення травматизму і професійних захворювань, запобігання ураження людей електричним струмом.

Актуальність проблем електробезпеки у наш час характеризується такими чинниками:

- широким розповсюдженням електричної енергії в усіх без винятку проявах життя і діяльності людини: на виробництві, транспорті, побуті та ін.;
- умовами виникнення електротравм;
- особливостями електротравматизму;
- великою кількістю електротравм в Україні.

Електрична енергія є найбільш розповсюдженим видом енергії. Це пов'язано з перевагами, притаманними цій енергії: відносна легкість отримання у достатньо великих кількостях, простота передачі на далекі відстані і дроблення на будь які частини, легкість безпосереднього перетворення в інші потрібні види енергії.

В енергетиці електротравматизм першочергово зумовлено експлуатацією зовнішніх електроустановок. До яких належать трансформаторні підстанції високої напруги, повітряні лінії електропередач, конденсаторні та перетворювальні установки. Домінуюче значення такого чинника впливає з аналізу причин травматизму за місцем їх виникнення: 47 % електротравм отримано в приміщеннях; 53 % - під час експлуатації зовнішніх електроустановок.

Відомо, що експлуатація устаткування з межах гарантованого виробником терміном, дає можливість суттєво знизити показники електротравматизму. Нині на електричних станціях усіх видів, підстанціях та електричних мережах продовжують експлуатацію зношене (до 30 %) устаткування та існують низькі темпи оновлення основних виробничих фондів.

Відповідно до [14], для захисту людей від поразки струмом повинна застосовуватися принаймні одна з наступних захисних мір: заземлення, замулення, захисне відключення, малі напруги, розділяючі трансформатори, вирівнювання потенціалів, подвійна ізоляція. Однак перераховані міри захисту не є універсальними, їхня ефективність залежить від умов ураження, типу електроустановки і режимів її роботи, а також від умов експлуатації.

Для захисту обслуговуючого персоналу від ураження електричним струмом, від дії електричної дуги і т.д., всі електроустановки повинні бути постачені засобами захисту і засобами надання першої допомоги відповідно до "Правил застосування й випробування засобів захисту, що використовуються в електроустановках".



Рисунок 4.1 - Структурна схема засобів захисту, які використовують під час виконання робіт у електроустановках

Для усунення виробничого травматизму і професійних захворювань потрібно поряд з здійсненням заходів технічного і санітарно-гігієнічного характеру всім керівникам, інженерно-технічному персоналу енергетичної служби підприємства, а також електротехнічному персоналу знати діючі правила і норми по охороні праці і дотримувати їх при виконанні монтажних,

налагоджувальних, ремонтних робіт, а також при експлуатації електроустаткування.

Весь електротехнічний персонал повинний бути практично навчений прийомам звільнення людини, що попала під дію електричного струму, і надання йому першої допомоги, а також прийомам надання першої допомоги потерпілим при інших нещасних випадках, а також мати засоби індивідуального захисту.

Небезпека експлуатації електричних установок полягає у можливості включення людини під напругу дотику і напругу кроку:

– *напруга дотику* – це напруга, яка виникає на тілі людини або тварини у разі одночасного дотику до двох провідних частин;

– *напруга кроку* – це напруга між двома точками на поверхні локальної землі, розташованими на відстані 1 м одна від одної, що відповідає довжині великого кроку людини.

Згідно ПУЕ розрізняють дві схеми дотику людини:

– *прямий дотик* – це електричний контакт людей або тварин зі струмовідними частинами, що перебувають під напругою, або наближення до них на небезпечну відстань;

– *непрямий дотик* – це електричний контакт людей або тварин з відкритою провідною частиною (найчастіше - корпусом ЕУ), яка опинилася під напругою внаслідок пошкодження ізоляції.

Для запобігання ураженню електричним струмом у нормальному режимі роботи слід застосувати окремо або у поєднанні такі заходи захисту від прямого дотику:

- основна ізоляція струмовідних частин;
- огорожі та оболонки у електроустановках;
- бар'єри у електроустановках;
- розміщення струмовідних частин поза зоною досяжності;
- розміщення струмовідних частин на недосяжній висоті чи у недоступному місці;
- блокування безпеки у електроустановках.

Безпечна експлуатація електроустановок забезпечується трьома методами:

- застосуванням стаціонарних конструктивних та схемних заходів захисту;
- використання засобів індивідуального захисту (ЗІЗ), у тому числі електрозахисних;
- дотримання захисних організаційних заходів під час виконання робіт в ЕУ.



Рисунок 4.2 - Структурна схема наявних ЗІЗ

Захист у разі непрямого дотику слід виконувати в усіх випадках, якщо номінальна напруга ЕУ перевищує 50 В змінного і 120 В постійного струму.

У приміщеннях з підвищеною небезпекою, особливо небезпечних та зовнішніх установках виконання такого захисту здійснюють за нижчих напруг, наприклад: 25 В змінного та 60 В постійного струмів або 12 В змінного і 30 В постійного струму.

Для запобігання ураженню електричним струмом у нормальному режимі роботи слід застосувати окремо або у поєднанні такі заходи захисту від непрямого дотику: – Захисне заземлення ЕУ; – Захисне автоматичне вимикання; – Захисне вирівнювання потенціалів; – Ізолювальні зони; – Електричний поділ кіл; – Системи наднизької (малої) напруги.

Основні вимоги: усі металеві конструкції (трубопроводи (газові, водопровідні), металеві корпуси ЕУ) потрібно надійно фарбувати, тому що ізолювати їх від контакту із землею практично неможливо; корпуси ЕУ потрібно виконувати з ізолювального матеріалу; підлоги потрібно виконувати з ізолювальних матеріалів.