

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

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

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

**Кваліфікаційна робота
бакалавра**

на тему Розробка автономної фотоелектростанції із гібридним
накопичувачем енергії

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

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

та електромеханіка»

Іван САМОЙЛЕНКО

(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:

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

О. ЛЮБИМЕНКО

Студент _____

(підпис)

(підпис)

(дата)

(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**

Івану САМОЙЛЕНКУ

(ім'я та прізвище)

1. Тема роботи: Розробка автономної фотоелектростанції із гібридним накопичувачем енергії

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 04 червня 2022 року

3. Вихідні дані до роботи: Регіон побудови – Донецька область,

Карта середньорічного сонячного опромінювання,

Графік навантаження споживачів, склад системи зберігання енергії – АКБ та суперконденсатори

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

1. Аналітика розвитку та впровадження СЕС.

2. Розрахунок ФЕС та вибір обладнання.

3. Розробка гібридного накопичувача енергії.

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 2022 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 – 30.05.22	
4.	Розділ 4	31.05.22 – 04.06.22	
5.			
6.			
7.			
8.			
9.			

Студент _____
(підпис)

Іван САМОЙЛЕНКО
(ім'я та прізвище)

Керівник роботи _____
(підпис)

Наталя САВЧЕНКО
(ім'я та прізвище)

АНОТАЦІЯ

Самойленко Іван Володимирович. Розробка автономної фотоелектростанції із гібридним накопичувачем енергії / 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, списку використаних джерел та додатку.

У першому розділі проведений аналітичний аналіз перспектив розвитку сонячної енергетики в Україні, розглянути типи, структури та схеми підключення сонячних електростанцій, наведена порівняльна характеристика накопичувачів енергії.

У другому розділі виконаний розроблена структура фотоелектричної станції та виконаний вибір обладнання, проведено математичне моделювання.

У третьому розділі розроблена система накопичення енергії, яка складається з гібридних накопичувачів.

У четвертому розділі розглянуті питання охорони праці.

Ключові слова: фотоелектрична станція (ФЕС), накопичувач енергії, інвертор, акумуляторна батарея (АКБ), суперконденсатор.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИКА РОЗВИТКУ ТА ВПРОВАДЖЕННЯ СОНЯЧНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ	7
1.1 Розвиток сонячної енергетики в Україні	7
1.2 Типи та структури фотоелектричних станцій	12
1.3 Порівняльна характеристика накопичувачів енергії	17
РОЗДІЛ 2. РОЗРАХУНОК ФОТОЕЛЕКТРИЧНОЇ СТАНЦІЇ ТА ВИБІР ОБЛАДНАННЯ	17
2.1 Розробка структурної схеми ФЕС	17
2.2 Аналіз типів сонячних панелей та їх вибір	18
2.3 Розрахунок і вибір контролера	28
2.4 Вибір інвертора	32
2.5 Математична модель ФЕС	34
РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА ГІБРИДНОГО НАКОПИЧУВАЧА ЕНЕРГІЇ	37
3.1 Розробка структури гібридного накопичувача енергії	37
3.2 Вибір та розрахунок акумуляторних батарей	41
3.3 Вибір та розрахунок суперконденсаторів	49
ВИСНОВКИ	52
СПИСОК ВИКОРИСТАННОЇ ЛІТЕРАТУРИ	53
ДОДАТОК А. ОХОРОНА ПРАЦІ	54

ВСТУП

Значного зниження вартості електроенергії можливо досягти за рахунок оптимізації складу і параметрів автономних систем електропостачання. Реально і суттєво підвищити енергоефективність та продуктивності автономних електростанцій альтернативної енергетики, можна лише представляючи їх як ізольовані системи, які нерегулярно одержують енергію сонячного випромінювання та ефективно перетворюють її на електроенергію для потреб споживачів.

Розробка методів формування автономних систем електропостачання на основі ВДЕ є важливою проблемою, яка потребує проведення глибоких досліджень та отримання нових технологічних положень.

У задоволенні потреб суспільства за рахунок ВДЕ існує проблема перерозподілу виробленої енергії в часі, яка викликає нерівномірність режиму надходження енергії, а також нерівномірність графіка навантажень та неузгодженість цих процесів. Вирішенням цієї проблеми стали системи акумулювання або накопичення електроенергії, які можуть приймати на себе всі коливання та забезпечити споживачам постійне безперебійне постачання електроенергії.

Акумулююча система є частиною системи енергопостачання, вона має працювати як і нормальних режимах - заряду, зберігання, розряду, і аварійних, тобто. при різких скиданнях, накидах навантаження, хитання і відключення генеруючих потужностей і т.д. В аварійних режимах АС повинна досить швидко видавати або споживати необхідну кількість енергії і мати достатню маневреність і аварійну ємність для демпфування коливань навантаження.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИКА РОЗВИТКУ ТА ВПРОВАДЖЕННЯ СОНЯЧНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ

1.1 Розвиток сонячної енергетики в Україні

За приблизними оцінками вітчизняних та зарубіжних дослідників, сумарний потенціал альтернативної енергетики з усіма наявними характеристиками на сьогоднішній день здатен забезпечити близько половини енергоспоживання України. Україна має найбільший потенціал саме у сонячній енергетиці, про що свідчить Карта середньорічного сонячного опромінювання наведена на рис.1.1. Її аналіз дозволяє зробити висновок, що більша частина України має дуже великий рівень сонячної інсоляції, особливо на півдні та сході країни, але навіть на заході та півночі достатньо сонячного випромінювання для впровадження саме сонячної енергетики.

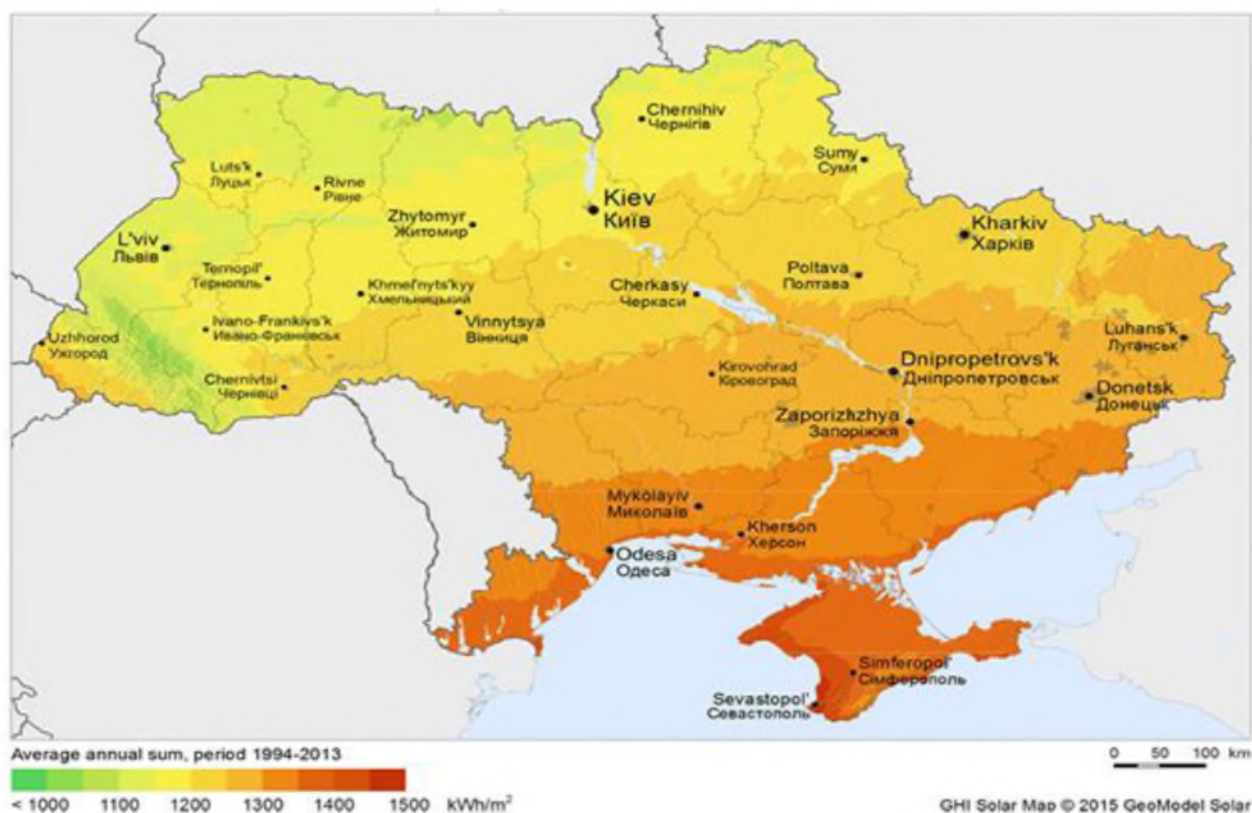


Рисунок 1.1 – Карта середньорічного сонячного опромінювання

Суттєвим кроком для розвитку альтернативної енергетики в Україні стало скасування в 2014 в Україні обов'язкової наявності ліцензії для продажу сонячної енергії, якщо сумарна потужність встановлених домогосподарством сонячних панелей не перевищує 30 кВт. Це призвело до можливості впровадження сонячної енергетики безпосередньо як на рівні кінцевого споживача так і зростанню сонячних потужностей у складі енергосистеми країни.

Але сонячна енергетика ще має досить малу частку та потребує подальшого розвитку, про це свідчить карта технічно-досяжний потенціал ВДЕ в Україні, яка наведена на рис.1.2.

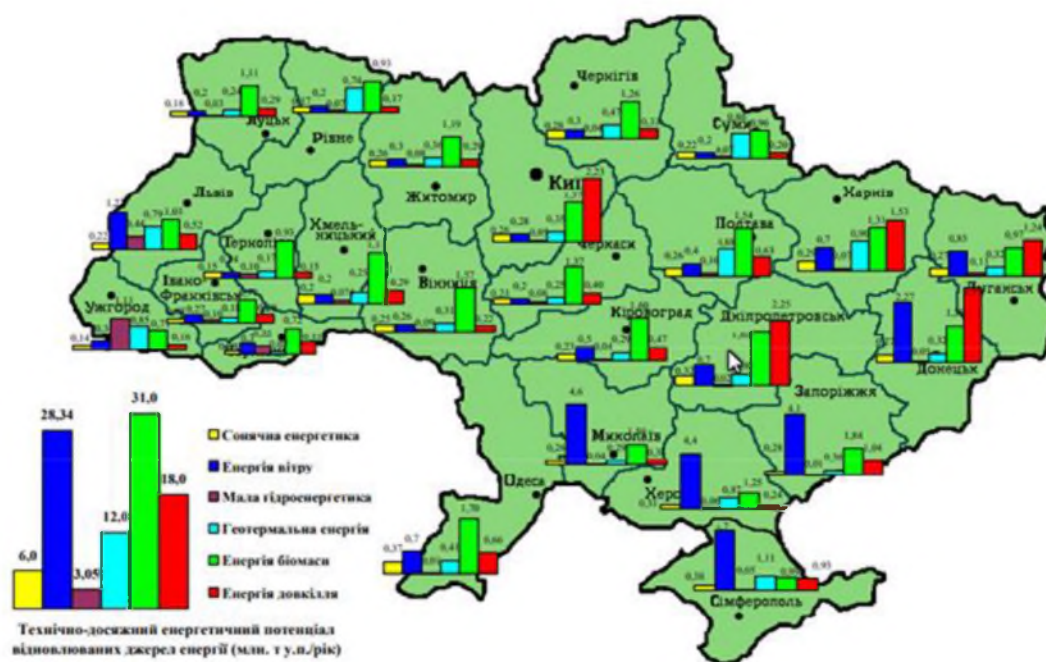


Рисунок 1.2 – Загальний технічно-досяжний потенціал ВДЕ в Україні

Урядом України розроблена Енергетична стратегія до 2035 року, у якій прийнято рішення про саме всебічну підтримку та допомогу розвитку альтернативної енергетики, бо це дозволить не тільки поступово зменшити частку викопного палива, а й дозволить країні стати енергетично незалежною.

У Енергетичній стратегії України до 2035 поставлене завдання, яке полягає у досягненні у найближчі 17 років частки альтернативних джерел у загальному енергобалансі приблизно на рівні 25% [1]. При цьому стратегія передбачає, що лише 10,4% електроенергії буде генеруватись на сонячних та вітрових електростанціях, а рівень генерації ГЕС залишатиметься приблизно на рівні 1% [1]. Приблизно 2% генеруватиметься за рахунок термальної енергії, тобто використання природніх джерел тепла, а також теплової енергії, що може бути взята із промислових та побутових викидів (каналізація, стоки, газові викиди виробництва тощо) [1]. Найбільша ж частка альтернативної енергії – 11,5% від загальної має припадати на отримання енергії з біомаси, що включає в себе як спалення спеціально вирощуваних «енергетичних» сортів рослин, таких як верба, конопля, ріпак (рапс) та інших, так і використання сільськогосподарських та інших органічних відходів [1].

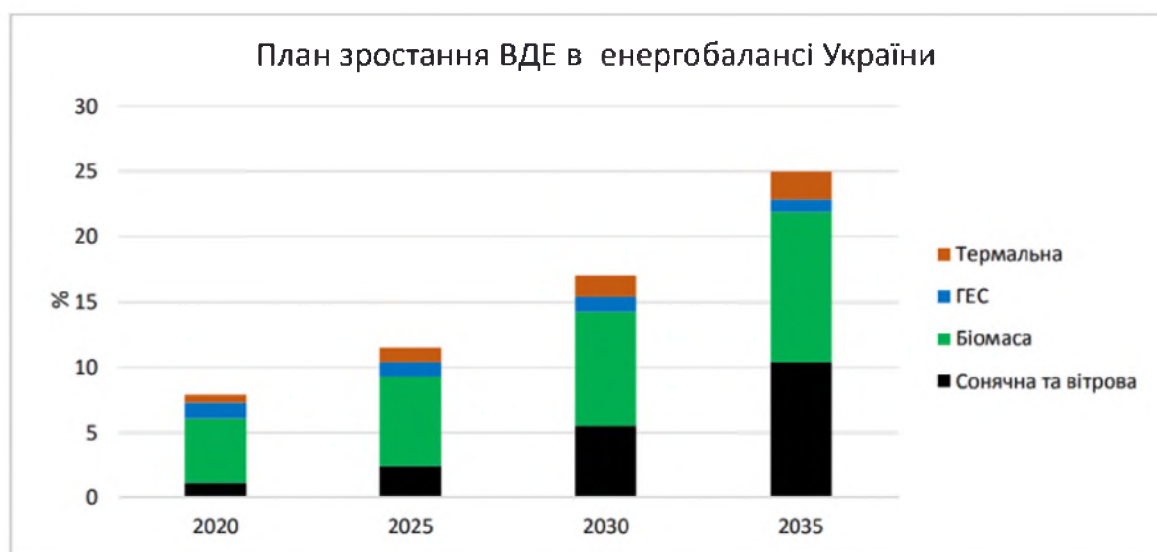


Рисунок 1.3 – Плановий рівень зростання обсягів виробництва ВДЕ в загальному енергобалансі України, %

При цьому стратегія не передбачає зростання енергоспоживання в цілому, а лише передбачає його зменшення через модернізацію енергоємних виробництв та впровадження заходів зі збільшення енергоефективності та енергопродуктивності.

Уряд України постійно слідкує світовим тенденціям у сфері енергетики по збільшенню долі енергії з ВДЕ у власному енергобалансі, але це на сьогодні має певні технічні та економічні складнощі.

Перша складність це нерівномірність графіку вироблення енергії сонячними електростанціями, яка пов'язана з великою кількістю кліматичних факторів. Сонячні панелі виробляють електричну енергію від попадання прямих сонячних променів, тому у похмурі дні кількість згенерованої енергії різко падає. Як наслідок, енергії яка подається в мережу в сонячні дні від сонячних електростанцій має бути скомпенсована в несонячні дні за рахунок інших джерел, а відносно точне прогнозування кількості виробленої енергії можливо лише на декілька днів [1]. До того ж, навіть в сонячний день пік генерації сонячної енергії припадає на приблизно 12 годину дня, проте в ранкові та вечірні години пік сонячні панелі працюють не на повну потужність [1]. В зимовий день, коли сонячний день триває менше ніж 8 годин, у ранкові та вечірні години пік взагалі не відбувається генерація сонячної енергії, адже в такі години сонце ще не зійшло або ж уже зайшло [1]. Схематично для літнього дня на рис. 1.4 наведено схему типового графіку виробництва сонячної енергії та загального споживання енергії.

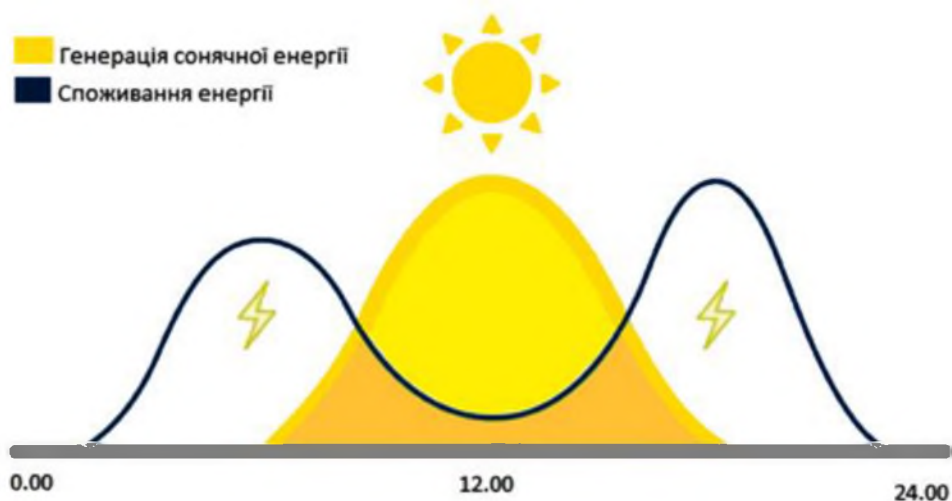


Рисунок 1.4 – Схема типового графіку виробництва сонячної енергії та загального споживання енергії

Також однією з проблем у сонячній енергетиці є повсякчасне природне забруднення поверхні сонячних панелей пилом, пташиним послідом, опадами. Дослідженнями доведено, що з причини забруднення, сонячні панелі втрачають до 35% корисної потужності. При цьому вирішення для цієї проблеми часто не буває, бо доступ до панелей (особливо розміщених на фасадах або дахах будівель) є обмеженим та покладає на власників додаткові витрати на очистку поверхні панелей з метою запобігання зменшенню їх ефективності.

Ще однією з суттєвих проблем сонячних панелей є поступова втрата ефективності їх роботи у процесі старіння, тобто при незмінній кількості сонячної інсоляції батарея виробляє менший обсяг електричної енергії з кожним роком своєї експлуатації. Як показало дослідження, проведено щодо основних виробників сонячних панелей в США, в середньому за 10 років ефективність сонячних панелей (тобто кількість електричної енергії, яка виробляється при одних і тих же умовах) знижується на 7%-10% [1]. Результати дослідження представлено на рис.1.5

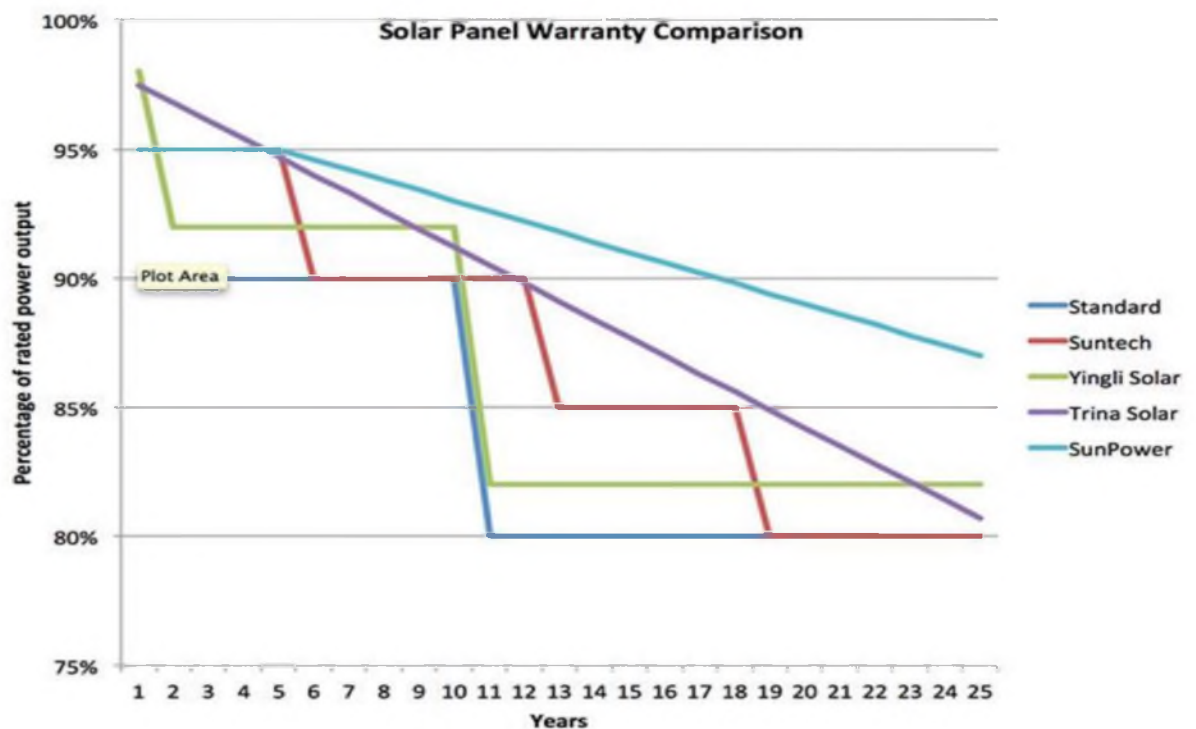


Рисунок 1.5 – Щорічне падіння ефективності роботи сонячних панелей

1.2 Типи та структури фотоелектричних станцій

Сонячна енергетика є однією з найбільших та перспективних для розвитку складових альтернативної енергетики та галузі використання сучасних відновлюваних джерел енергії. На сьогодні розрізняють три основні способи використання енергії сонця, а саме генерування електроенергії, отримання зосередженої теплової енергії для подальшого генерування або пряме нагрівання теплоносія (зазвичай водного) [2]. Використання енергії Сонця сьогодні має переважне значення.

До основних переваг ФЕС можна віднести наступні переваги:

- невичерпність енергетичного ресурсу;
- простоту установки;
- відсутність рушійних частин;
- мінімальна потреба у догляді;
- відсутність шумів та вібрацій.

У порівнянні з іншими видами альтернативної енергетики, сонячна енергетика в цілому є одним з самих чистих в екологічному питанні видів енергії.

Сонячна енергетика має вільне застосування у місцях відсутності централізованих електророзподільних мереж. Таким чином, її впровадження сприяє децентралізації енергопостачання.

З економічної точки зору маємо швидку окупність сонячної батареї. Протягом усього терміну експлуатації генерується значно більше енергії, ніж було витрачено для електростанції.

Фотоелектричні елементи, з яких складається сонячна електростанція, можна розмістити на будь-якій площі, у тому числі і на дахах та стінах будівель, і це безумовно, суттєво знижує собівартість виробленої електричної енергії. У складі сонячної електростанції присутня тільки невелика частина обладнання, що рухаються, таким чином ефект зносу практично відсутній. Тому сонячна електростанція здатна працювати без скільки-небудь значущого ремонту кілька десятиліть, крім періодичного очищення поверхні сонячних панелей. Сонячна

електростанція практично не вимагає трудомісткого технічного обслуговування для підтримки її у нормальному робочому стані.

Можливість підключення сонячних електростанцій до «зеленого» тарифу з економічної точки зору є привабливим як для невеликих побутових споживачів так і для комерційних споживачів.

Однак уникнути повністю шкідливого впливу сонячної енергетики на людину і навколишнє середовище практично не вдається, якщо врахувати весь технологічний ланцюжок від отримання матеріалів до виробництва електроенергії [2].

Найбільш характерні у цьому аспекті сонячні фотоелектричні установки (СФЕУ), експлуатація яких завдає мінімальної шкоди навколишньому середовищу [2]. При цьому, виробництво напівпровідникових матеріалів є екологічним та соціально небезпечним. У зв'язку з цим у ряді країн світу (наприклад, у США) існують дуже жорсткі вимоги до виробництва напівпровідників для СФЕУ, а також до зберігання, транспортування та ліквідації шкідливих речовин від виробництва СФЕУ, обмеження контактів персоналу з цими речовинами, розробка планів дії у разі аварійних чи позаштатних технологічних ситуацій, а також програми ліквідації відходів виробництва, які відпрацювали свій термін або забраковані СФЕУ [2].

Також до основних недоліків, що обмежують застосування ВДЕ, слід віднести відносно низьку енергетичну щільність і крайню мінливість [2]. Низька питома потужність потоку енергоносія призводить до збільшення масогабаритних показників енергоустановок, а мінливість первинного енергоресурсу, аж до періодів його повної відсутності, потребує необхідності в пристроях акумулювання енергії або резервних енергоджерел [2]. В результаті вартість виробленої енергії є високою навіть за відсутності паливної складової в сукупній ціні на електричну енергію.

Сонячна електростанція (СЕС, або фотоелектростанція, ФЕС) - це споруда, яка здійснює перетворення енергії сонячних фотонів, тобто енергії світлової

складової сонячного випромінювання, придатну для побутового та промислового використання електричної енергії [2].

Основні компоненти СЕС це фотоелектрична панель (або сонячна батарея) та інвертор. Визначення вироблення електроенергії СЕС завжди залежить від наявності сонячного випромінювання, тобто наявності сонячної та безхмарної погоди, що є особливістю їх використання.

Розглянемо основні конструктивні типи сонячних електростанцій, їх можна поділити на мережеві, гібридні та автономні.

Найпростіша схема мережевої сонячної електростанції (і найпростішої СЕС) наведена на рис. 1.6.

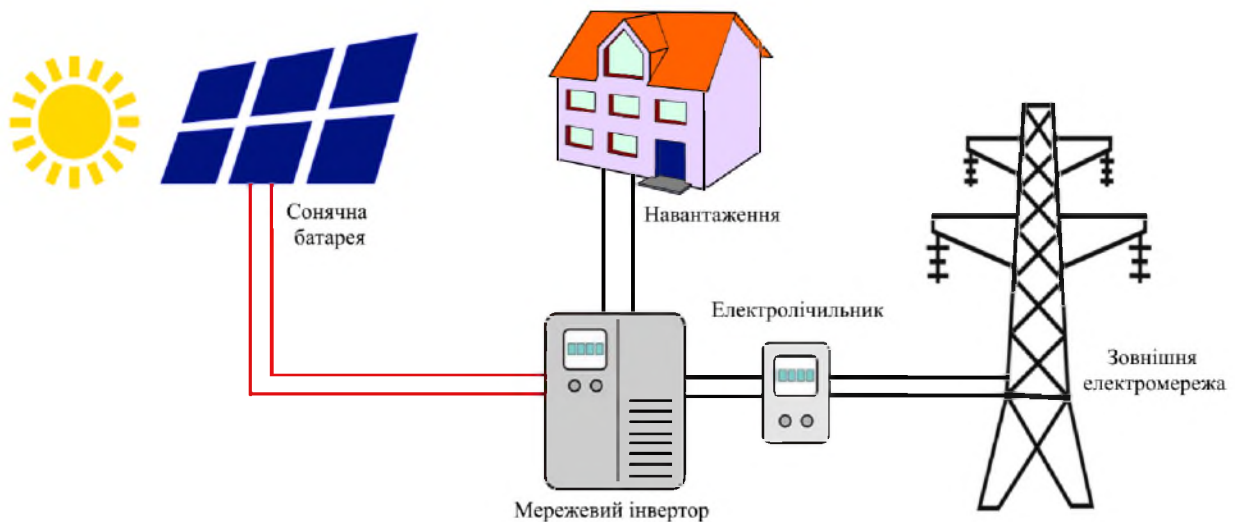


Рисунок 1.6 – Схема мережевої СЕС

Для нормальної її роботи мережевої ФЕС потрібне підключення до зовнішньої електромережі. Наявність та якість параметрів електричної енергії зовнішньої електромережі має критичне значення для роботи ФЕС. За її відсутності, або невідповідності нормам така СЕС стає не придатною навіть у сонячну і безхмарну погоду. Залежність від центрального електропостачання та параметрів зовнішньої енергосистеми є основним недоліком таких СЕС.

До переваг мережевих ФЕС слід віднести відносну, але суттєву низку вартість СЕС і вищий загальний ККД системи (90-95%) у порівнянні з іншими

типами СЕС. Ці дві якості роблять цей тип СЕС безсумнівно привабливішим для вироблення електроенергії та її продажу [2].

Гібридні сонячні електростанції – це електростанції, які можуть працювати автономно або паралельно з загальною мережею.

Гібридна СЕС являє собою базову схему мережевої СЕС з додаванням системи зберігання енергії, яка складається здебільшого з банку акумуляторних батарей (АКБ), контролера заряду та заміною мережевого інвертора на гібридний. Особливістю такої системи є можливість зберігати частину виробленої сонячний період електроенергії в АКБ (рис.1.7).

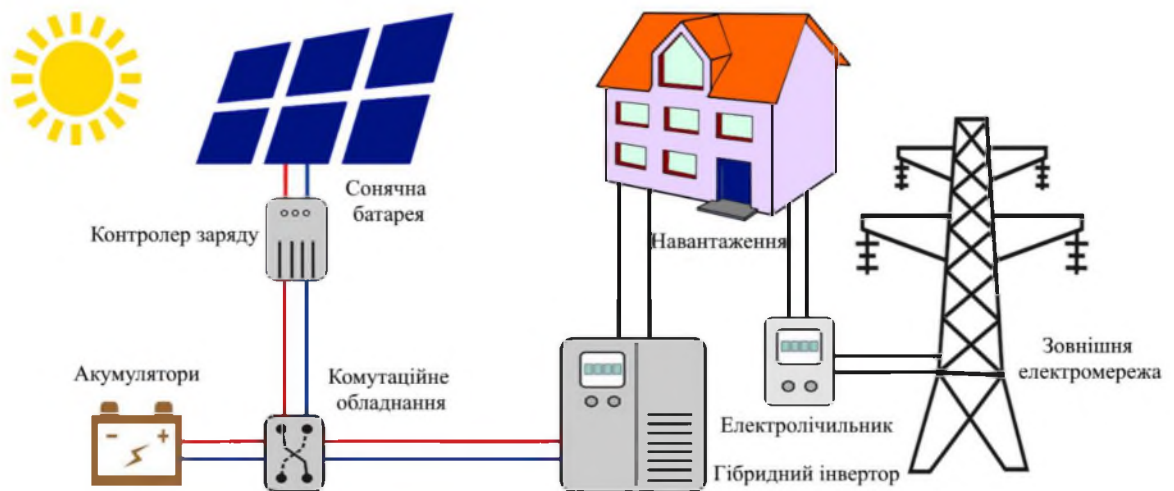


Рисунок 1.7 – Схема автономної, з'єднаної з мережею (гібридною) СЕС

Завдяки наявності системи зберігання енергії такі СЕС менш залежні від джерела центрального електропостачання. Такі СЕС застосовують у якості системи безперебійного живлення там де центральне електропостачання є недостатнім або нестабільним.

До недоліків такої СЕС слід віднести високу ціну обладнання, за рахунок банку АКБ і потужності інвертора, які необхідно вибирати тим більше, чим більше потрібно часу безперебійної роботи та більше навантаження, що підключаються.

Автономні СЕС – це СЕС, що працюють без підключення до зовнішньої електромережі (рис. 1.8).

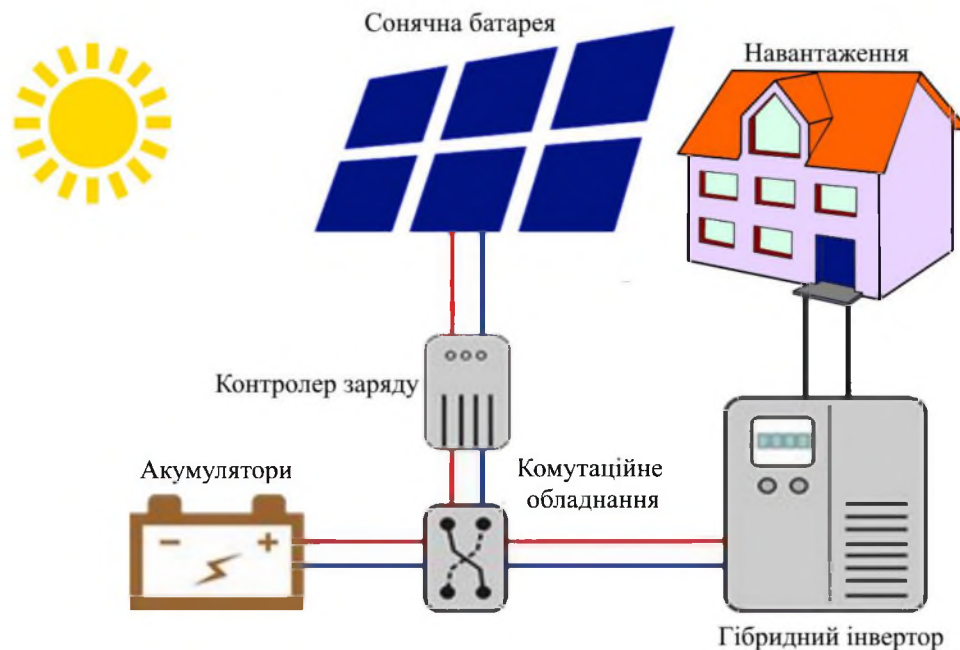


Рисунок 1.8 – Схема автономної, не з'єднаної з мережею СЕС

Автономна фотоелектростанція має у своєму складі крім сонячних панелей, також акумуляторні батареї та контролер заряду. При необхідності забезпечити електропостачання споживачів, що вимагають стандартної напруги 220/380В змінного струму, до її складу додають інвертор.

Важливим недоліком автономної фотоелектростанції є втрата енергії при малих навантаженнях.

У такій конфігурації автономна ФЕС має середню номінальну потужність, яка досягає рівня 10 кВт. Також у складі автономної ФЕС можливі такі варіації:

- кожна панель може обслуговуватися невеликим вбудованим інвертором, при цьому забезпечуючи сотні ват потужності;
- окремі DC/DC-перетворювачі, які використовуються у кожній секції фотоелементів, виходи DC/DC-перетворювачів підключаються паралельно до одного DC/AC-інвертора. Ця топологія побудови ФЕС є найефективнішою, номінальна потужність сягає 100 кВт.

Основна функція інвертора полягає в перетворенні постійних струмів від фотогальванічних панелей або батареї з різним рівнем напруги в змінний струм з певним рівнем напруги і частотою живлення пристроїв або передачі в енергетичну систему [2].

Частота та напруга залежить від регіону, в Європі це 50 Гц та 220 В, у США – 60 Гц та 110 В [2]. Залежно від кількості фаз, інвертори бувають одно-, дво- та трифазні. DC/DC - перетворювач підвищує або знижує рівень вхідної напруги, підлаштовує свій вихід для отримання максимальної ефективності на етапі DC/AC-перетворення;

- конденсатор виконує функцію буферизації напруги;
- індуктивності «згладжують» сигнал після ключів для отримання синусоїди.

У деяких випадках рівень напруги на вході DC/AC-перетворювача повинен бути вищим, ніж на виході DC/DC-перетворювача [2]. Для цього використовується трансформатор після індуктивності. Незважаючи на те, що трансформатор збільшує вагу, габарити та вартість пристрою, а також зменшує ККД в середньому на 2%, він збільшує захист пристрою та безпеку користувача, здійснюючи гальванічну розв'язку між DC та AC-частинами схеми [2]. Цю ж функцію може виконувати DC/DC - перетворювач з нульовою напругою перемикання (еквівалент трансформатора) [2].

Таким чином, за основну схему побудови ФЕС у проєкті приймаємо схему автономної ФЕС.

1.3 Порівняльна характеристика накопичувачів енергії

Накопичувачі енергії (НЕ) є базовими структурними елементами автономних систем електропостачання з урахуванням підключення відновлюваних джерел енергії. Найбільш поширеними системами з відновлювальними джерелами енергії, що мають бурхливий розвиток на сьогодення та представляють інтерес для споживачів, є сонячні фотоелектричні

станції (ФЕС). Особливістю роботи ФЕС є мінливість (нестабільність) рівнів потужності, що виробляються ними. Звідси виникає необхідність у накопичувачах енергії, які здатні ефективно накопичувати надмірну електроенергію під час пікової генерації від джерел ФЕС та віддавати її під час зниження потужності, що генерується ВДЕ, задовольняючи вимоги щодо надійності та якості електропостачання конкретних споживачів. В установках, які мають підключення до мережі, наявність накопичувачів енергії та пов'язаних з ними перетворювачів дозволяє зберегти електропостачання споживачів у разі відключення мережі.

Наведемо потенційні можливості для застосування накопичувачів електроенергії [4]:

1. Управління режимами навантаження – розряд накопичувача під час піку навантаження та заряджання в нічний час (вирівнювання денного та нічного графіків навантаження);
2. Управління потоками потужності – живлення місцевих навантажень, коли з цим не справляється загальна мережа;
3. Резерв, що обертається – можливість швидкого заміщення найбільшого генератора в енергосистемі, що вийшов з роботи;
4. Допомога установкам, що використовують відновлювані джерела енергії – вирівнювання графіка подачі потужності;
5. Підвищення можливості передачі енергії – участь в управлінні стійкістю, регулюванні напруги, частоти та реактивної потужності, що підвищують стабільність роботи мереж;
6. Вирівнювання графіка навантаження в мережах із значним часток розподілених джерел енергопостачання;
7. Підвищення якості електроенергії – підтримка стабільності напруги установкою накопичувачів як на живильних фідерах, так і безпосередньо у споживачів, особливо при різко змінному характері навантаження. Джерело потужності для безперервного електропостачання.

Доцільність застосування саме автономних СЕС з накопичувачами енергії базується на таких основних характеристиках:

1. Функціональна надійність ФЕС та її незалежність від енергомережі.
2. Екологічність і довговічність роботи ФЕС.
3. Економічність, яка пов'язана в першу чергу зі зниженням втрат енергії і відповідно використанням надлишків енергії для продажу за «зеленим» тарифом.

Накопичувачі енергії поділяються на потенційні, кінетичні, хімічні і термальні. На рис. 1.9 показані різні види акумуляторів, їх енергоємність, а також час, протягом якого кожен з них може віддавати енергію [4]. На рисунку виділені три області: зліва внизу зібрані пристрої, що забезпечують точну відповідність параметрів електроживлення заданим параметрам, справа вгорі - відрізняються простотою управління і перемикавання режимів, а між цими областями - джерела, які підходять для резервного живлення [4].

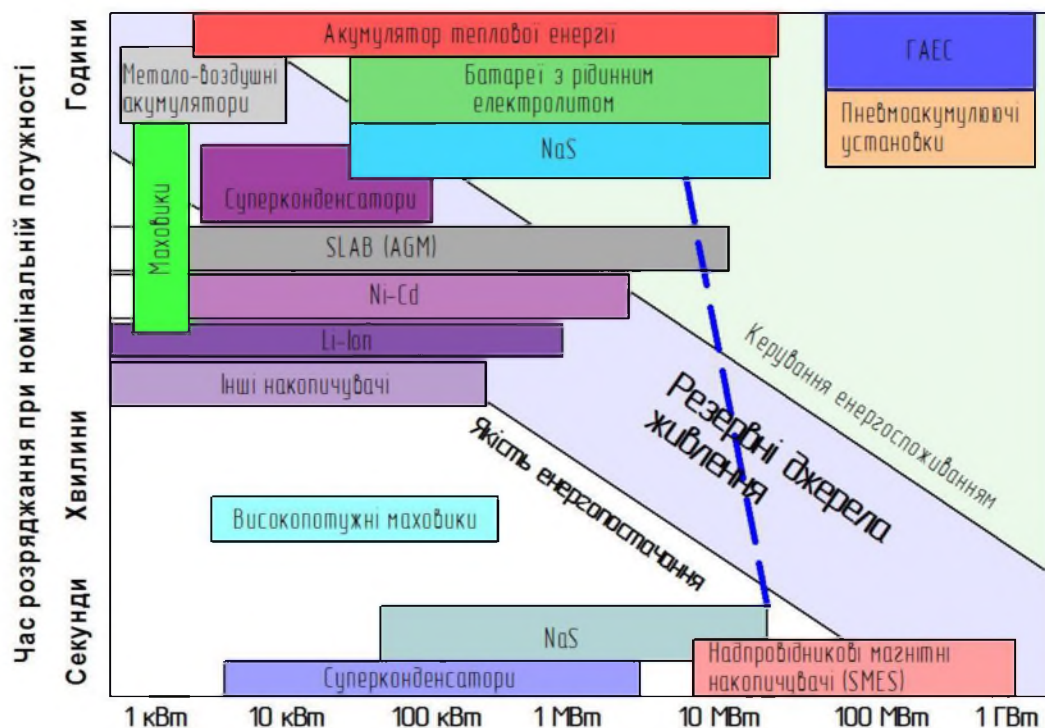


Рисунок 1.9 – Різноманітні види накопичувачів енергії

При сучасному вирішенні усіх питання щодо вибору конкретного накопичувача електроенергії для ФЕС необхідно приймати до уваги наступні параметри, які визначають як його функціональні можливості так і ступінь екологічності. До таких параметрів можна віднести саме максимальну потужність накопичувача енергії, повну величину енергоємності, час роботи, час реверсу потужності. Також необхідно звертати увагу й на економічні критерії при виборі накопичувача такі як капітальні витрати, термін служби і ККД. На рис.1.10 [4] наведено зв'язок перерахованих критеріїв для різних типів накопичувачів.

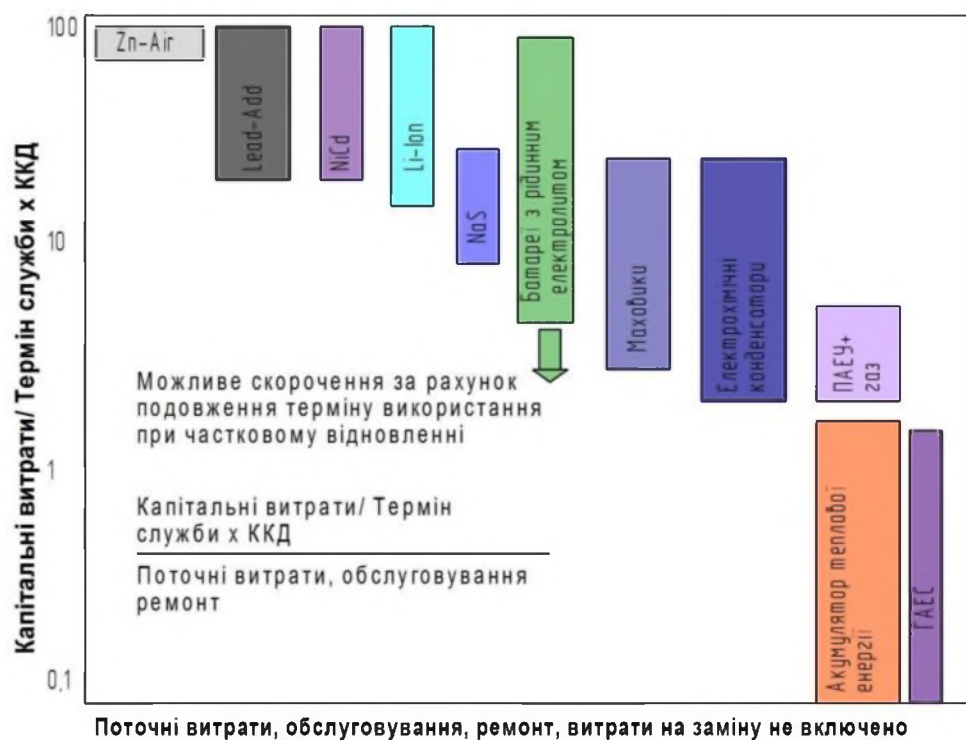


Рисунок 1.10 – Загальна вартість технологій збереження енергії за термін служби

Усі накопичувачі енергії можна розділити на групи за трьома основними характеристиками: номінальною енергоємністю, швидкодією, вимогами до місця встановлення [3]. Ці характеристики в основному будуть визначати можливості використання накопичувачів енергії в енергосистемі та у складі ФЕС.

Таблиця 1.1 – Характеристики накопичувачів енергії

Тип накопичувача енергії	економічно оптимальна потужність або енергоємність	ККД, %	Питома енергоємність, Дж/м ³	Час, с	
				Розряду	Зберігання
Тепловий	50–200 МВт	65–75	-	-	обмежено
Зі свинцево-кислотними акумуляторами	20–50 МВт·год	60–75	10 ⁷	10 ⁻¹ –10 ⁻³	обмежено
З акумуляторами нових типів	20–50 МВт·год	70–80	-	-	обмежено
З маховиком	10–50 МВт·год	70–85	10 ⁶	10 ⁻¹ –10 ⁻²	обмежено
Водородний	20–50 МВт	20–40	10 ⁷	-	не обмежено
Надпровідний індуктивний	До 400 МВт	75–90	10 ⁷	10 ⁻⁴ –10 ⁴	обмежено
На конденсаторах нових типів	1–1000 МВт·год 10 ⁻¹ –10 ³ МВт	До 85	10 ⁵	10 ⁻⁴ –10 ⁴	обмежено
Гравітаційний	05–200 МВт	80–90	10 ⁴	10 ⁻³ –10 ⁻²	не обмежено

Накопичувачі енергії поділяються на дві групи [3]:

- 1) маневрені з малим значенням часу реверсу (до 1 с), але розраховані на невелику (до 10⁹ Дж) енергоємність (хімічні, інерційні);
- 2) що не володіють великою швидкістю, але розраховані на енергоємність до 10¹⁴ Дж (ГАЕС та теплові НЕ).

Накопичувачі енергії – єдиний тип накопичувачів, що акумулюють безпосередньо електричну енергію, тому мають найвищий ККД. Вони інваріантні до місця встановлення, можуть бути розташовані в центрах навантаження та безпосередньо у споживача, практично безшумні в роботі, досить надійні, тому що не мають частин, що рухаються [3].

РОЗДІЛ 2. РОЗРАХУНОК ФОТОЕЛЕКТРИЧНОЇ СТАНЦІЇ ТА ВИБІР ОБЛАДНАННЯ

2.1 Розробка структурної схеми ФЕС

Для підвищення надійності та продуктивності роботи ФЕС необхідно їх конструювати саме за модульним принципом. Таким чином, сонячні батареї – це теж окремі модулі. Доцільно також застосовувати для системи зберігання енергії також типові акумуляторні батареї, які також представляють окремий модульний багатофункціональний блок, або інші накопичувачі енергії. Модульне агрегування необхідно також застосувати для автономних інверторів, де як функціональних модульних елементів представити вхідні та вихідні фільтри, силову електронну схему та систему стабілізації напруги та захисту [2].

Усі типи ФЕС мають загальну структуру та містять (рис.2.1): фотоелектричні модулі; контролер заряду, який служить для захисту акумуляторних батарей від надмірної підзарядки, а також від надлишкової розрядки під час використання; систему акумуляції яка містить акумуляторні батареї, ємність яких повністю забезпечує необхідний рівень автономності щодо електропостачання підключеного навантаження; інвертор; навантаження [2].

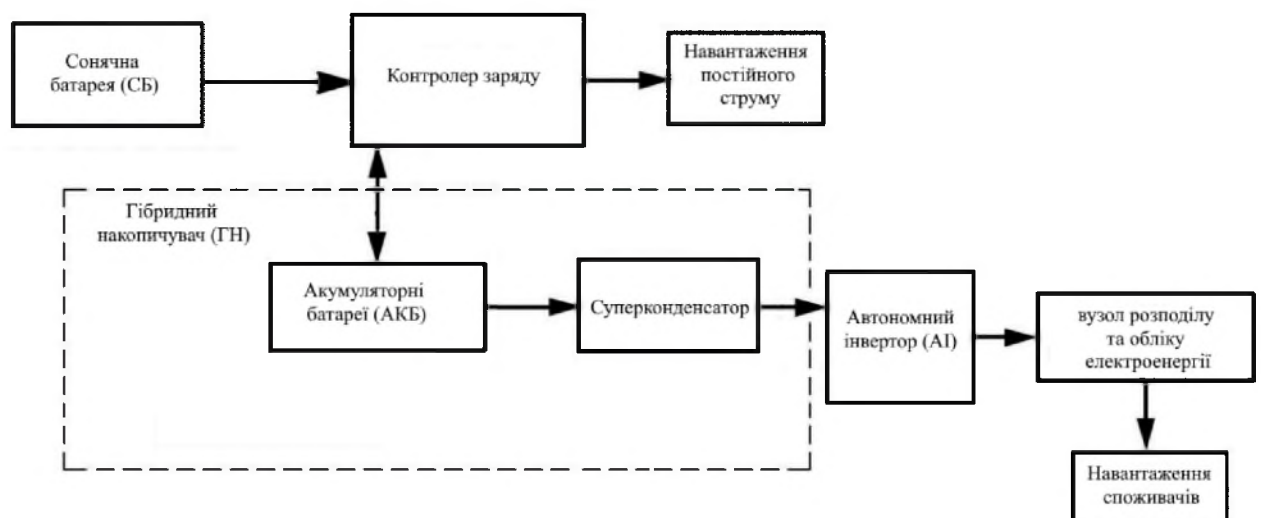


Рисунок 2.1 – Структурна схема розробленої ФЕС

2.2 Аналіз типів сонячних панелей та їх вибір

Щоб визначитися та правильно обрати сонячні панелі, розглянемо усі їх види. Залежно від цього, як організовані атоми кремнію в кристалі, сонячні елементи діляться на види [3]:

- Сонячні елементи з монокристалічного кремнію.
- Сонячні елементи з полікристалічного кремнію.
- Сонячні елементи з аморфного кремнію.

У сонячних модулів з монокристалічного кремнію ККД становить 15-20%. Монокристалічні елементи мають саму найвищу ефективність перетворення енергії. Основний матеріал таких панелей – вкрай чистий кремній з чіткою кристалічною структурою, який вже добре освоєний у галузі виробництва напівпровідників. Кремнієвий монокристал зростає на насіння, яке потім повільно витягується із кремнієвого розплаву. Стрижні, які отримані таким шляхом, потім ріжуться на фотоелементи товщиною частини від 0,2 до 0,4 мм.

Далі процес виготовлення фотоелементів має наступну послідовність:

- обточування, шліфування та очищення;
- накладання захисних покриттів;
- металізація;
- антирефлексійне покриття.

У сонячних модулів із полікристалічного кремнію ККД становить 10-14%. Полікристалічний кремній розвивається таким чином, щоб кремнієвий розплав охолоджувався повільно та перебував під контролем. При виробництві полікристалічних панелей має місце наступна технологія - операція витягування опускається, вона менш енергоємна та значно дешевша. Необхідно зазначити, що усередині кристала полікристалічного кремнію є області, які відокремлені зернистими межами, що веде до зменшення ефективності елементів.

У сонячних модулів з аморфного кремнію ККД становить 5-6%. Аморфний кремній виготовляють за технологією «техніки випарної фази», яка виконується наступним чином - коли тонка плівка кремнію осаджується на матеріал -

підложку і захищається покриттям. Ця технологія має як ряд недоліків так і ряд переваг:

- процес виробництва фотоелектричних панелей на основі аморфного кремнію відносно простий та не дуже дорогий;
- можливе виробництво елементів на велику площу;
- низьке енергоспоживання.

Проте маємо наступні недоліки:

- ефективність вироблення електроенергії значно нижча, ніж у кристалічних елементах;
- елементи схильні до процесу деградації.

У зв'язку з наведеним вище обираємо сонячну панель на основі монокристалічного кремнію, так як їх ККД становить близько 20%, а саме фотоелектричну панель типу HHPOL Y280W.



Рисунок 2.1 – Сонячна панель типу HH-POL Y280W

Сонячна панель типу HH-POLY280W має наступні технічні характеристики наведені у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Технічні характеристики сонячної панелі HH-POLY280W

Номінальна потужність, макс.	280 Вт
Оптимальна робоча напруга, макс.	24 В
Напруга холостого ходу	28 В
Оптимальний робочий струм	7,67 А
Струм короткого замикання	8,29 А
Максимальна напруга системи	1000 В
Фотоелементи	72/монокристалічні
Розмір комірок	156x156 мм
Ступінь захисту корпусу	IP-65
Максимальне вітрове навантаження	2400 Па
Габаритні розміри	1956x990x40 мм
Вага модуля	23 кг
Загальна площа	1,94 м ²
Довжина кабелю	900 мм
ККД	20%
Температура зберігання	-40 ~ +85° С
Температура експлуатації	-40 ~ +85° С
Номінальна робоча температура комірки	- 45 ~ +2° С
Термін служби	25 років

За даними про визначену сумарну сонячну радіацію та потужність обраної сонячної панелі, розраховують кількість енергії, яка вироблятиметься подібним модулем у Донецькому регіоні за кожен місяць за такою формулою:

$$W_m = S_m \cdot E \cdot k \cdot \eta, \text{ кВт} \cdot \text{год},$$

де S_m – площа фотопанелі, Вт;

E – значення інсоляції за вибраний період, кВт·год/м²;

η – ККД фотомодуля;

k – коефіцієнт, що враховує поправку втрати потужності сонячних елементів при нагріванні на сонці, а також кута падіння променів на поверхню модулів протягом року.

Величина k приймається за 0,5 влітку та 0,7 у зимовий період відповідно. Різниця у його значенні влітку та взимку обумовлена меншим нагріванням елементів у зимовий період.

Необхідна кількість сонячних панелей для покриття повної потреби в електричній енергії за місяць:

$$N = \frac{W_{\text{міс}}}{W_m}, \text{ шт.}$$

Результати всіх наведених вище розрахунків зведені в таблицю 2.2.

Таблиця 2.2 – Вибір кількості фотоелектричних модулів

Місяць	$W_{\text{спож}}$, кВт·год	E , кВт·ч/м ²	W_m , кВт·год	N , шт
Січень	412,3	145,3	35,23525	12
Лютий	377	122,2	29,6335	9
Березень	368,9	94,2	31,9809	10
Квітень	330	122	42,1659	8
Травень	319,3	145,3	35,23525	10
Червень	279	160,6	38,9455	8
Липень	257,3	170,8	41,419	7
Серпень	249	122,2	29,6335	9
Вересень	387,5	73,3	17,77525	10
Жовтень	396,8	33,6	8,148	12
Листопад	399	17,5	5,94125	12
Грудень	443,3	10,6	3,5987	12

Кількість вибраних сонячних панелей у таблиці 2.2 округляємо до найближчого більшого цілого значення.

Аналізі таблиці 2.2 дозволяє зробити висновок, що найменша кількість панелей для покриття повного навантаження цілий рік становить 12 панелей.

Завдяки сонячному калькулятору [8] можна побачити вироблення електричної енергії панелями потужністю 280 Ватт у кількості 12 шт. під zenітним кутом 45° (0° - 31 горизонтально, 90° - вертикально) та азимутним кутом 180° (180° – на південь, 0° – на північ) (рисунк 2.2) разом із навантаженням по місяцях), а також у таблиці 2.3 наведено середньомісячне вироблення електроенергії сонячними панелями.



Рисунок 2.2 – Вироблення електричної енергії сонячними панелями для покриття навантаження у кількості 12шт

Таблиця 2.3 – Середньомісячне вироблення електроенергії панелей кВт·год/добу

Місяць	кВт·год/міс	Місяць	кВт·год/міс
Січень	4,47	Липень	17,05
Лютий	8,7	Серпень	14,86
Березень	13,34	Вересень	10,58
Квітень	16,1	Жовтень	7,56
Травень	16,14	Листопад	5,17
Червень	16,64	Грудень	2,82

Згідно проведеного розрахунку у подальшому приймаємо у проєкті 12 сонячних панелей.

2.3 Розрахунок і вибір контролера

Сонячний контролер заряду для ФЕС є важливим елементом, без якого практично неможлива коректна робота іншого обладнання, а саме правильний заряд акумуляторних батарей. Тому при підборі контролера для проєктуємої системи необхідно приділити увагу питанню, щоб технічні дані виробу повністю відповідали потребам вибраних сонячних панелей. Насамперед необхідно звернути увагу саме на вид контролерів та їх суттєві відмінності [8].

Виділяють два види контролерів, які заслуговують на увагу:

- MPPT контролер заряду. Це пристрій, який значно впливає на кількість енергії, що акумулюється сонячними панелями, збільшуючи її на 25-30% в порівнянні з іншими відомими контролерами заряду. Принцип роботи такого контролера ґрунтується на алгоритмі стеження за точкою максимальної потужності сонячного модуля. Незважаючи на велику вартість за одиницю, термін окупності всієї ФЕС з ним значно коротший.

- PWM (ШИМ) контролер заряду встановлюють виключно в регіонах із дуже високою сонячною інсоляцією. Практично це є "економічна" версія з дуже

простим алгоритмом. У регіонах з низькою сонячною активністю їх застосування буде не доцільним і не економічним.

Оскільки Донецький регіон має досить високу сонячну активність, доцільніше використовувати MPPT-контролери.

При виборі контролера необхідним є враховувати струм заряду і виходити з параметрів потужності 4-х панелей по 280 Вт та їх напруги.

Так як панелі з'єднані послідовно, то струм заряду $I_{\text{заряду}}$ розраховується за такою формулою:

$$I_{\text{заряду}} = \frac{P_{\text{СП}}}{U_{\text{ном.СП}}} = \frac{4 \cdot 280 \text{ Вт}}{4 \cdot 24 \text{ В}} = 11,7 \text{ А}$$

де $P_{\text{СП}}$ – потужність сонячної панелі,

$U_{\text{ном.СП}}$ – номінальна напруга сонячної панелі.

У якості контролера обираємо контролер заряду типу Tracer 2210A, у якого згідно параметрів: струм заряду становить 20 А і максимальна вхідна напруга 100 В, т.к. 4 сонячні панелі будуть підключені до одного контролера і у них напруга 24 В кожної панелі, то в сумі при послідовному з'єднанні дасть напругу 96 В.



Рисунок 2.3 – Контролер заряду Tracer 2210A, 20А, 12/24В

Таблиця 2.4 – Технічні характеристики контролера заряду Tracer 2210A, 20A, 12/24В

ЕЛЕКТРИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ	
Напруга системи	12/24 В
Максимальний струм заряду АБ	20 А
Максимальна потужність СБ	260/520 Вт
Максимальна напруга на вході	100 В
Максимальна напруга акумуляторних батарей	32 В
Власне споживання	$\leq 20(12В) \leq 16(24В)$ мА
Комунікаційний порт	RS485/RJ45
Максимальна ефективність перетворення	98%
МЕХАНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ	
Габаритні розміри	172 x 139 x 44 мм
Вага	1100 гр
Термінали	10 мм ²
ТЕМПЕРАТУРНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ	
Температура зберігання	-35 ~ +55 °С
Температура експлуатації	-35 ~ +80 °С
Вологість (без утворення конденсату)	95%
Ступінь захисту від зовнішніх впливів	IP – 30

В даному контролері можливі 4 режими роботи [9]:

1. Контролер для освітлення - встановлюємо час світіння після того, як стемніло (Таймер1) та перед світанком (Таймер2), протягом від 1 до 15 годин.
2. Контролер для освітлення – включення світіння через 10хв. після того, як стемніло і до світанку.
3. Контролер у ручному режимі (ввімкнення живлення навантаження кнопкою).

4. Тестовий режим навантаження - увімкнення навантаження після того, як стемніло і вимкнення на світанку без затримки.

Можливий вибір 4 типів акумуляторів для роботи:

1. Заливні АКБ.
2. AGM.
3. GEL.

Особливості контролера у порівнянні з іншими:

1. Технологія пошуку точки максимальної потужності .
2. ККД перетворення 98%.
3. Ефективність пошуку точки максимальної потужності понад 99,5%.
4. Висока швидкість знаходження точки максимальної потужності.
5. 3х - ступінчаста зарядка з ШИМ регулюванням.
6. Мультифункціональний LCD дисплей з інтуїтивно зрозумілим керуванням.

7. Управління режимом роботи навантаження, вибір типу акумулятора.

Електричні захисти, що забезпечує контролер :

1. Захист сонячних батарей від короткого замикання.
2. Захист від зворотної полярності сонячних батарей.
3. Аварійний захист від напруги сонячних батарей.
4. Захист акумулятора від перезаряджання.
5. Захист акумулятора від перерозряду.
6. Захист від зворотної полярності акумулятора.
7. Захист від короткого замикання у навантаженні.
8. Захист від перегріву.
9. Захист від навантаження.

На рисунку 2.4 наведено схему підключення контролера до сонячних панелей.

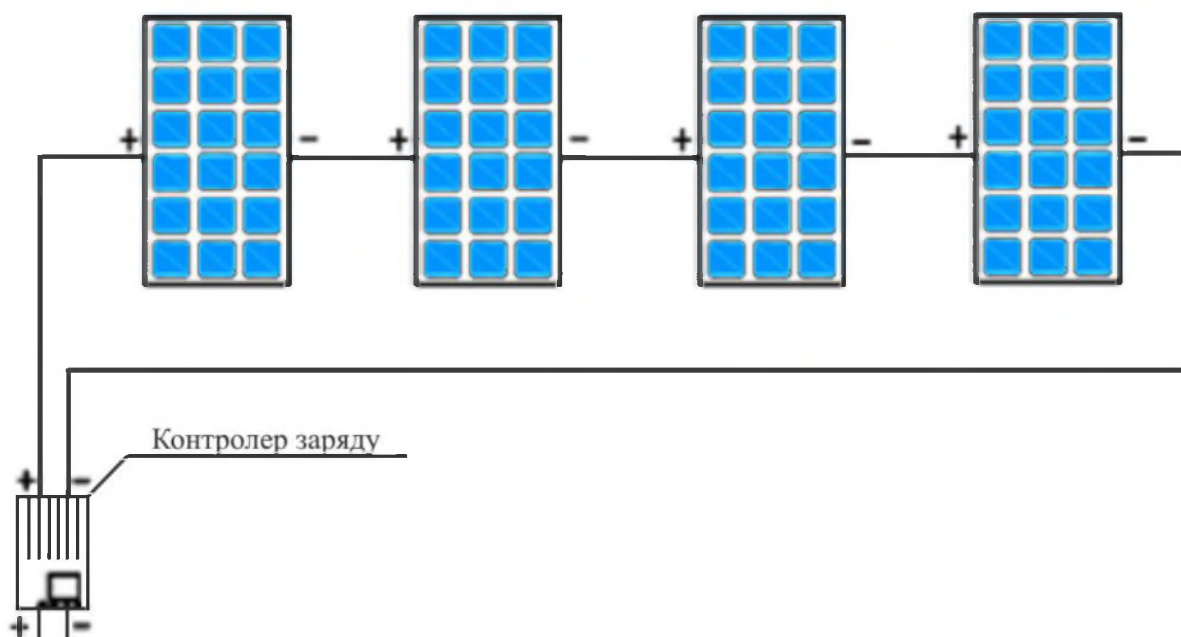


Рисунок 2.4 – Схема підключення контролера до сонячних панелей

2.4 Вибір інвертора

Інвертор завжди вибирається з урахуванням напруги вибраних сонячних панелей, напруги АКБ та враховується можливість згладженої роботи при пікових навантаженнях.

Серед усіх сучасних інверторів вибираємо синус-інвертор Outback Power VFX3048E, зовнішній вигляд якого наведено на рис.2.5.



Рисунок 2.5 – Інвертор Outback Power VFX3048E

Таблиця 6 - Характеристики інвертора Outback Power VFX3048E

Специфікація	VFX3048E
Вхід DC	24/48/96 В DC
Номінальна потужність за 25°C	3000 ВА
Напруга за АС/частота	230 В / 50 Гц
Вихід за АС при 25С	13,0 А АС
Споживання навантаження	~23 Вт
без навантаження	~6 Вт
ККД	93%
Гармонічні спотворення норм. номінал	2%
макс.	5%
Діапазон напруги по виходу АС	2%
Пікова сила струму Пік	35 А АС
RMS	25 А АС
Макс. вихідна потужність АС Пік	5750 ВА
5с	4800 ВА
30 хв	3300 ВА
Макс. навантаження по входу АС	30 А
Діапазон напруги на вході АС	160 - 300 В
Діапазон частоти входу АС	44-56 Гц
Діапазон напруги на вході DC	42,0-68,0 В
Сила струму заряду батарей	210 А DC
Рекомендований автомат DC	ODBC-250
Гарантія	2 роки
Вага Інвертор	27,7 кг
З упаковкою	29 кг
Габарити Інвертор	30 x 21 x 41 см
З упаковкою	55 x 33 x 56 см

Інвертор OutBack VFX – надійне та якісне джерело безперебійного живлення, що поєднує перетворювач чистого синуса, електронний 4-стадійний зарядний пристрій та трансферне реле перемикавання.

На рисунку 2.6 наведено схему підключення інвертора до сонячних панелей.

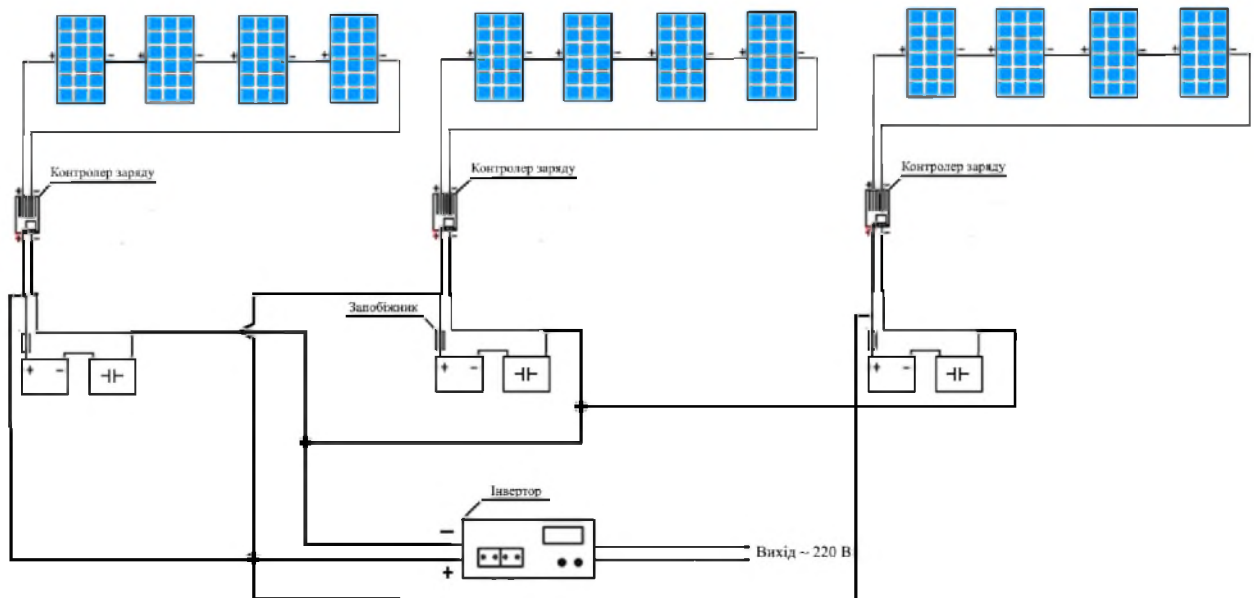


Рисунок 2.6 – Схема підключення інвертора до сонячних панелей

2.5 Математична модель ФЕС

Актуальністю є створення математичної моделі фотоелектричної електростанції, яке завжди обумовлено необхідністю вивчення поведінки фотоелектричних елементів у різних режимах роботи, а також розрахунків параметрів та проектування фотоелектричних елементів. Комп'ютерна модель фотоелектричної електростанції наведена на рис. 2.7.

На рис. 2.8 наведені осцилограми зміни напруги та струму в мережі. На рис. 2.9 наведено осцилограми вихідного сигналу інвертора.

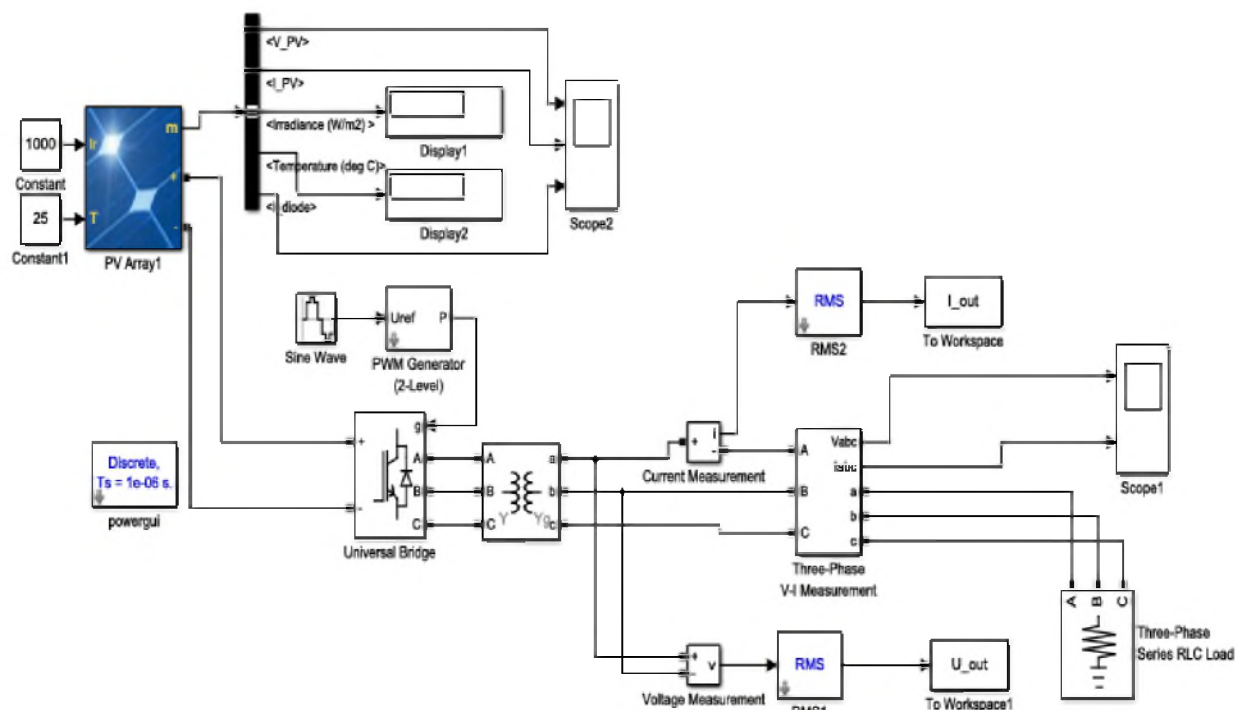


Рисунок 2.7 – Комп'ютерна модель фотоелектричної електростанції

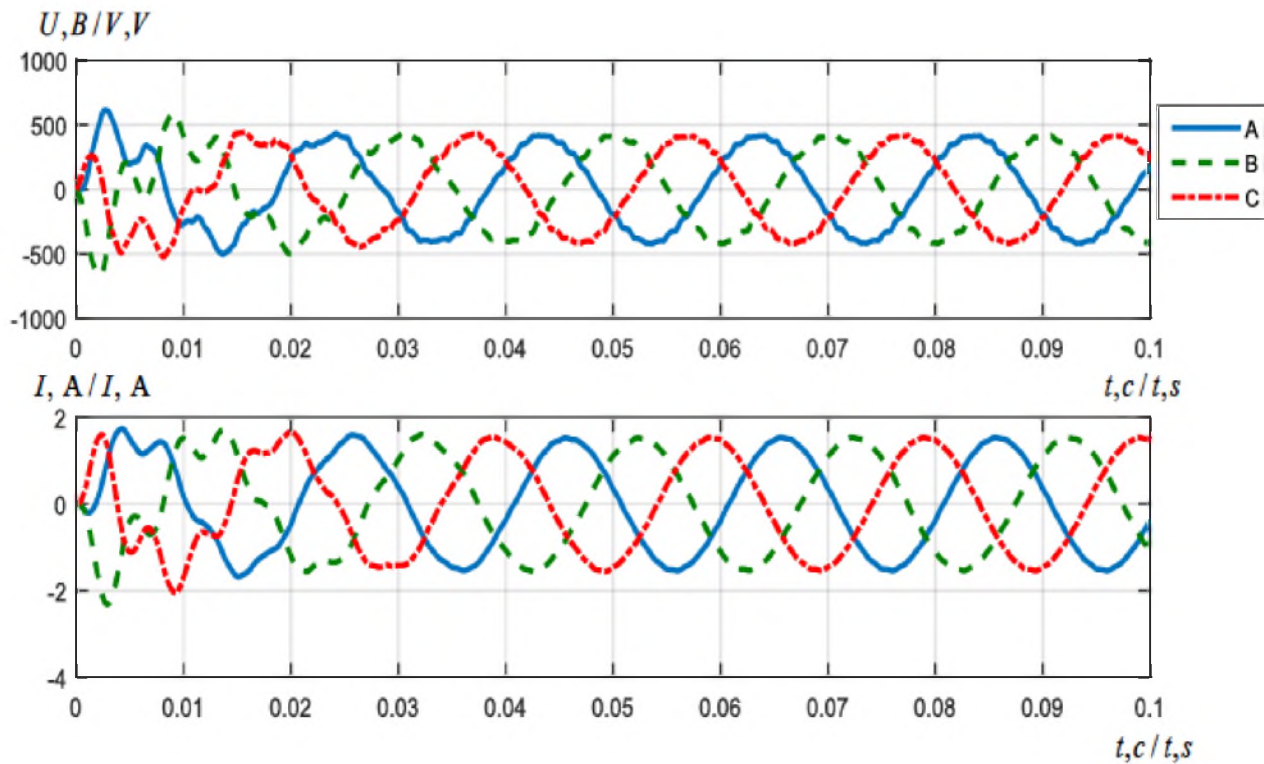


Рисунок 2.8 – Напруга і струм в мережі

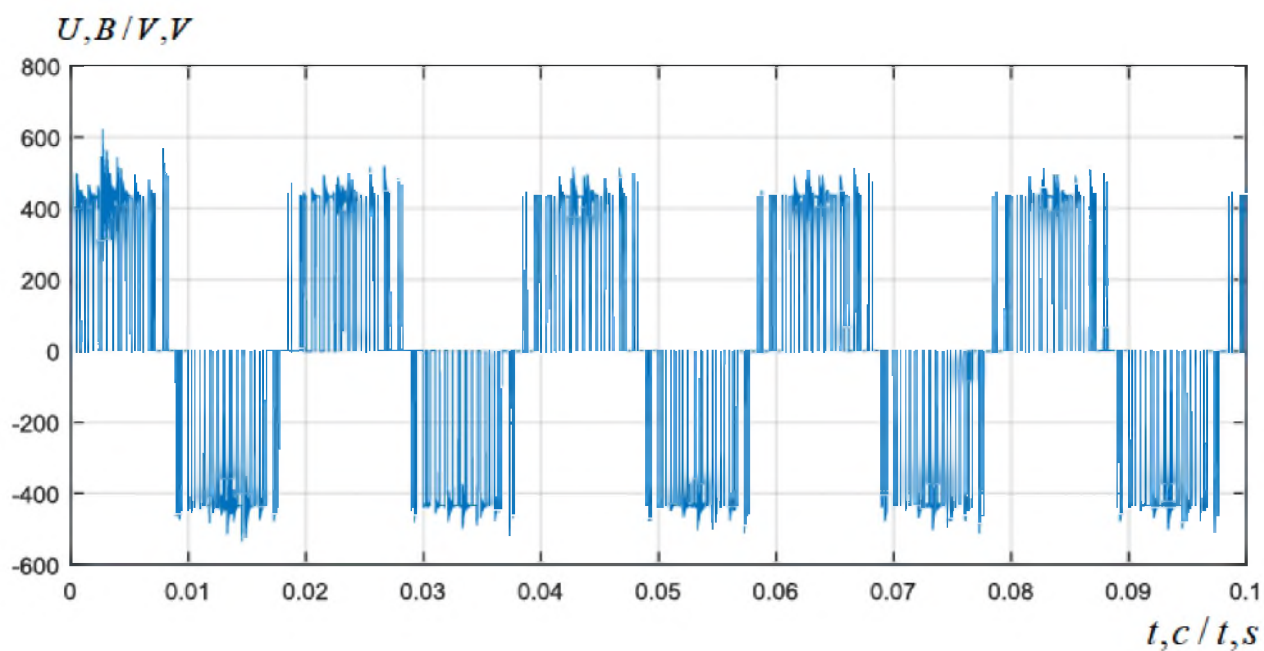


Рисунок 2.9 – Вихідний сигнал інвертора

Аналіз отриманих графіків дає можливість зробити висновок, що модель повністю чітко моделює поведінку системи у реальності і вона є повністю оптимізованою для розрахунку роботи ФЕС.

РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА ГІБРИДНОГО НАКОПИЧУВАЧА ЕНЕРГІЇ

3.1 Розробка структури гібридного накопичувача енергії

Побудова гібридного накопичувача енергії є досить складною задачею та в першу чергу необхідно виконати аналіз різних накопичувачів для оптимального та гармонійного їх поєднання.

Проведений аналіз різних накопичувачів за 6 основними параметрами, такими як час зарядки, час розрядки, питома енергія, питома потужність, кількість циклів зарядки/розрядки та ефективність зарядки/розрядки наведено у таблиці 3.1

Таблиця 3.1 – Порівняльна таблиця накопичувачів енергії

Параметр	Акумуляторні батареї	Суперконденсатори	Конденсатори
Час заряджання	1 - 5 год	0,3 – 30 с	$10^{-3} - 10^{-6}$ с
Час розрядження	0,3 - 3 год	0,3 – 30 с	$10^{-3} - 10^{-6}$ с
Питома енергія (Вт·год/кг)	10 - 100	1 - 10	<0,1
Кількість циклів	1000	>500000	>500000
Питома потужність (Вт/кг)	<1000	<10000	<100000
Ефективність заряджання/розрядження	0,7 – 0,85	0,85 – 0,98	>0,95

З отриманих даних можна дійти висновку у тому, що по шести основним параметрам саме суперконденсатори займають проміжне становище між хімічними джерелами електричної енергії та звичайними конденсаторами.

Також це видно з порівняльної характеристики накопичувачів енергії в залежності питомої енергії E від питомої потужності P . На рис.3. 1 зображені такі саме такі характеристики та області перспективного розвитку деяких типів акумуляторів, іоністорів та конденсаторів з оксидними діелектриками у логарифмічному масштабі [8].

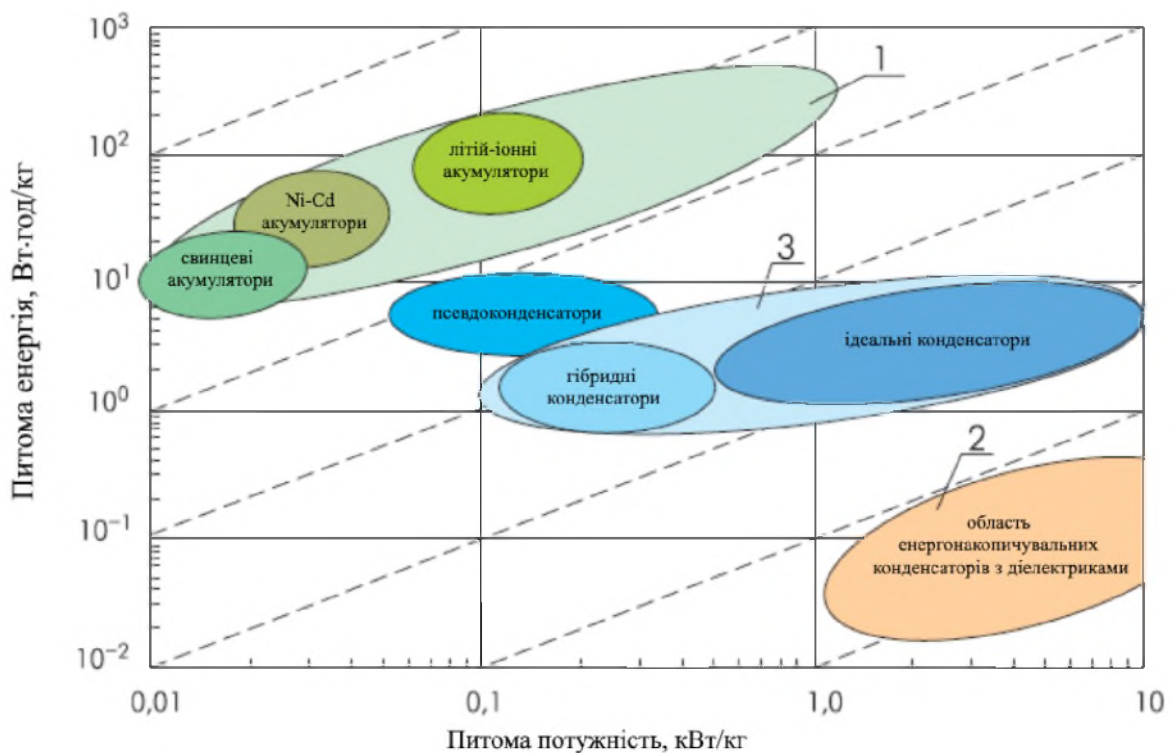


Рисунок 3.1 – Порівняльні характеристики електрохімічних накопичувачів електричної енергії:

1 – область перспективного розвитку хімічних джерел струму (акумуляторів), що перезаряджаються; 2 – область перспективного розвитку енергонакопичувальних конденсаторів із діелектриками; 3 – область перспективного розвитку конденсаторів із подвійним електричним шаром

Принцип роботи комбінованого накопичувача електроенергії полягає саме в тому, що в кожний момент різкого та короткочасного провалу вироблюваної потужності або збільшення споживаної потужності суперконденсаторний модуль компенсує даний провал, а в момент різкого, короткочасного збільшення вироблюваної потужності або зменшення споживаної потужності суперконденсатор запасається енергією зміни напруги мережі живлення [5]. Акумуляторні батареї, у свою чергу, відіграють роль основного накопичувача електричної енергії, що реагує на довготривалі зміни напруги мережі живлення [5]. Таким чином, наведена система дозволяє поєднувати в собі переваги одразу обох накопичувачів електричної енергії, а саме швидкодію та високу питому енергію суперконденсатора зі стабільною тривалою роботою акумуляторної батареї.

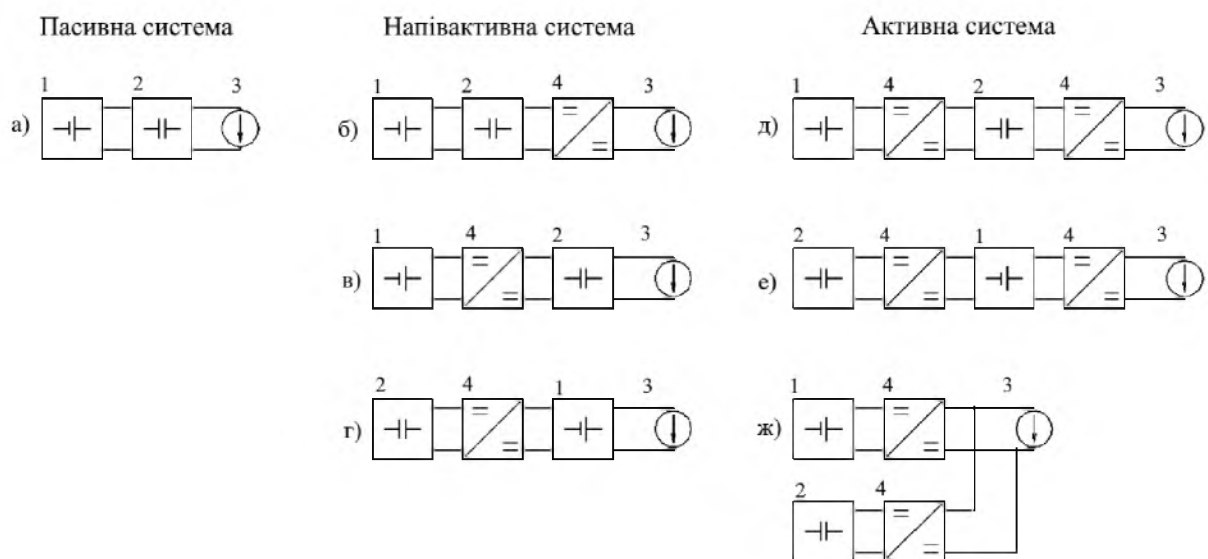


Рисунок 3. 2 – Класифікація видів гібридних накопичувальних систем на базі АКБ та суперконденсаторного модуля:

1 – АКБ; 2 – суперконденсатор; 3 – навантаження; 4 – DC/DC перетворювач

Гібридні накопичувачі енергії, побудовані на базі АКБ та суперконденсаторного модуля можуть бути 3 основних типів, і кожен з яких має свої різні варіанти виконання:

1. Пасивна система (рис.3.2, а);
2. Напіваактивна система (рис. 3.2, б, в, г);
3. Активна система (рис. 3.2, д, е, ж);

Пасивна система будується за принципом паралельного з'єднання АКБ та суперконденсатора з безпосереднім підключенням напругу до навантаження. Основним недоліком такої пасивної системи є те, що к ній розподіл струму навантаження між АКБ і суперконденсатором визначається тільки повними опорами даних елементів. Так само і напруга на цих елементах повинна бути рівною у будь-який момент часу. У випадку коли напруга суперконденсатора зменшиться на значну величину в порівнянні з напругою батареї, отримаємо те що крізь суперконденсатор піде великий струм, який обмежує кількість енергії, що можна звільнити з суперконденсатора.

Напіваактивна система являє собою паралельне з'єднання АКБ і суперконденсатора з використанням одного DC/DC перетворювача. Існує 3 види напіваактивних систем [5]:

1. Паралельна напіваактивна система – перетворювач між навантаженням та джерелом (рис.3.2, б);
2. Напіваактивна система суперконденсатора – перетворювач між навантаженням та суперконденсатором, батарея підключена послідовно до навантаження (рис. 3.2, в);
3. Напіваактивна система батареї – перетворювач між навантаженням та батареєю, суперконденсатор підключений послідовно до навантаження (рис. 3.2, г).

Дана топологія схеми практично позбавлена низки недоліків, які властиві пасивній системі, але також вимагає узгодження параметрів одного з елементів з навантаженням (рис. 3.2, в, г) або між собою (рис. 3.2, б). Таким чином, завдяки використанню DC/DC - перетворювача даний варіант гібридного накопичувача

дозволяє значно знизити необхідну напругу суперконденсаторного модуля і тим самим оптимізувати параметри модуля, який вибирається за напругою і ємністю.

В активній системі для з'єднання АКБ та суперконденсаторного модуля з навантаженням використовується кілька DC/DC перетворювачів. Існує 3 види активних систем [5]:

1. Паралельна активна система – перетворювач між кожним НЕ та навантаженням (рис. 3.2, ж);
2. Активна система батареї – перетворювач між навантаженням та батареєю, і батареєю та суперконденсатором (рис. 3.2, е);
3. Активна система суперконденсатора – перетворювач між навантаженням та суперконденсатором, суперконденсатором та батареєю (рис. 3.2, д).

Активна система є самим дорогим варіантом з причини застосування двох DC/DC перетворювачів, але така система дозволяє контролювати струми, напруги та ступінь заряду накопичувачів, які входять до системи, а також дозволяє реалізувати найбільш оптимальні алгоритми управління гібридним накопичувачами системи.

А наліз наведених типів систем гібридного накопичувача дозволяє зробити висновок, що з технічної реалізації та економічно обґрунтованої вартості, найкращім варіантом для проєктуємої ФЕС буде напівактивна система, яка наведена на рис.3.2, б.

3.2 Вибір та розрахунок акумуляторних батарей

Після визначення типу поєднання накопичувачів у гібридному накопичувачі необхідно виконати вибір і розрахунок його складових, а саме типу АКБ.

У таблиці 3.2 наведено розширені технічні характеристики акумуляторів, які дозволяють більш обґрунтовано на основі статичного аналізу вибрати тип АКБ.

Таблиця 3.2 – Технічні характеристики типів АКБ

Характерис- тики	Типи акумуляторних батарей						
	NiCd	NiMH	свинцево -кислотні	Li-Ion	Li-Ion полімерн і	Перезарядж. алкалінові	Гелієві
Енергетична щільність, Вт/кг.	45...80	60...120	150	110..160	100...130	80	180
Внутрішній опір, мОм	100..200 (батаре я на 6 В)	200... 300 (батарея на 6 В)	менш 100 (батарея на 12 В)	150... 250 (батарея на 7,2 В)	200...300 (батарея на 7,2 В)	200...2000 (батарея на 6 В)	Менш 100 (батарея на 6 В)
Число циклів заряд/розряд до зниження ємності на 80%	1500	300... 500	200...300	500... 1000	300...500	50 (при зниж. ємн. на 50%)	700
Час швидкого заряду, год	1	2...4	8...16	2...4	2...4	2...3	3,5
Допустимий перезаряд	середні й	низький	високий	дуже низький	низький	середній	низький
Саморозряд за місяць за кімнатної температури, %	20	30	5	10	10	0,3	3
Напруга на елементі, В	1,25	1,25	2	3,6	3,6	1,5-1,6	2
Струм навантаження відносно ємності (С): - піковий - найбільш прийнятний	20С до 1С	5С до 0,5с	5С до 0,2с	>2С до 1С	>2С до 1С	0,5С до 0,2с	5С до 0,2с
Діапазон робочих температур, °С	-40...60	-20...60	-20...60	-20...60	0...60	0...65	-20...60
Обслуговуванн я через	30...60 днів	60...90 днів	3...6 місяців	не регл.	не регл.	не регл.	не регл.
Початок виробництва	1950	1990	1970	1991	1999	1992	2000

З відомих типів АКБ для ФЕС найчастіше використовують свинцево-кислотні та гелієві АКБ. Вибір саме гелієвих акумуляторів на пряму залежить від таких унікальних характеристик, як відсутність регулятора зарядного струму, велика кількість циклів заряду-розряду, допустимість тривалого перебування у розрядженому стані, низький саморозряд, можливість експлуатації у будь-якому положенні у житловому приміщенні. Таким чином, у нашому випадку саме такий новий тип АКБ (гелієвий акумулятор), буде найкращім варіантом у складі гібридного накопичувача енергії.

На сьогодні саме такі акумулятори широко використовуються в автономних потужних системах безперебійного живлення та в альтернативній енергетиці. Гелієві акумуляторні батареї вимагають тільки захисту від перезаряду і також вони повинні мати обмежувач напруги при заряді, який повністю забезпечує їх максимальний термін служби приблизно 700 циклів заряду-розряду.

Переваги гелієвих АКБ:

- абсолютно не потребують обслуговування;
- захищені від проливання/протікання;
- мають високі показники при глибокому розряді;
- можуть встановлюватися боком (можлива втрата 10% потужності);
- відсутність газовиділення;
- можливість використання поруч із чутливим електронним обладнанням;
- тривалий термін зберігання;
- швидка перезарядка (з 0% до 90% за 3,5 години) - у 7 разів швидше за аналогічний кислотний акумулятор;
- немає обмеження струму при підзарядці до 13,8В;
- стійкість до вібрації;
- робота у вологому середовищі, навіть на глибині 10 метрів під водою;
- при повному заряді не замерзає за температури -30°C ;
- оптимальна питома вартість (ціна/кількість місяців в експлуатації);
- найнижча питома вартість (ціна/кількість циклів).

Недоліки гелієвих АКБ:

- висока початкова вартість;
- більша вага в порівнянні з іншими акумуляторами;
- неможливість долити воду при тривалому перезарядженні.

ФЕС працює з обмеженням напруги АКБ. Тому при розрядній напрузі АКБ, $U_{AB} = 24 \text{ В}$ (оскільки АКБ підключені послідовно) середній розрядний струм АКБ дорівнює:

$$I_{\text{сер.роз.ніч}} = \frac{P_{\text{сер.ніч}}}{U_{AB}} = \frac{0,54 \text{ кВт}}{24 \text{ В}} = 20 \text{ А}$$

Середній розрядний струм на навантаження вдень:

$$I_{\text{сер.роз.день}} = \frac{P_{\text{сер.день}}}{U_{AB}} = \frac{0,54 \text{ кВт}}{24 \text{ В}} = 22,5 \text{ А}$$

Циклограма струму навантаження за 24 години наведена на рис. 3.3.

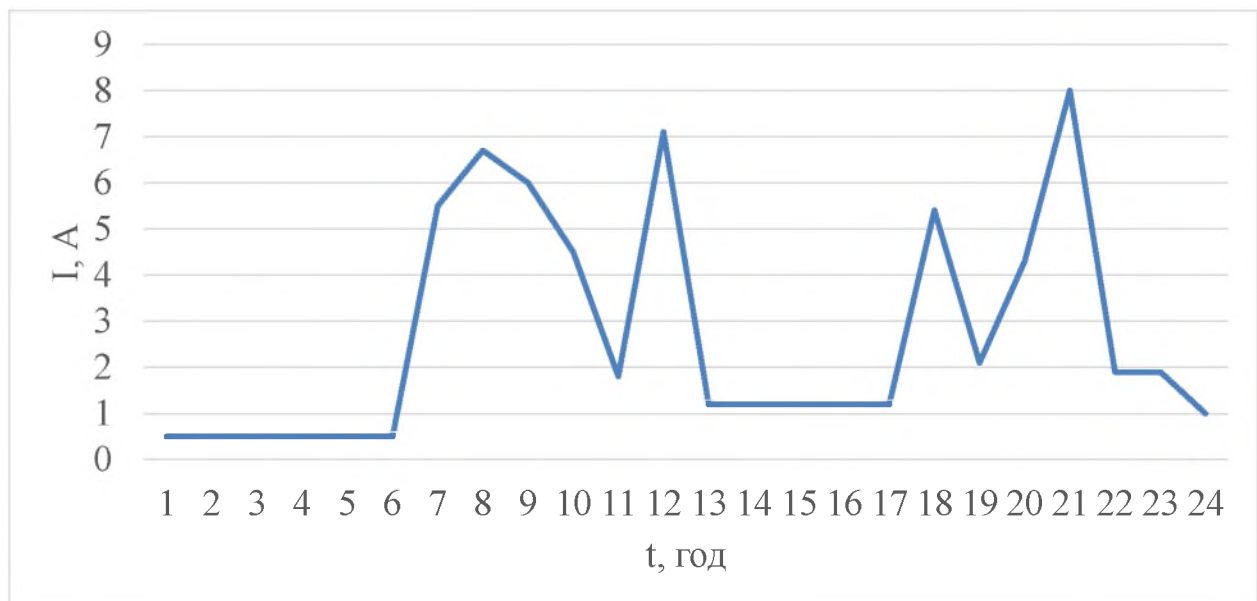


Рисунок 3.3 – Циклограма струму навантаження за 24 години.

ККД для гелевих АКБ дорівнює 75%.

Тоді маємо $Q_{AB.роз.ніч}$ з урахуванням ККД розряду та $T_{ніч} = T_{день} = 12$ годин:

$$Q_{AB.роз.ніч} = \frac{I_{AB.роз.ніч} \cdot T_{ніч}}{\eta_{розряд}} = \frac{20 \text{ А} \cdot 12 \text{ год}}{0,75} = 320 \text{ А} \cdot \text{год}.$$

Розрядна ємність АКБ на навантаження вдень:

$$Q_{AB.роз.день} = I_{сер.роз.день} \cdot T_{день} = 22,5 \text{ А} \cdot 12 \text{ год} = 270 \text{ А} \cdot \text{год}$$

Сумарний заряд, що віддається СП вдень на заряд АКБ та живлення навантаження:

$$\Sigma Q_{CB} = Q_{AB.роз.ніч} + Q_{AB.роз.день} = 320 \text{ А} \cdot \text{год} + 270 \text{ А} \cdot \text{год} = 590 \text{ А} \cdot \text{год}$$

Середнє значення струму сонячної панелі:

$$I_{сер,СП} = \frac{\Sigma Q_{CB}}{T_{день}} = \frac{590 \text{ А} \cdot \text{год}}{12 \text{ год}} = 49 \text{ А}$$

Для підключення 4 сонячних панелей будуть підключені послідовно АКБ по 2 акумулятори. Якщо ємність послідовно з'єднаних АКБ прийняти 100 А·год, а напругу на клеммах 12 В однієї АКБ, то послідовному з'єднанні маємо 24 В відповідно, повна потужність складе:

$$100 \text{ А} \cdot \text{год} \cdot 24 \text{ В} = 2400 \text{ Вт} \cdot \text{год}.$$

За розрахунками максимальний розряд акумуляторів становить 91 А·год.
Тоді маємо

$$100 \text{ А} \cdot \text{год} \cdot 24 \text{ В} \cdot 0,91 = 2184 \text{ Вт} \cdot \text{год}.$$

Виходячи з цього складемо робочу схему підключення всіх сонячних панелей, контролерів заряду/розряду, інвертора та акумуляторів (рис. 3.4).

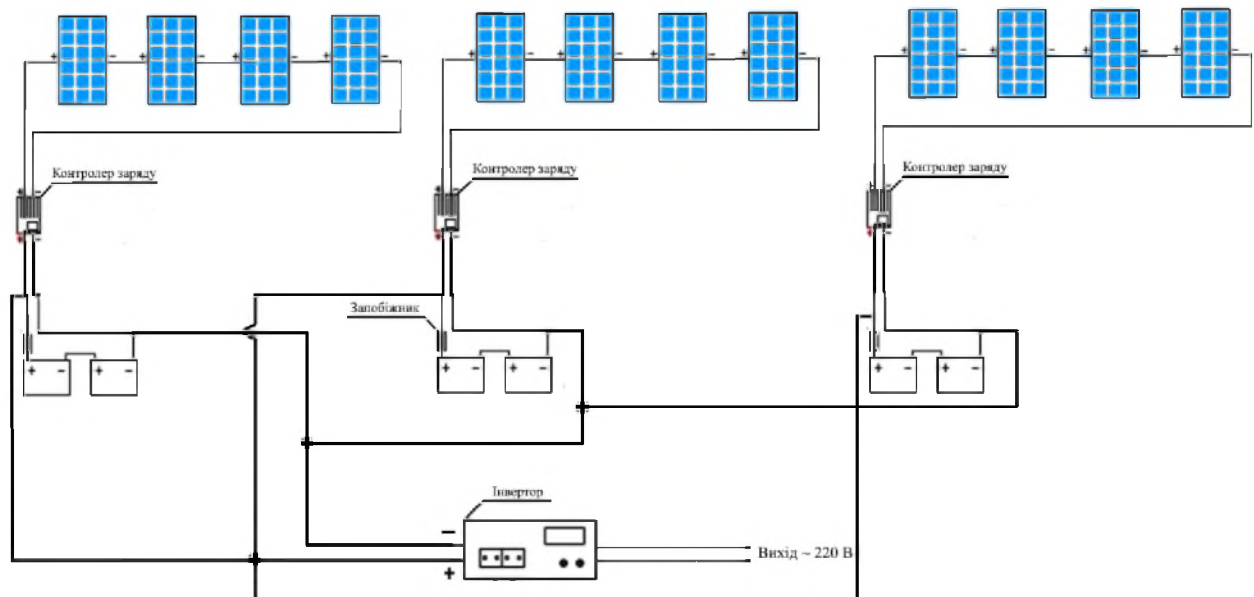


Рисунок 3.4 – Робоча схема з АКБ

За схемою наведеною на рис.3.4 маємо 6 АКБ по 100 А·год.

У такій системі повна ємність складе 6552Вт·год.

Термін служби гелієвих акумуляторів у циклічному режимі роботи залежить від цілого ряду факторів:

- робоча температура навколишнього середовища;
- швидкість розряду;
- спосіб заряду;
- глибина розряду.

Найбільш істотними із них є глибина розряду, оскільки цей чинник впливає термін служби АКБ. На рис. 3.5 надано вплив глибини розряду на кількість циклів роботи гелієвих акумуляторів при циклічному режимі.

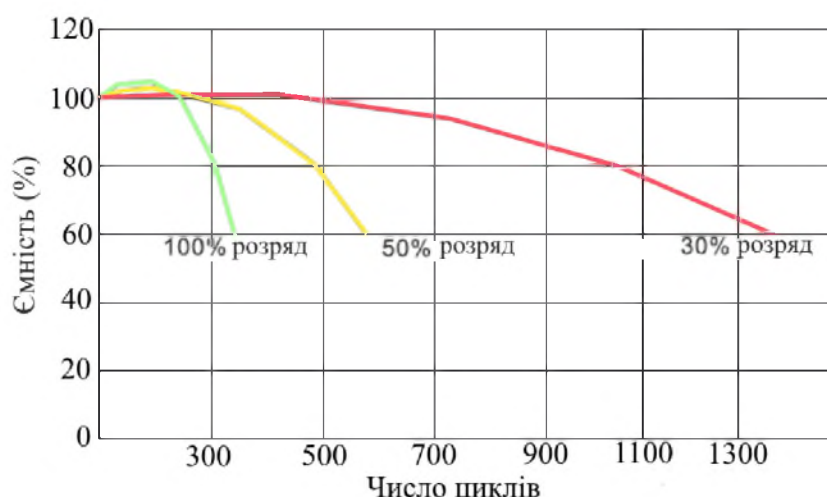


Рисунок 3.5 – Вплив глибини розряду на кількість циклів роботи гелієвих АКБ

Оскільки максимальна глибина розряду становить 91 А·год, то кількість циклів заряду/розряду становить приблизно 400 циклів. Гелієві акумулятори не вимагають зрівняльного заряду, таким чином буферної напруги достатньо, для щоб підтримувати моноблоки повністю у зарядженому стані.

Обираємо гелієвий акумулятор DELTA HR 12-100, 100А·год 12В.



Рисунок 3.6 – Акумулятор DELTA HR 12-100

Модель Delta HR 12-100 – це практично не обслуговуваний акумулятор високої ємності 100 А·год, з номінальною напругою 12 Вольт, який розроблений спеціально системою ДБЖ (UPS). Технічні характеристики акумулятора DELTA серії HR наведені у табл.3.3.

Таблиця 3.3 – Технічні характеристики АКБ Delta HR 12-100

ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ	
Номінальна напруга	12 В
Термін служби	8-12 років
Номінальна ємність (25 °С)	100 А·год
Саморозряд	3% ємності на місяць при 20 °С
ТЕМПЕРАТУРНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ	
Розряд	-20 ~ +60 °С
Заряд	-10 ~ +60 °С
Зберігання	-20 ~ +60 °С
ГАБАРИТИ ТА ВАГА	
Габаритні розміри	330x171x214 мм
Вага	32 кг
Виробник	DELTA
Країна	Китай
Модель	HR 12-100
Термін служби	10 років

Для акумуляторної батареї, яка складається з двох послідовно з'єднаних акумуляторів, тоді ймовірність безвідмовної роботи протягом певного часу автономної роботи t визначається такою формулою:

$$P(t) = e^{-m \cdot \lambda \cdot t} = \frac{1}{e^{m \cdot \lambda \cdot t}}$$

де $P(t)$ – ймовірність безвідмовної роботи;

m – кількість послідовно з'єднаних акумуляторів,

λ – інтенсивність (середня частота) відмов,

t – час роботи - 3 роки.

Ймовірність безвідмовної роботи:

$$P(t) = \frac{1}{e^{2 \cdot 10^{-6} \cdot 26380}} = 0,949.$$

Ймовірність безвідмовної роботи висока і означає, що немає необхідності розробляти методи підвищення надійності АКБ: заміна не раніше, ніж через 3 роки, індивідуальний контроль акумуляторів.

3.3 Вибір та розрахунок суперконденсаторів

Суперконденсатори можуть використовуватися або як основний накопичувач енергії, або як буферний елемент при роботі у зв'язці з основним акумулятором [8]. Зрозуміло, алгоритм вибору суперконденсатора у випадках буде відрізнятися, проте основні кроки будуть приблизно однаковими. Для початку слід визначитися з основними параметрами суперконденсатора – з робочою напругою та з максимальним вихідним струмом [8]. Суперконденсатори не люблять перенапруг, тому при виборі потрібного накопичувача слід подбати про узгодження робочої напруги, для її збільшення робочої напруги можна використовувати послідовне включення суперконденсаторів, проте не слід забувати, що в такому разі ємність зменшуватиметься [8]. Крім того, необхідно передбачити захисні ланцюги для обмеження напруги.

Розряд може відбуватися або з постійним струмом або з постійною напругою.

При розряді із постійним струмом, струм розряду має фіксоване значення, а ємність розраховуватиметься за формулою:

$$C = \frac{I \cdot t}{(U_n - U_{\min})},$$

де U_n – номінальна робоча напруга,

$U_{\min}$ – мінімально допустима напруга,

I – струм розряду (постійна величина у разі),

t – час розряду.

$$C = \frac{100 \cdot 10}{(3,4 - 3,03)} = 2800 \text{ Ф.}$$

При виборі конкретної моделі суперконденсатора необхідно передбачити деякий запас ємності.

Обираємо суперконденсатор фірми “Skeleton Technologies” ємністю 3200 Ф. Зовнішній вигляд наведений на рис. , а технічні характеристики наведені у табл.



Рисунок 3.6 – Зовнішній вигляд суперконденсатора фірми “Skeleton Technologies” ємністю 3200 (Ф)

Таблиця 3.4 – Технічні характеристики суперконденсатора

Виробник	$U_{\text{ном}}$, (В)	C , (Ф)	R , (МОм)	RC , (с)	Пит. ен., $\left(\frac{\text{Вт} \cdot \text{год}}{\text{кг}} \right)$	Пит. п., (Вт/кг)*	Пит. п., (Вт/кг)**	m , (кг)
Skeleton Technol.	3,4	3200	0,47	1,5	9,0	1730	15400	0,40

Виходячи з цього складемо повну схему підключення всіх СП, контролерів заряду/розряду, інвертора, акумуляторів та суперконденсаторів.

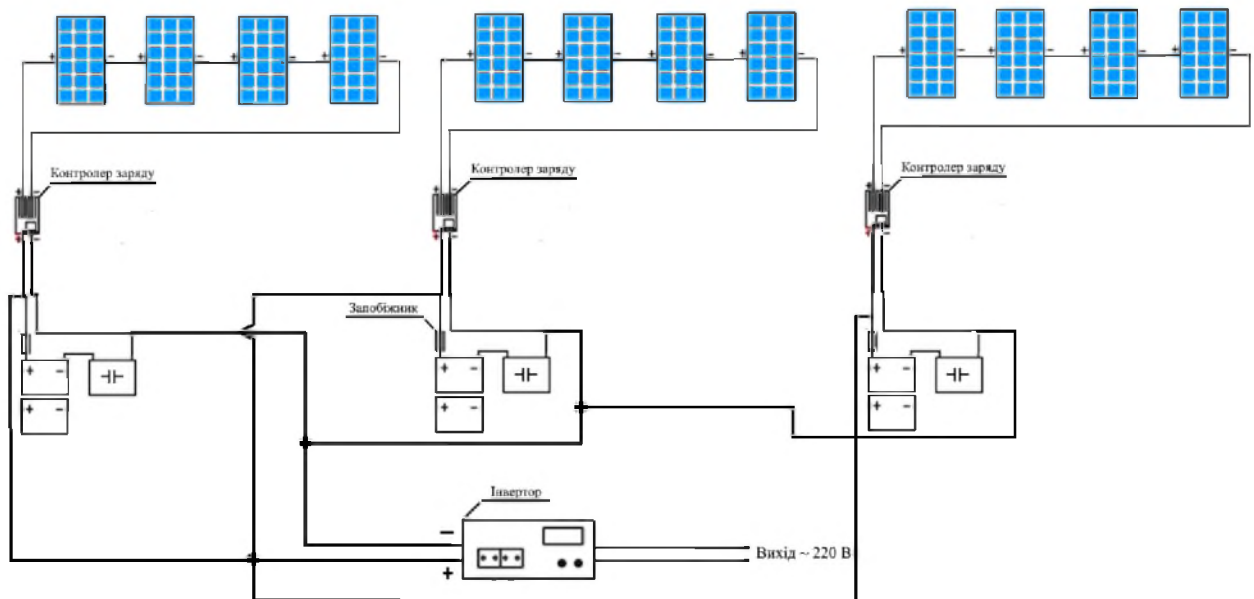


Рисунок 3.7 – Повна робоча схема ФЕС

На рис.3.7 наведена остаточна схема розробленої ФЕС. Її особливістю є використання у складі гібридного накопичувача енергії, який складається з АКБ та блоку суперконденсаторів. Розроблена схема є оптимальною та доцільною як з технічної точки зору так і з економічної. Розробка такої ФЕС має практичне значення і може бути реалізована технічно.

ВИСНОВКИ

В кваліфікаційній роботі було розроблено автономну фотоелектричну станцію з гібридним накопичувачем енергії. Актуальність та економічна доцільність розробки ФЕС підтверджуються енергоефективністю прийнятих рішень та сучасними технологіями і пропозицією рішень існуючої проблематики в енергетичній сфері країни. Ефективність використання сонячних ресурсів для генерації електричної енергії на невеликих сонячних електростанціях дає можливість подальшому розвитку сонячної енергетики задля децентралізації електропостачання споживачів.

Розроблена сонячна електростанція є перспективною на ринку енергоефективних технологій та має великий потенціал з урахуванням вдосконалення технологій в електроенергетиці та електротехніці за рахунок вдосконалення системи зберігання енергії, яка складається з гібридного накопичувача енергії.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Міністерство енергетики України. [Електроний ресурс]. Режим доступу: <http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/uk/doccatalog/list?currDir=50358>
2. Городов, Р. В. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии : учебное пособие [Электронный ресурс] / Р. В. Городов, В. Е. Губин, А. С. Матвеев. – 1-е изд. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2009. – 294 с. – ISBN 5-98298-429-9. Режим доступа : <http://window.edu.ru/resource/549/75549/files/up.pdf>
3. Сошинов А. Г., Угаров Г. Г. Накопители энергии в электроэнергетических системах: Учеб. пособие / ВолгГТУ, Волгоград. – 2007. – 106 с.
4. Алексеев Б.А. Применение накопителей энергии в электроэнергетике / Б.А.Алексеев // Электро. Электротехника, электроэнергетика, электротехническая промышленность. – 2005. – №1. – С. 42 – 46.
5. Марьенков С.А. Гибридный накопитель электрической энергии для сетей с распределенной генерацией на основе возобновляемых источников электрической энергии / С.А. Марьенков // Международный научно-исследовательский журнал. – 2014. – № 2 (56) – С.120 – 123.
6. Козюков Д.А. Гибридные накопители электроэнергии в ветро-солнечных установках / Д.А. Козюков // Международный научный журнал «Инновационная наука». – 2015. – № 7 – С.33 – 35.
7. Лукутин, Б. В. Возобновляемая энергетика в децентрализованном электроснабжении : монография [Электронный ресурс] / Б. В. Лукутин, О. А. Суржикова, Е. Б. Шандарова. – М : Энергоатомиздат. – 2008. – 231 с.
8. [Електроний ресурс]. <http://www.helios-house.ru/on-line-kalkulyator.html>.

ДОДАТОК А. ОХОРОНА ПРАЦІ

Для забезпечення безпеки обслуговуючого персоналу і запобігання пошкодження технологічного обладнання конструкцією кожного елементу сонячної електростанції передбачено комплекс заходів і відповідні системи попередження і захисту, до яких відноситься: - застосування відповідного захищеного електротехнічного обладнання; - система заземлення; - система блискавкозахисту.

Для захисту людей від ураження електричним струмом передбачається захисне заземлення, захисне відключення та вирівнювання потенціалів.

Приймаючи до уваги особливості компоновки обладнання сонячної електростанції, проектом передбачена децентралізована система заземлення, яка захищає від ураження електричним струмом при ударі блискавки та пошкодженні ізоляції електрообладнання.

З метою захисту або мінімізації впливу на електротехнічні, електронні системи і підсистеми та елементи електростанції і забезпечення безпеки обслуговуючого персоналу, при проектуванні передбачені відповідні заходи по блискавкозахисту.

Загальна концепція, згідно якої в конструкції обладнання сонячної електростанції розроблена система протипожежного захисту, передбачає наступні заходи:

- **пасивні** – застосування протипожежних заходів з використанням перегородок та/чи дистанціювання для обмеження границь пожежі;
- **індивідуальні** – використання первинних засобів протипожежного захисту.

Для пожежогасіння застосовується продукція протипожежного призначення, сертифікована в Україні.

Споруди СЕС виконувалися з врахуванням чинних в Україні норм і правил, сейсмічності району, геологічних та гідрогеологічних умов, а також

нормативних і фактичних умов кліматології (снігове і вітрове навантаження, температура, опади та ін.).

Будівельні конструкції і обладнання сонячної електростанції виготовляються із морозостійких матеріалів. Для систем охолодження не застосовуються речовини, які можуть замерзати при низьких температурах.

Споруди електростанції не потребують додаткових заходів щодо захисту від небезпечних природних чинників.

Не передбачається також застосування шкідливих техногенних чинників, що не призводить до погіршення екологічної обстановки в районі розташування Самбірської сонячної електростанції завдяки чому не вимагається застосування спеціальних додаткових заходів (крім передбачених інструкцією самого обладнання) щодо захисту об'єкту від вливу цих чинників.

Сонячна електростанція повинна бути негайно відключена і зупинена дією автоматичних захистів або експлуатаційним персоналом в наступних випадках:

- перевищення температури контрольованих вузлів понад допустиме значення;
- виникнення коротких замикань у системі генерування;
- перевантаження елементів понад допустимі значення;
- виникнення ситуації, небезпечної для обслуговуючого персоналу;
- при несприятливих зовнішніх умовах, у разі несправностей системи діагностики, технологічних і електричних захистів, у випадку сейсмічних та інших природних впливів (обледеніння, град, снігопад), які не перевищують допустимі показники, наведені в заводській документації.

Можливість виникнення та розвитку аварій, які б могли стати ризиком для обслуговуючого персоналу і місцевого населення, залежить від ряду факторів та збігу обставини. До специфічних факторів ризику для здоров'я і безпеки населення, характерних для об'єктів сонячної енергетики відноситься, в основному, несанкціоновані дії сторонніх осіб в охоронних зонах.

Аварійні ситуації можуть виникати при несанкціонованому доступі сторонніх осіб на охоронну зону сонячної електростанції. Для зниження фактору

ризик отримання травм або виникнення інших небезпечних ситуацій при несанкціонованому доступі на охоронні зони і до споруд електростанції проектом передбачено влаштування огорожі по периметру, системи відеоспостереження, сигналізації і освітлення по периметру промайданчика.

При несприятливих метеорологічних умовах (сильні вітри та високі температури навколишнього повітря) в поєднанні з сухою рослинністю існує потенційний ризик виникнення пожежі. Пожежу може спричинити коротке замикання, недостатнє або неякісне технічне обслуговування обладнання, блискавка. Прийняті в проекті обладнання і матеріали сонячної електростанції відповідають міжнародним стандартам, тому фактор ризику виникнення такої надзвичайної ситуації мінімальний.

Виникнення надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру можливе у зв'язку з землетрусом або штормовим посиленням вітру. Усе це може призвести до аварії основного та допоміжного обладнання, виникнення пожежі.

У випадку надзвичайної ситуації (пожежа або загоряння) необхідне застосування негайних заходів для запобігання розвитку аварії, забезпечення безпеки людей, збереження обладнання і відновлення нормального режиму роботи.

На сонячній електростанції після вводу її в експлуатацію повинен бути розроблений план локалізації і ліквідації аварійних ситуацій та аварій (ПЛАС), узгоджений з Державними установами з нагляду за охороною праці, управлінням з питань надзвичайних ситуацій та цивільного захисту населення, установами пожежного нагляду, СЕС.

Заземлення СЕС

Для захисту людей від ураження електричним струмом передбачається захисне заземлення, захисне відключення та вирівнювання потенціалів.

Система заземлення сонячної електростанції складається з окремих заземлюючих контурів (рисунок А1).

Приймаючи до уваги особливості компоновки обладнання вітроелектростанції, проектом передбачена децентралізована система заземлення, яка захищає від ураження електричним струмом при ударі блискавки та пошкодженні ізоляції електрообладнання. Система заземлення розраховується по допустимому опору, який не повинен перевищувати 4 Ом.

Заземлення струмопровідних частин світильників, металевих корпусів стаціонарних електроспоживачів виконується шляхом їх приєднання до захисного РЕ провідника лінії електропостачання.

Вирівнювання потенціалів досягається приєднанням до головної заземлюючої шини металевих трубопроводів, будівельних металоконструкцій, заземлювачів блискавкозахисту, заземлюючих РЕ та PEN провідників і провідників внутрішнього та зовнішнього заземлення.

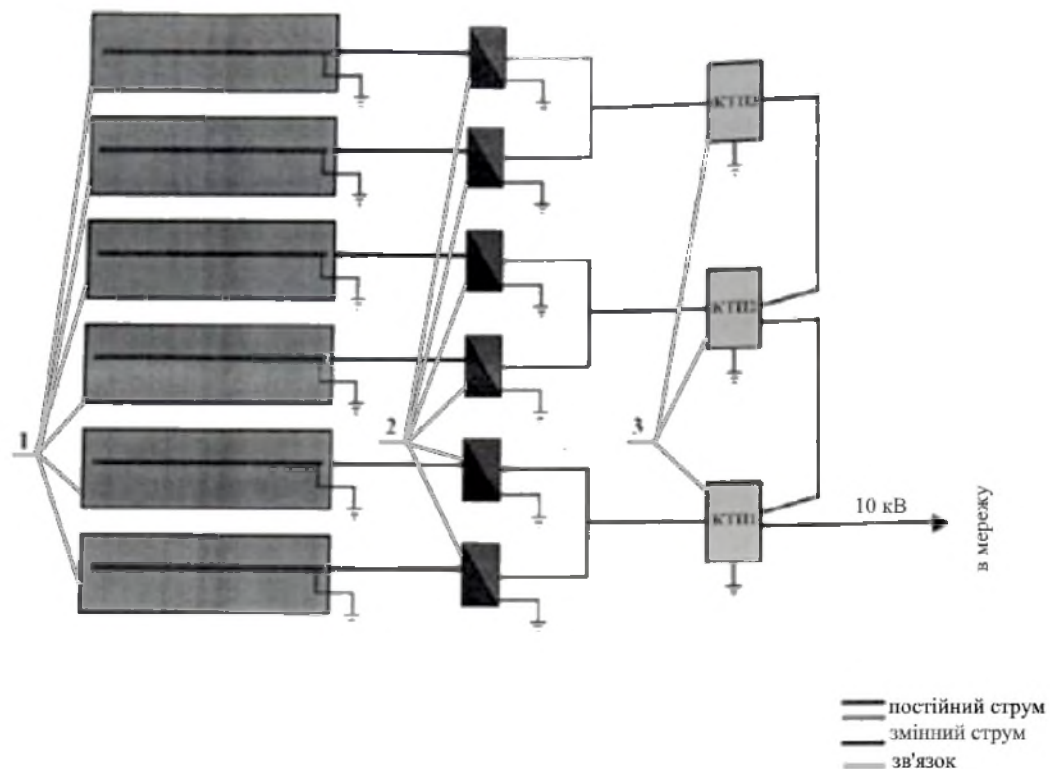


Рисунок А1 – Принципова схема заземлення на проммайданчику сонячної електростанції:

1 – блок генерації постійного струму; 2 – інвертор; 3 – трансформаторна підстанція; 4 – заземлюючий пристрій

Блискавкозахист

З метою захисту або мінімізації впливу на електротехнічні, електронні системи і підсистеми та елементи сонячної електростанції і забезпечення безпеки обслуговуючого персоналу, при проектуванні передбачені відповідні заходи по блискавкозахисту.

Захист від прямих ударів блискавки виконується у відповідності з нормативними вимогами, що враховують категорію блискавкозахисту для окремих споруд.

Система блискавкозахисту призначена для захисту обладнання електростанції від пошкоджень, викликаних ударами блискавки. Система блискавкозахисту складається з п'яти основних частин: · блискавкоприймачів; · системи для передачі струму блискавки до системи заземлення; · захисту від перенапруги і перевантаження по струму; · системи екранування від магнітних і електричних полів; · системи заземлення.

Блискавкозахист трансформаторних підстанцій, інверторів і фотоелектричних панелей здійснюється приєднанням металевих частин обладнання до заземлюючого пристрою. Опір заземлюючих пристроїв в будь-яку пору року не повинен перевищувати 4 Ом.

Фотоелектричні модулі, які встановлюються на відкритому просторі повинні бути забезпечені системою блискавкозахисту. При цьому повинні бути дотримані всі відповідні норми , а саме «Захист фотоелектричних систем від блискавки і перенапруги». Приєднання фотоелектричного модуля до заземлення готується на заводі. Загальний вигляд приєднання до системи заземлення наведено на рисунку А2.

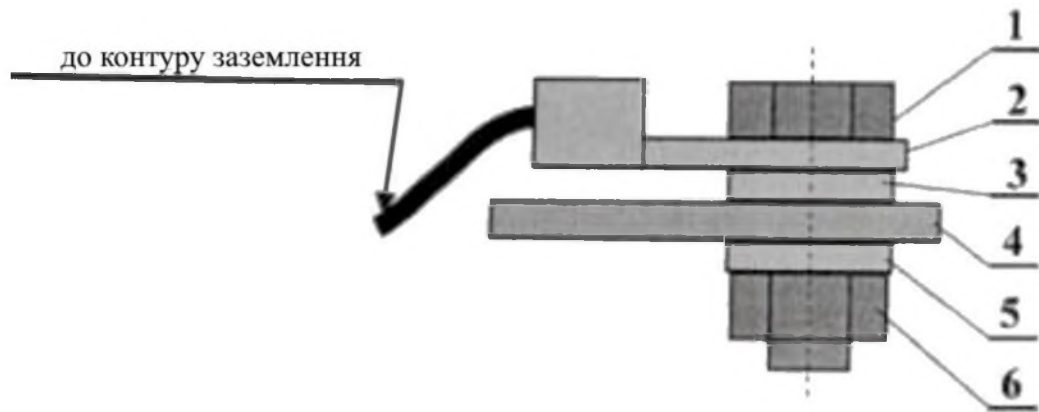


Рисунок А2 – Ескіз загального вигляду приєднання до системи заземлення:

1 – болт; 2 – вушко подібна система; 3 – шайба зубчаста; 4 – корпус фотоелектричного модуля з отвором для заземлення; 5 – шайба фіксуюча; 6 – гайка

Система зовнішнього блискавкозахисту включає наступні основні елементи: - вловлюючі пристрої; - провідники; - пристрої заземлення.

Вловлюючими пристроями, якими обладнано агрегати сонячної електростанції, є блискавкоприймачі.

Заземлюючі електроди виготовляються із сталевого прута з нержавіючої сталі діаметром не менше 30×3 мм. Опір заземлення не повинен перевищувати 4 Ом.

Фундаментні заземлюючі електроди є достатнім захисним заходом при питомому опорі ґрунту не більше 200 Ом. При більшому питомому опорі ґрунту необхідне влаштування кільцевого заземлюючого електроду навколо фундаменту.

З'єднання в системі блискавкозахисту виконуються за допомогою зварювання та болтового кріплення.

Спеціальний захист передбачається для електричних і електронних систем, чутливих до атмосферних електричних розрядів. До спеціального способу

захисту відноситься екранування, еквіпотенціальні з'єднання провідних частин та окремі пристрої захисту від імпульсних перенапруг.

В якості екранування використовуються металеві контейнери, металеві дахи, сталеві каркаси та металеві решітки. З'єднані між собою та приєднані до зовнішньої системи блискавкозахисту, вони утворюють екран від проникнення електромагнітного поля розряду. Додатково використовуються екрани кабелів, металеві труби, металеві корпуси коробів.

Локальне екранування Металеві елементи обладнання утворюють локальне сітчатє екранування, яке має незначний ефект.

Екранування всередині корпусів обладнання реалізоване за рахунок замкнутих металевих рам і металевих площин або за допомогою металевих корпусів пристроїв.

Прокладка та екранування кабелів Магнітне поле, утворене в результаті удару блискавки, редукується тільки за рахунок локального екранування зони блискавкозахисту. Інші напруги і струми, які індукуються в електричних та електронних системах редукуються за допомогою локального екранування, кабельного екранування або комбінацією цих заходів.

Мережі силових і контрольних кабелів всередині та між сітковими з'єднуючими мережами (MESH-BN) безпосередньо приєднуються до загальної мережі (CBN).

Силові кабелі змінного струму і контрольні кабелі прокладаються окремо. Всі кабелі є екранованими, завдяки чому відстані між кабелями можуть бути мінімальними.

Екрани з'єднані як мінімум з обома сторонами рам, або безпосередньо до CBN.

Обслуговування обладнання електростанції

Приймаючи до уваги високу ступінь автоматизації технологічних процесів на базі сучасних апаратурних засобів, чисельність обслуговуючого персоналу прийнята мінімально необхідною.

Для обладнання I-ої черги Самбірської сонячної електростанції-2 передбачається планово-попереджувальна система організації ремонтного обслуговування. Така технологія обслуговування агрегатів дозволить забезпечити досягнення високого коефіцієнту готовності обладнання і зменшити, таким чином, вимушені простої.

Терміни і тривалість ремонтного та експлуатаційного обслуговування обладнання сонячної електростанції установок приймаються згідно даних заводу-виготовлювача основного обладнання.

Ремонтне обслуговування іншого обладнання електростанції планується виконувати в ув'язці з термінами ремонтів основного обладнання.

Ремонт, а також роботи по модернізації і реконструкції обладнання виконується персоналом електростанції із залученням, у випадку необхідності, персоналу сервісного центру компанії-виготовника та персоналу підрядних організацій. При цьому передбачається застосування прогресивних методів організації ремонтних робіт (видача нормованих завдань, комплексна механізація, використання типових технологічних процесів і колективних форм організації праці).