

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

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

(підпис) О. КОЛЛАРОВ
(ініціали, прізвище)
«___» _____ 2023 р.

Кваліфікаційна робота
бакалавра

на тему Розробка гібридної фотоелектростанції із накопичувачами енергії

Виконав студент 4 курсу, групи ЕЛК-19
(шифр групи)
спеціальності підготовки 141 «Електроенергетика, електротехніка та
(шифр і назва спеціальності підготовки)
та електромеханіка»

_____	Ігор КОРОТКОВ	_____
	(ім'я та прізвище)	(підпис)
Керівник	<u>к. т. н., доц., Н. САВЧЕНКО</u>	_____
	(посада, науковий ступінь, вчене звання, ініціали, прізвище)	(підпис)
Рецензент	_____	_____
	(посада, науковий ступінь, вчене звання, ініціали, прізвище)	(підпис)

Нормоконтроль:

_____ Е.НЕМЦЕВ
(підпис)
05.06.2022
(дата)

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

Студент _____
(підпис)
05.06.2022
(дата)

**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)

« » _____ 2023 р.

**ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Ігорю КОРОТКОВУ

(ім'я та прізвище)

1. Тема роботи: Розробка гібридної фотоелектростанції із накопичувачами енергії

керівник роботи Наталя САВЧЕНКО, канд. техн. наук, доцент
(ім'я та прізвище, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від 01.05.2023 № 168

2. Строк подання студентом роботи 05 червня 2022 року

3. Вихідні дані до роботи: База даних середньої інсоляції для
Херсонської області; географічні координати розташування ФЕС: 46.80° пн.ш
32.98° сх.д.; потужність ФЕС: P = 75 кВт

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

1. Аналіз сучасних фотоелектростанцій з системами накопичення енергії.

2. Розрахунок та вибір обладнання ФЕС.

3. Розробка системи керування положенням сонячних панелей.

4. Розробка структури системи накопичення та вибір її складових..

5. 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 – 4	Н. САВЧЕНКО, доц. каф.		
Розділ 5	О.КОЛЛАРОВ. зав.каф		
Нормоконтроль	Е. НЕМЦЕВ, ст.викл.		

7. Дата видачі завдання 05 травня 2023 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Розділ 1	05.05.23 – 12.05.23	
2.	Розділ 2	13.05.23 – 23.05.23	
3.	Розділ 3	24.05.23 – 27.05.23	
4.	Розділ 4	28.05.23 – 31.05.23	
5.	Розділ 5	01.06.23 – 05.06.23	
6.			
7.			
8.			
9.			

Студент _____
(підпис)

Ігор КОРОТКОВ
(ім'я та прізвище)

Керівник роботи _____
(підпис)

Наталя САВЧЕНКО
(ім'я та прізвище)

АНОТАЦІЯ

Ігор КОРОТКОВ. Розробка гібридної фотоелектростанції із накопичувачами енергії / Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «Бакалавр» за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». – ДВНЗ ДонНТУ, Луцьк, 2023.

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

У першому розділі проводиться аналіз сучасних фотоелектростанцій з системами накопичення енергії та перспективи розвитку сонячної енергетики в Україні.

У другому розділі обирається основне обладнання фотоелектростанції, а саме фотоелектричні панелі та інвертори.

У третьому розділі проводиться порівняння та вибір трекерної системи.

У четвертому розділі проводиться розробка системи накопичення.

У додатку А розглянуті питання охорони праці.

У додатках Б, В та Г наведені технічні характеристики інверторів, фотоелектричних панелей та акумуляторних батарей відповідно.

У додатку Д надається графічна частина роботи.

Ключові слова: гібридна фотоелектростанція, фотоелектрична панель, інвертор, система накопичення енергії.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1 АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ФОТОЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ З СИСТЕМАМИ НАКОПИЧЕННЯ ЕНЕРГІЇ	7
1.1 Потенціал та перспективи розвитку альтернативної сонячної енергетики у україні.....	7
1.2 Класифікація фотоелектростанцій	9
1.3 Принцип роботи та класифікація фотоелектричних панелей	12
1.4 Класифікація трекерних систем	13
1.5 Системи накопичення енергії у складі ФЕС	14
1.6 Висновки за першим розділом	17
2 РОЗРАХУНОК ТА ВИБІР ОБЛАДНАННЯ ФЕС	19
2.1 Дослідження впливу кліматичних факторів на енергоефективність ФЕС	19
2.2 Визначення оптимальних кутів нахилу сонячних батарей	21
2.3 Узгодження роботи інверторів та фотоелектричних панелей	23
2.4 Математичне моделювання роботи ФЕС з урахуванням впливу кліматичних умов.....	29
2.5 Висновки до другого розділу	39
3 РОЗРОБКА СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ПОЛОЖЕННЯМ СОНЯЧНИХ ПАНЕЛЕЙ.....	40
3.1 Порівняння та вибір трекерної системи	40
3.2 Керування положенням фотоелектричних панелей	41
3.3 Висновки за третім розділом	44
4 РОЗРОБКА СТРУКТУРИ СИСТЕМИ НАКОПИЧЕННЯ ТА ВИБІР ЇЇ СКЛАДОВИХ	45
4.1 Розрахунок та вибір акумулюючих елементів.....	45
4.2 Структура системи накопичення	49
4.3 Висновки за четвертим розділом	51
ВИСНОВКИ.....	52
ДОДАТОК А. ОХОРОНА ПРАЦІ.....	56
ДОДАТОК Б. ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ІНВЕРТОРА	62
ДОДАТОК В. ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ СОНЯЧНОЇ ПАНЕЛІ.....	63
ДОДАТОК Г. ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ АКУМУЛЮЮЧОГО МОДУЛЯ ТА КОНТРОЛЕРА	64

ДОДАТОК Д. ГРАФІЧНА ЧАСТИНА	65
ДОДАТОК Е. ПЕРЕЛІК ЗАУВАЖЕНЬ НОРМОКОНТРОЛЕРА ДО ДИПЛОМНОЇ РОБОТИ	67

ВСТУП

Існує два основних аргументи щодо актуальності використання альтернативних джерел енергії.

Першим аргументом є глобальне потепління. Згідно річного кліматичного звіту 2021 року опублікованого National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) у результаті вимірювань, які проводились у період з 1880 по 1980 роки, було зафіксовано зростання середньої температури поверхні Землі на 0.08 градусів Цельсія за десятиліття.

Після 1981 року темпи зростання середньої температури збільшились до 0.18 градусів Цельсія за десятиліття і продовжують зростати. Доказом цього є те, що, згідно Глобального кліматичного звіту 2022 року опублікованого NOAA, усі десять найбільших значень зростання середньої температури поверхні за 143 роки вимірювань були зафіксовані після 2010 року.

Учені вважають головною причиною глобального потепління накопичення у атмосфері певних газів, які перешкоджають відбиванню променів Сонця поглинаючи енергію сонячного випромінювання. Такими газами зокрема є вуглекислий (CO_2) та угарний (CO) газ, які утворюються при спалюванні палива, наприклад вугілля, газу, продуктів переробки нафти (бензину, дизелю, мазуту і.т.д).

Другим аргументом є вичерпність горючих копалин. Горючі копалини утворюються у результаті розкладу органічних речовин під дією високого тиску та відносно високої температури протягом мільйонів років. Це означає, що час відновлення їх запасів у надрах є неспіврозмірним із темпами їх споживання.

Використання альтернативних джерел енергії, зокрема сонячної енергії, дозволить скоротити викиди вуглекислого та угарного газів і зменшити залежність від викопного палива.

1 АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ФОТОЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ З СИСТЕМАМИ НАКОПИЧЕННЯ ЕНЕРГІЇ

1.1 Потенціал та перспективи розвитку альтернативної сонячної енергетики в Україні

Сонячне випромінювання впливає на велику кількість природних процесів, тому до сонячної енергетики можна віднести більшу частину методів використання АДЕ. Наприклад, рослини, з яких виробляється біопаливо, утворюють необхідні для росту речовини у процесі фотосинтезу - синтезу органічних речовин із сполук води та карбону діоксиду під дією сонячного випромінювання. Також вітер виникає у результаті нерівномірного нагріву поверхні землі та повітря Сонцем. Тому використання енергії вітру для вироблення електроенергії також можливо віднести до сонячної енергетики.

Проте у даній роботі під "сонячною енергетикою" розуміється використання безпосередньо сонячного випромінювання для вироблення електроенергії. На даний момент, найбільш перспективним напрямком використання енергії сонця для вироблення електроенергії є використання фотоелектричних панелей.

Потенціал використання сонячної енергетики країни оцінюється за кількістю сонячного випромінювання, яке перепадає на її територію. На рис. 1.1 показана мапа потенціалу використання сонячної енергії в Україні.

Середньорічний потенціал України оцінюється у 1235 кВт*год/м^2 , що є достатньо високим показником. Найбільший потенціал до використання фотоелектростанцій мають південні області України, зокрема Одеська, Херсонська, Запорізька області та АР Крим. Фотоелектростанції також можливо встановлювати і в інших областях, проте для побудови комерційних електростанцій найбільш пріоритетними є вище зазначені регіони, оскільки вищі рівні сонячної радіації дозволяють значно скоротити термін окупності.

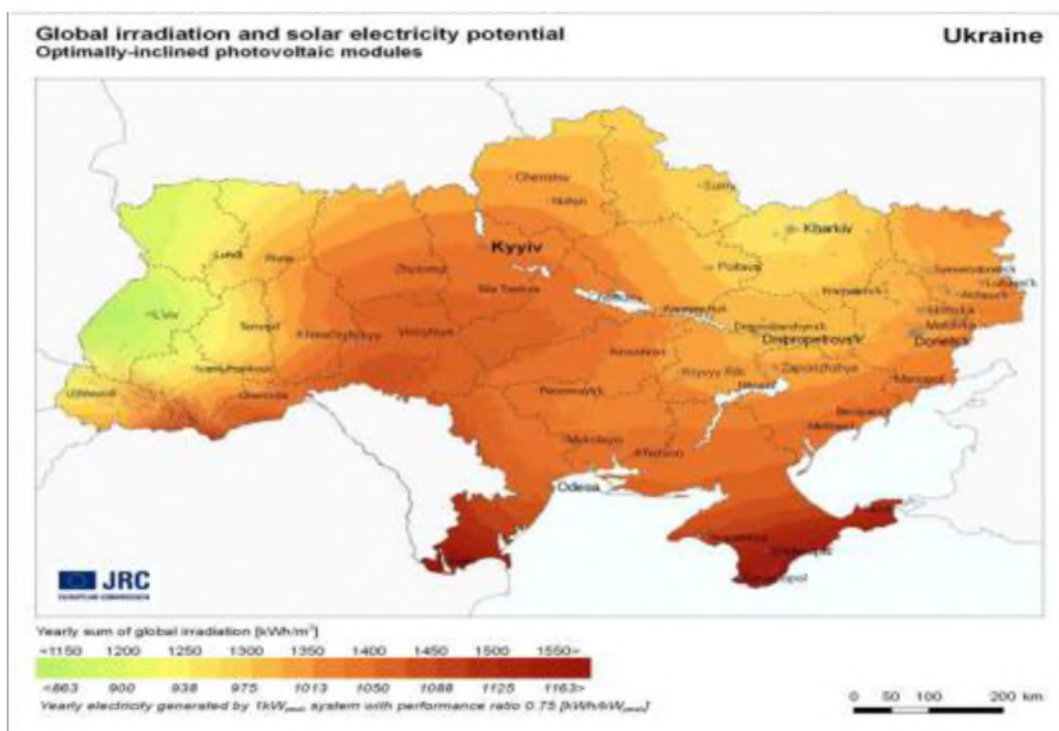


Рисунок 1.1 - Мапа сонячної активності України

Не дивлячись на те, що сонячна енергетика є новою для України галуззю, вона стрімко розвивається. Так, станом на 2021 рік, близько 5 % усієї електроенергії вироблялося сонячними електростанціями.

Говорячи про перспективи використання фотоелектростанцій важливо згадати про високу зацікавленість інвесторів у розвиток даної галузі. Як показано на рис. 1.2, у 2022 році близько 65 % світових капіталовкладень у розвиток АДЕ були направлені на побудову фотоелектричних станцій. Цей фактор є важливим, оскільки відновлення енергосистеми після руйнувань, яких зазнала Україна у результаті збройної агресії Росії, може бути проблемним або неможливим без заохочення міжнародних інвестицій.

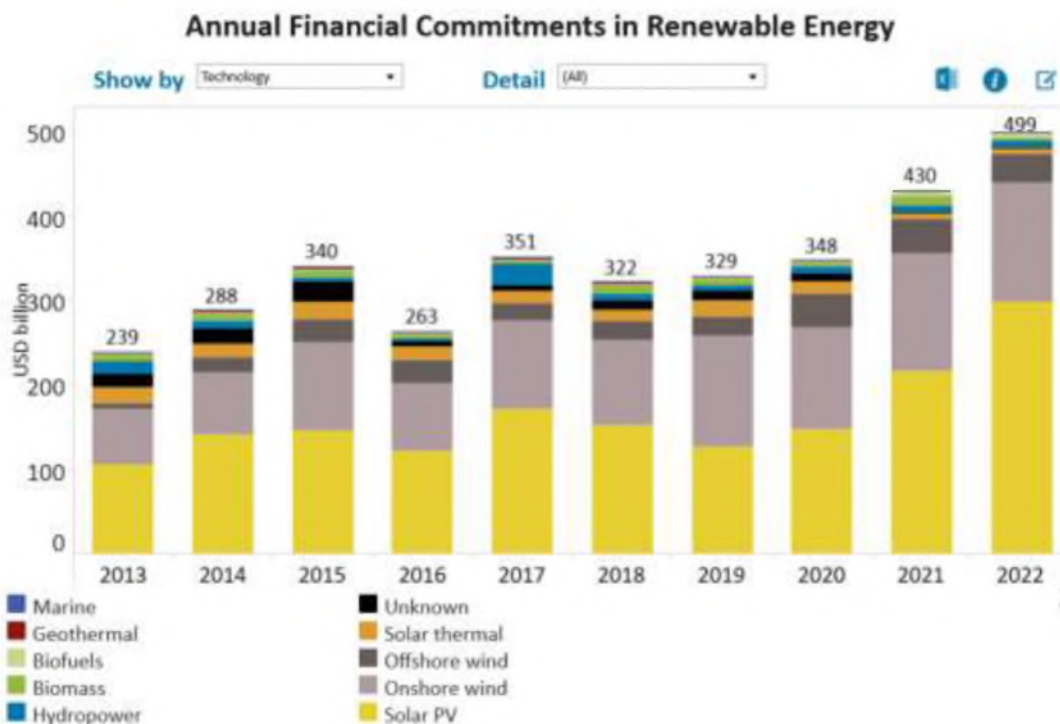


Рисунок 1.2 - Капіталовкладення у розвиток АДЕ у світі (жовтий колір - капіталовкладення у фотоелектростанції)

1.2 Класифікація фотоелектростанцій

Фотоелектростанція - це сукупність споруд та пристроїв, призначених для використання сонячного випромінювання для вироблення електроенергії із використанням фотоелектричних панелей. Найбільш важливою ознакою, за якою класифікуються фотоелектростанції, є залежність від електричної мережі. Усі електростанції даного виду можна розділити на мережеві та автономні (гібридні).

Мережеві фотоелектростанції підключаються до електричної мережі через мережевий інвертор та, якщо виникає необхідність передачі електроенергії на великі відстані, трансформатор. Діаграма простої мережевої електростанції показана на рис. 1.3.

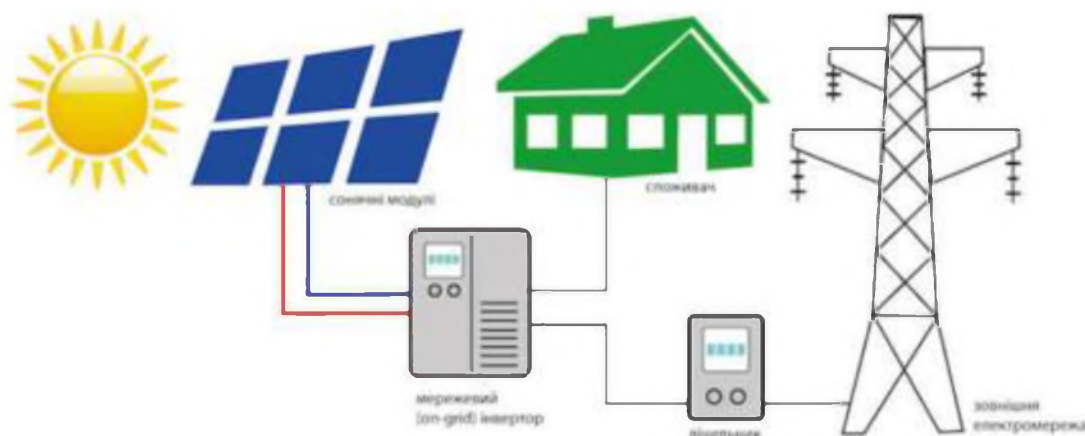


Рисунок 1.3 - Діаграма простої мережевої фотоелектростанції

Автономні електростанції призначені для забезпечення споживача електроенергією незалежно від електричної мережі. Зазвичай, такі електростанції передбачають встановлення накопичувачів енергії. Діаграма простої автономної фотоелектростанції наведена на рис. 1.4.

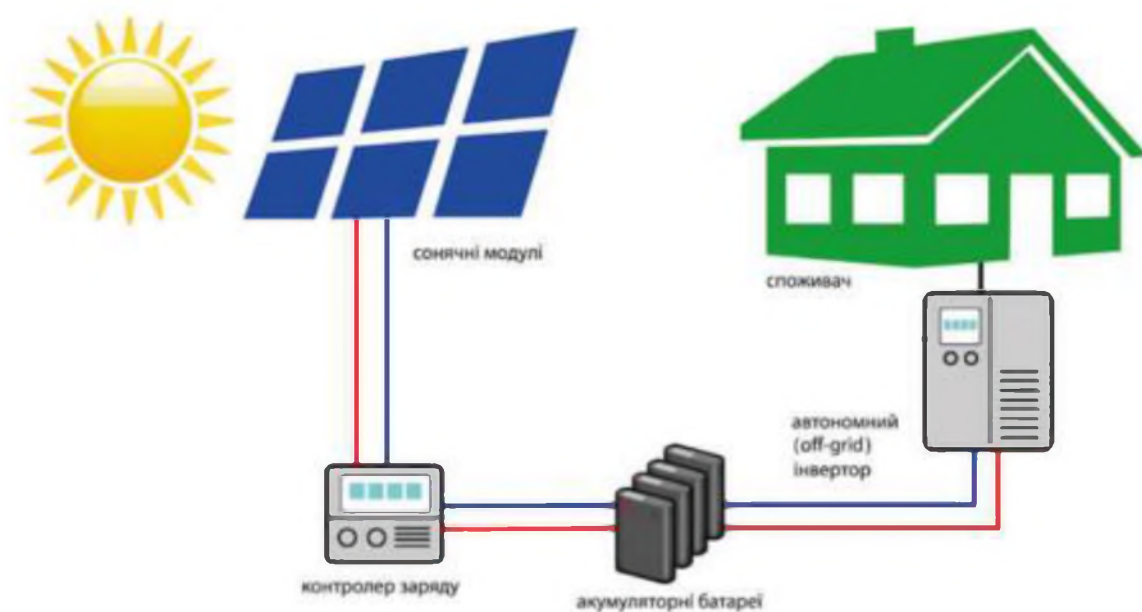


Рисунок 1.4 - Діаграма простої автономної фотоелектростанції

Гібридна фотоелектростанція передбачає встановлення кількох джерел енергії. Первинним джерелом енергії гібридної фотоелектростанції є фотоелектричні панелі. Вторинним джерелом енергії можуть бути дизельні

генератори або електрична мережа. Діаграма простої гібридної фотоелектростанції наведена на рис.1.5.

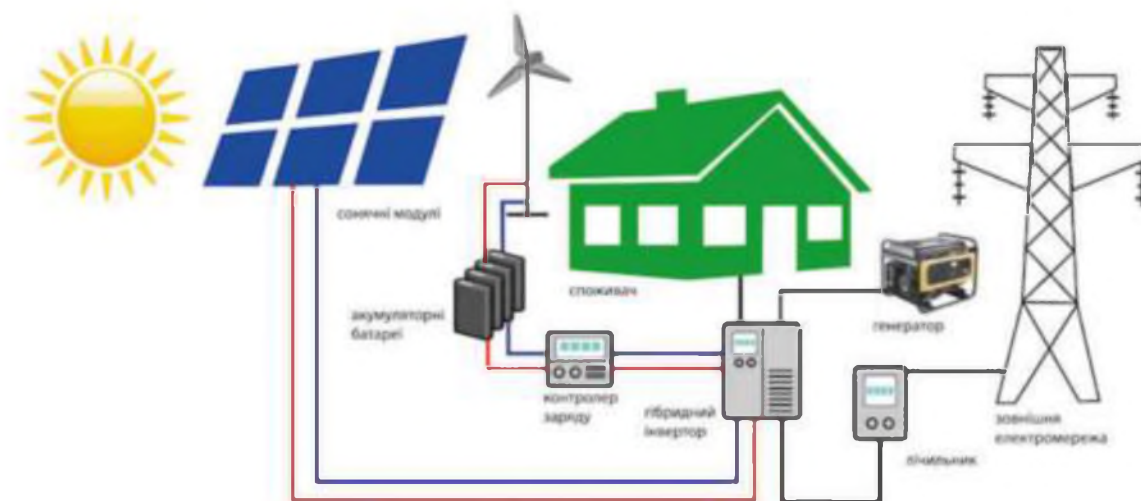


Рисунок 1.5 - Діаграма простої гібридної фотоелектростанції

Усі види фотоелектростанцій передбачають встановлення сонячних інверторів - електричні пристроїв, які, окрім перетворення постійного струму у змінний, виконують функцію стабілізатора напруги та забезпечують захист від перегріву, перевантаження та коротких замикань. Також сонячні інвертори забезпечують неможливість подачі електроенергії на відключену ділянку мережі.

Сонячні інвертори поділяють на мережеві, автономні та гібридні. Мережеві інвертори призначені для фотоелектростанцій, які підключені до електричної мережі та не мають накопичувачів енергії. Автономні інвертори передбачають роботу з акумуляторними батареями, проте не можуть бути підключені до електромережі. Гібридні сонячні інвертори поєднують функції вище згаданих пристроїв.

1.3 Принцип роботи та класифікація фотоелектричних панелей

Сонячна панель являє собою сукупність з'єднаних між собою фотоелектричних комірок. У склад більшості панелей може входити 60, 72 або 90 фотоелектричних комірок.

Фотоелектрична комірка - це пристрій, призначений для перетворення частини енергії інфрачервоних та видимих електромагнітних хвиль у електричну енергію. У основу роботи фотоелектричної комірки покладено ефект, який полягає у "вибитті" фотонами світла електронів з напівпровідників.

За структурою напівпровідник фотоелемента фотоелектричні панелі поділяють на монокристалічні, полікристалічні та тонкоплівкові.

У монокристалічних фотоелементах напівпровідник представляє собою цільний кремнієвий кристал. Фотоелементи цього виду мають найбільший ККД у порівнянні із іншими видами (більше 20 %), але разом із більшою ефективністю даний вид фотоелектричних комірок мають і вищу ціну, оскільки вироблення монокристалів кремнію має великий відсоток браку (не менше 50 %). Також до переваг монокристалічних комірок відноситься більший термін безвідмовної роботи.

Напівпровідники полікристалічних фотоелементів складається з сплавлених між собою кремнієвих кристалів. Вони мають меншу ціну у порівнянні із монокристалічними та ККД у межах 15 - 17 %. Також вони є більш чутливими до високої температури, через що є менш ефективними у гарячому кліматі.

Тонкоплівкові фотоелементи відрізняються низькою вагою та простотою монтажу, проте мають менший ККД у порівнянні із іншими видами (від 6 до 15 % у залежності від матеріалу). На відміну від моно- та полікристалічних панелей, при виготовленні тонкоплівкових, замість кристалів кремнію, використовують кадмій - телурид, аморфний кремній або мідь-індій-галій селенід.

1.4 Класифікація трекерних систем

Окрім інтенсивності сонячного випромінювання, на ефективність вироблення електроенергії фотоелементом впливає також кут між поверхнею цього елемента та променем, який на нього падає. Ефективність сонячної панелі є максимальною, коли вище згаданий кут дорівнює 90^0 , тобто поверхня панелі перпендикулярна сонцю.

Трекерні системи використовуються для зміни положення фотоелектричної панелі у цілях підняття ефективності її роботи.

В залежності від технології трекінгу, трекерні системи поділяються на пасивні та активні.

Пасивні трекерні системи характеризуються корегуванням положення фотоелектричної панелі без використання електроприводів, застосовуючи замість них властивості матеріалів змінювати власний об'єм або агрегатний стан. Такі системи не набули широкого використання через низьку точність корегування положення сонячної панелі та високу залежність від температури середовища.

Активні трекерні системи використовують електричні двигуни для зміни положення фотоелектричної панелі. Положення панелі регулюється контролером, опираючись на показання встановлених сенсорів або на заздалегідь визначені кути нахилу (часовий алгоритм). Також можливо використання часового алгоритму та сенсорів одночасно, що дозволяє точне корегування положення фотоелектричної панелі у випадках, коли сенсор не здатний встановити положення сонця, наприклад, у пахмурну погоду.

За свободою зміни положення трекерні системи поділяються на одноосьові та двохосьові. Одноосьові системи здатні змінювати положення горизонтально (а), горизонтально під нахилом (с) або вертикально (b), що зображено на рис. 1.6.

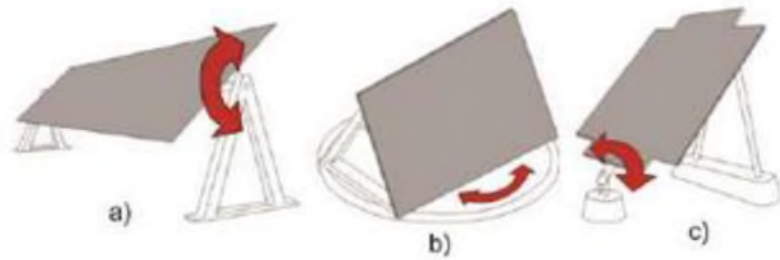


Рисунок 1.6 - Одноосьові трекерні системи

Двохосьові діляться на ті, що змінюють положення фотоелектричної панелі шляхом її нахилу, та ті, що повертають панель по горизонталі та вертикалі.

Встановлення трекерних систем передбачає збільшення вкладів у побудову фотоелектростанції, що, в залежності від місця розміщення, може збільшити термін її окупності, тому рішення про необхідність встановлення цієї системи приймаються виходячи із економічних розрахунків.

1.5 Системи накопичення енергії у складі ФЕС

Накопичувачі електроенергії - це загальна назва для пристроїв, призначених для акумулювання виробленої електроенергії у вигляді хімічної (електроаккумулятори, водневі аккумулятори і т.п.), механічної (пневматичні аккумулятори, маховики і т.д.) та інших видів енергії.

Найрозповсюдженішими накопичувачами електроенергії для фотоелектростанцій є аккумуляторні батареї.

Аккумуляторна батарея - це електро-хімічний пристрій, який призначений для збереження енергії із використанням обернених окисно-відновлювальних реакцій.

Аккумуляторна батарея складається із однієї або багатьох електрохімічних комірок. Електрохімічна комірка представляє собою металеві катод і анод,

розміщені у електроліті. Під час підключення навантаження відбувається відновлювання катоду та окислення аноду, у результаті чого між контактами акумуляторної батареї утворюється ЕРС. Цей процес супроводжується зміною хімічного складу анода та катода або концентрації продуктів хімічної реакції матеріалів, з яких виготовлені електроди, та електроліту у вигляді осаду на їх поверхні.

На сьогоднішній день найбільш розповсюдженими видами акумуляторних батарей є свинцево-кислотні, нікель-кадмієві та літій - іонні.

У свинцево-кислотних акумуляторах у якості анода виступає чистий свинець (Pb), катода - оксид свинцю (PbO_2), електроліту - розчин сірчаної кислоти.

Свинцево-кислотні акумулятори можна розділити на акумулятори із рідким або гелевим (GEL) електролітом та герметичні (AGM). Електролітом у акумуляторних батареях виступає рідкий розчин сірчаної кислоти.

При виготовленні гелевих акумуляторних батарей розчин згущується до вигляду желеподібної маси, що дозволяє запобігти виділенню шкідливих парів та аерозолів під час заряду та розряду батареї та збільшити середню кількість циклів зарядки-розрядки.

Виготовлення герметичних акумуляторів за технологією AGM характеризується використанням пористого матеріалу, який одночасно виконує функції резервуару для електроліту та сепаратора, який розділяє позитивно і негативно заряджений електрод. Даний вид свинцево-кислотних батарей також дозволяє уникнути викидів шкідливих речовин, проте є дешевшим у порівнянні із гелевими акумуляторами. Але середня кількість циклів зарядки-розрядки акумулятора залишається на рівні батарей із рідким електролітом.

У нікель-кадмієвих акумуляторних батареях у якості анода виступає калій-гідрооксид ($Cd(OH)_2$), катода - оксид нікелю (NiO), електроліту - гідрооксид калію (KOH).

До літій-іонних відносяться акумуляторні батареї, катоди якого виконані з матеріалів, у складі яких присутній літій (наприклад, літій-титану($Li_4Ti_4O_{12}$)).

Анод може бути виконаний із літію-титаніду або графіту. У якості електроліту цього виду акумуляторних батарей використовуються літєві солі.

Альтернативою акумуляторним батареям у найближчому майбутньому можуть стати суперконденсатори, проте на даний момент технологія їх вироблення є недосконалою. Енергетична ємність комерційних суперконденсаторів представлених сьогодні не перевищує 10 - 20 % від ємності акумулятора аналогічної ціни.

Роблячи вибір типу акумуляторних батарей важливо урахувати такі параметри, як середня кількість циклів заряду - розряду, робочі температури та ціна.

Нікелеві акумулятори, зазвичай, випускаються із номінальною напругою не вище 12 В і ємністю в середньому 1 А·год. Акумулятори даного виду використовуються для живлення електричних приладів. Через їх порівняно невисоку ємність, використання батарей на основі нікелю у сфері альтернативної енергетики обмежується мініатюрними портативними фотоелектростанціями. Вони мають, в середньому, більшу ціну у порівнянні із акумуляторами еквівалентної ємності, разом з цим гарантують більшу кількість циклів зарядки - розрядки. Також вони мають ширші межі робочих температур (від -30 до 45 °С) у порівнянні із свинцево кислотними (від -20 до 45 °С) та літій-іонними (від 0 до 45 °С).

При побудові великих електростанцій із системами накопичення енергії вибір, зазвичай, стоїть між свинцево - кислотними та літій - іонними акумуляторними батареями.

Свинцево - кислотні акумулятори є найрозповсюдженішим вибором акумулюючих елементів для системи накопичення енергії. Вони мають меншу ціну порівняно з літій - іонними батареями, проте середня кількість циклів зарядки - розрядки не виходить за межі 350 - 500 циклів.

У порівнянні із свинцево - кислотними, літій - іонні акумуляторні батареї мають, у середньому, значно більшу кількість циклів зарядки - розрядки, яка може доходити до 6000 у окремих моделях, мають меншу вагу при однаковій

ємності, можуть мати більшу напругу між контактами, мають більшу глибину розряду, більший допустимий струм заряджання. Проте їх ціна може перевищувати вартість свинцево - кислотних батарей більше ніж у 10 разів. Також варто враховувати, що не всіма сучасними інверторами підтримується робота з літій - іонними акумуляторами. Даний вид акумуляторних батарей доцільно використовувати у системах, які передбачають часте заряджання та розряджання системи накопичення або у портативних електростанціях.

Функцію відстеження заряду акумуляторних батарей та забезпечення коректного режиму їх заряджання виконують контролери заряду. Контролери заряду класифікуються за реалізацією алгоритмів керування зарядом на ON/OFF (підключення та відключення акумуляторних батарей), PWM (після повної зарядки, контролер зменшує струм зарядки батареї, подовжуючи її термін служби) та MPPT (контролер забезпечує найбільш оптимальні умови зарядки акумуляторної батареї).

Використання накопичувачів енергії у електростанціях, які використовують фотоелектричні панелі, дозволяє забезпечення безперервного електропостачання шляхом "покривання" нестачі потужності.

1.6 Висновки за першим розділом

У першому розділі були розглянуті перспективи розвитку сонячної енергетики в Україні, надана класифікація сонячних електростанцій, фотоелектричних панелей та трекерних систем, розглянуті основні види накопичувачів енергії.

Враховуючи кількість сонячної радіації, яка перепадає на територію України, та зацікавленість міжнародних інвесторів можна із достатньою впевненістю сказати, що сонячна енергетика є перспективною галуззю вироблення електроенергії із використанням альтернативних джерел.

Головним критерієм, за яким класифікуються фотоелектростанції, є їх можливість роботи паралельно із електричною мережею. Фотоелектростанції поділяються на мережеві, автономні та гібридні.

Принцип роботи фотоелектричних панелей базується на фотовольтаїчному ефекті - явищі "вибиття" електронів з поверхні металів або напівпровідників. Фотоелектрична панель складається із фотоелектричних модулів, з'єднаних між собою. Фотоелектричні панелі поділяються на полікристалічні, монокристалічні та тонкоплівкові.

В залежності від технології трекінгу, трекерні системи поділяються на пасивні та активні.

Активні трекерні системи за за технологією трекінгу поділяються на ті, що опираються на часовий алгоритм, що використовують світлові сенсори або використовують активні методи. За свободою зміни положення фотоелектричних панелей трекерні системи поділяються на одноосьові та двохосьові.

Серед накопичувачів енергії найбільш широкого використання набули акумуляторні батареї. При побудові гібридних та автономних фотоелектростанцій найчастіше використовують свинцево-кислотні АБ, проте їх місце поступово займають літій-іонні АБ.

2 РОЗРАХУНОК ТА ВИБІР ОБЛАДНАННЯ ФЕС

2.1 Дослідження впливу кліматичних факторів на енергоефективність ФЕС

Серед кліматичних факторів на роботу фотоелектростанції найбільший вплив мають рівень інсоляції та температура.

Інсоляція вимірюється у кіловатах у годину на метр квадратний і вказує на кількість сонячної енергії, яка попадає на один квадратний метр протягом однієї години. Рівень сонячної радіації є одним із головних параметрів, які визначають ефективність роботи сонячної електростанції.

За умови, що сонячна панель знаходиться під оптимальним кутом нахилу, приблизну кількість виробленої електроенергії можливо розрахувати за формулою:

$$W_{\text{феп}} = \frac{S_{\text{п}} \cdot E \cdot \eta \cdot t_{\text{день}}}{1000}, \quad (2.1)$$

де $S_{\text{п}}$ - площа сонячної панелі, м^2 ,

E - поверхнева щільність освітленості, кВт/м^2 ,

η - ККД фотоелектричної панелі,

$t_{\text{день}}$ - тривалість світлового дня, годин.

Також рівень інсоляції впливає на вольт-амперну характеристику фотоелектричної панелі. На рисунку 2.1 показана залежність форми вольт - амперної характеристики від рівня сонячної інсоляції.

З рис. 2.1 видно, що рівень інсоляції при однаковому значенні напруги збільшує значення струму, який видає сонячна панель.

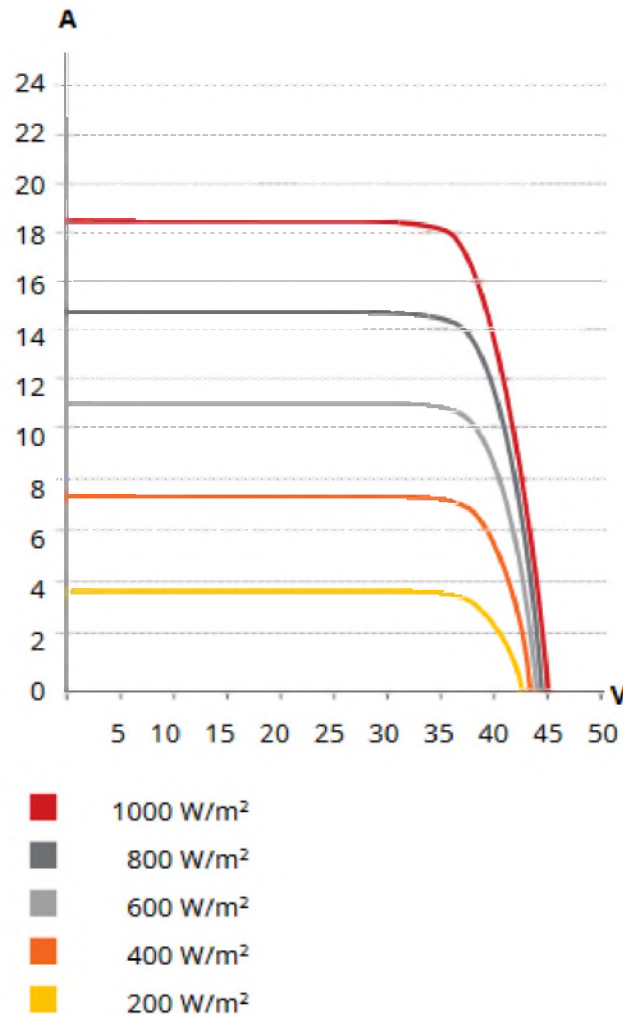


Рисунок 2.1 - Залежність вольт - амперної характеристики від рівня інсоляції

Вплив температури на роботу фотоелектростанції визначається температурними коефіцієнтами фотоелектричної панелі. Температурні коефіцієнти вимірюються у відсотках на градус Цельсія (у деяких виробників - градус кельвіну) і вказують на зміну параметрів струму, який видає фотоелектрична панель, при підвищенні температури на один градус вище $25^{\circ}C$. Температурні коефіцієнти фотоелектричної панелі можливо знайти у її технічній документації.

Залежність вольт - амперної характеристики від температури показана на рис. 2.2.

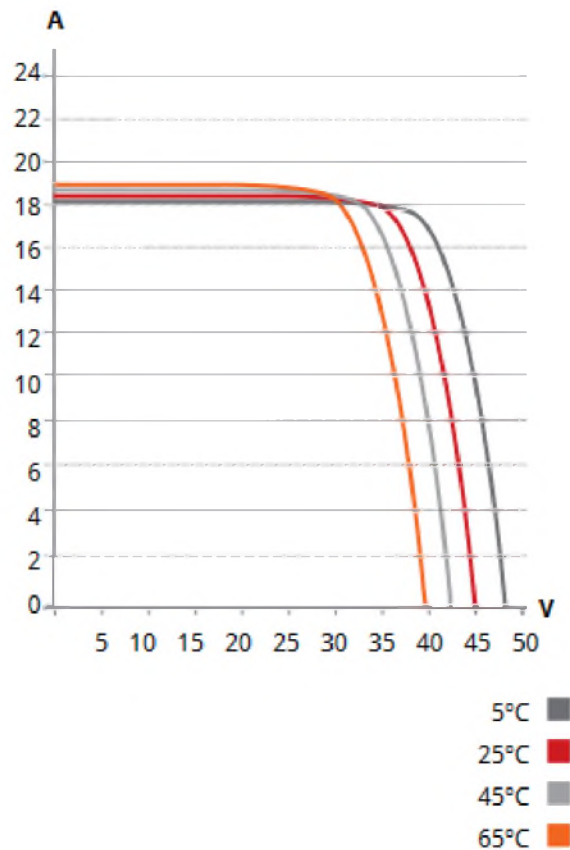


Рисунок 2.2 - Залежність вольт - амперної характеристики від температури.

2.2 Визначення оптимальних кутів нахилу сонячних батарей

Оптимальні куту нахилу сонячних панелей можливо визначити за допомогою програми Solar Tracker. Solar Tracker використовує математичні алгоритми для визначення положення сонця та, виходячи з цього, оптимального куту нахилу сонячних панелей.

Оптимальні кути нахилу сонячних панелей за кожен місяць наведені у табл.2.1, за сезон - у табл. 2.2.

Таблиця 2.1 - Оптимальний кут нахилу по зеніту за місяць

Місяць	По вертикалі	По горизонталі
Січень	67,65	23,35
Лютий	60,13	29,87
Березень	49,19	40,81
Квітень	37,31	52,69
Травень	28,00	62,00
Червень	23,72	66,28
Липень	25,70	64,30
Серпень	33,51	56,49
Вересень	44,81	45,19
Жовтень	56,65	33,35
Листопад	65,85	24,15
Грудень	69,90	20,10

Таблиця 2.2 - Оптимальний кут нахилу по зеніту за сезон

Сезон	По вертикалі	По горизонталі
Зима	58,95	31,05
Весна	29,66	60,34
Літо	34,56	55,44
Осінь	64,11	25,89

Оптимальний кут нахилу по азимуті в обох таблицях дорівнює 180^0 .

Отримані кути нахилу використовуються для налаштування часового алгоритму одно- або двохосової трекерної системи. У якості оптимального куту нахилу фотоелектричних панелей, змонтованих на опорні конструкції, береться середнє значення цих кутів.

2.3 Узгодження роботи інверторів та фотоелектричних панелей

Місце побудови сонячної електростанції - степ у Малоозерському районі Херсонської області. Споживачем електроенергії є місцеве підприємство, яке споживає потужність до 75 кВт. Фотоелектростанція приєднана до місцевої мережі.

Місце побудови фотоелектростанції наведено на рис. 2.3.

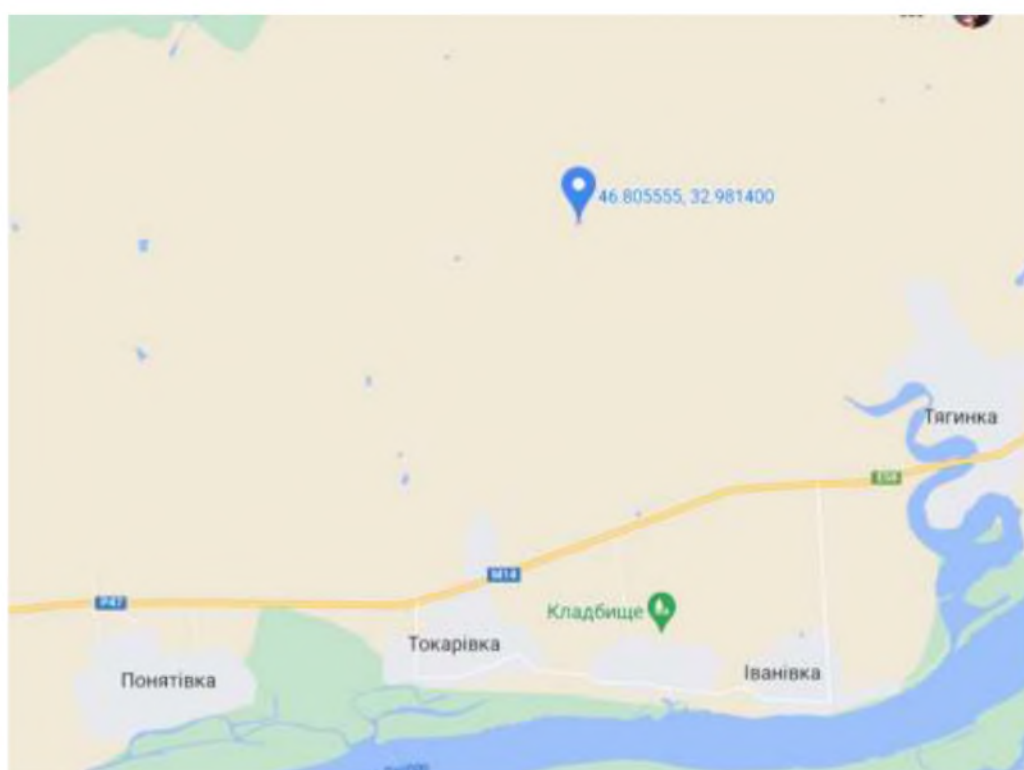


Рисунок 2.3 - Місце побудови фотоелектростанції

Обирається фотоелектрична панель CANADIAN SOLAR CS7N-655W із номінальною потужністю 655 Вт. Панель складається із 132 монокристалічних фотоелементів. Фотоелектричні панелі розміщуються на сонячних трекерах, вибір та моделювання роботи яких проводиться у третьому розділі.

Параметри, які використовуються для узгодження потужності фотоелектричних панелей та інвертора, наведені у табл. 2.1. Інші параметри наведені у додатку В.

Таблиця 2.4 - Параметри фотоелектричної панелі CANADIAN SOLAR CS7N-655W

Назва параметру, одиниця вимірювання	Позначення	Значення
Номінальна максимальна потужність, Вт	$P_{н.феп}$	655
Струм MPP, А	I_{mpp}	17,20
Струм короткого замикання, А	$I_{кз}$	18,43
Напруга MPP, В	U_{mpp}	38.1
Напруга холостого ходу, В	U_0	45,2
Температурний коефіцієнт струму, %/°C	α_T	0,05
Температурний коефіцієнт напруги, %/°C	β_T	-0,26

Для забезпечення потужності 75 кВт мінімальною кількістю фотоелектричних панелей є:

$$N_{min} = \frac{75\,000}{655} = 114,5 \approx 115 \text{ од.} \quad (2.2)$$

Таким чином, приблизна потужність фотоелектростанції при виборі даної моделі фотоелектричних панелей:

$$P_{феп} = 115 \cdot 655 = 75\,325 \text{ Вт.} \quad (2.3)$$

Враховуючи те, що більшість інверторів передбачають роботу із потужністю зі сторони фотоелектричних панелей, яка перевищує номінальну потужність інвертора на 10 %, і при цьому фотоелектричні модулі більшу частину часу виробляють лише 80 % номінальної потужності, доцільно обрати інвертори потужністю 10 кВт та можливістю паралельної роботи.

Обирається інвертор SofarSolar HYD 10KTL-3PH із номінальною потужністю 10 кВт. Особливостями даної моделі інвертора є присутність активного повітряного охолодження, наявність двох інтерфейсів підключення фотоелектричних панелей, що дозволяє під'єднати два ланцюги до одного інвертора, та можливість паралельної роботи до десяти інверторів.

Інвертори монтуються на опорні конструкції під навісом, який призначений для захисту пристроїв від опадів, із лицевою стороною розміщеною перпендикулярно до землі. Для нормального функціонування охолодження інвертори необхідно встановлювати на відстані не менше 20 см відносно один - одного.

Параметри, які використовуються для узгодження потужності фотоелектричних панелей та інвертора, наведені у табл. 2.1. Інші параметри наведені у додатку Б.

Таблиця 2.3 - Параметри інвертора SofarSolar HYD 10KTL-3PH

Назва параметру, одиниця вимірювання	Позначення	Значення
Номінальна потужність, Вт	$P_{н.інв}$	10000
Максимально допустимий струм одного ланцюга фотоелектричних панелей, А	$I_{доп.макс}$	25
Максимально допустима напруга одного ланцюга фотоелектричних панелей, В	$U_{доп.макс}$	1000
Мінімальна стартова напруга, В	$U_{старт}$	200
Діапазон корисних напруг MPP, В	U_{MPP}	180...960

Узгодження потужностей фотоелектричних панелей передбачає вибір кількості фотоелектричних панелей, які під'єднано до інвертора, та схему їх з'єднання.

Як відомо фотоелектричні батареї можуть бути з'єднані паралельно, послідовно та змішано. При паралельному з'єднанні напруга ланцюга залишається постійною, а струм дорівнює сумі струмів усіх панелей, з'єднаних

паралельно. При послідовному з'єднанні струм ланцюга дорівнює найменшому струму окремої панелі у ланцюгу, напруги сумуються. Змішане з'єднання поєднує особливості обох вище згаданих видів з'єднань.

Кількість паралельно з'єднаних фотоелектричних панелей у ланцюзі визначається виходячи з максимального струму, який здатна видати фотоелектрична панель. Оскільки при зростанні температури струм фотоелектричної панелі збільшується, що виражається у додатному знаку перед температурним коефіцієнтом, максимальний струм розраховується при найбільшій температурі поверхні фотоелектричної панелі (для України - 70 °C).

Максимальний струм фотоелектричної панелі розраховується за формулою:

$$I_{\text{макс.феп}} = I_{\text{кз}} \left(1 + (T_p - 25) \frac{\alpha_T}{100} \right), \quad (2.4)$$

$$I_{\text{макс.феп}} = 18,43 \left(1 + (70 - 25) \frac{0,05}{100} \right) = 18,85 \text{ А}. \quad (2.5)$$

Оскільки послідовне з'єднання навіть двох фотоелектричних панелей призведе до перевищення максимального вхідного струму інвертора ($2 \cdot 18,85 = 37,7 > 25 \text{ А}$), усі сонячні батареї у ланцюгу з'єднуються послідовно.

Максимальна кількість послідовно з'єднаних панелей у ланцюзі розраховується виходячи з максимальної напруги фотоелектричної панелі. Напруга фотоелектричної панелі набуває максимального значення при мінімальній температурі фотоелектричної панелі (для України - -25 °C).

Максимальна напруга розраховується за формулою:

$$U_{\text{макс.феп}} = U_0 \left(1 + (T_p - 25) \frac{\beta_T}{100} \right), \quad (2.6)$$

$$U_{\text{макс.феп}} = 45,2 \left(1 + (-25 - 25) \frac{-0,26}{100} \right) = 51,08 \text{ В.} \quad (2.7)$$

Максимальна кількість фотоелектричних панелей розраховується із урахуванням максимально допустимого струму одного ланцюга фотоелектричних панелей за формулою:

$$N = \frac{U_{\text{доп.макс}}}{U_{\text{макс.феп}}} = \frac{1000}{51,08} = 19,6 \text{ од.} \quad (2.8)$$

Округливши результат до найменшого значення, отримаємо максимальну кількість фотоелектричних панелей - 19 штук.

Мінімальна кількість послідовно з'єднаних фотоелектричних панелей розраховується виходячи з мінімальної напруги, необхідної для роботи MPP трекера інвертора, за максимальної робочої температури.

Мінімальна напруга інвертора із урахуванням трекера MPP розраховується за формулою:

$$U_{\text{мін.феп}(MPP)} = U_{\text{mpp}} \left(1 + (T_p - 25) \frac{\beta_T}{100} \right), \quad (2.9)$$

$$U_{\text{мін.феп}(MPP)} = 38,1 \left(1 + (70 - 25) \frac{-0,26}{100} \right) = 33,64 \text{ В.} \quad (2.10)$$

Тоді мінімальна кількість фотоелектричних панелей:

$$N = \frac{U_{\text{доп.макс}}}{U_{\text{макс.феп}}} = \frac{200}{33,64} = 5,94 \text{ од.} \quad (2.11)$$

Округливши результат до більшого значення, мінімальна кількість послідовно з'єднаних фотоелектричних панелей становить 6 штук.

Таким чином, кількість послідовно з'єднаних фотоелектричних панелей у ланцюзі не має виходити за межі 6 - 19 одиниць.

За рекомендацією виробників, навантаження інвертора може знаходитись у межах від 80 до 120 відсотків від номінальної потужності.

Виходячи з цього, допустима кількість фотоелектричних панелей знаходиться з виразу:

$$\frac{P_{\text{н.інв}} \cdot 80}{100 \cdot P_{\text{н.феп}}} \leq N \leq \frac{P_{\text{н.інв}} \cdot 120}{100 \cdot P_{\text{н.феп}}}, \quad (2.12)$$

$$\frac{10\,000 \cdot 80}{100 \cdot 655} \leq N \leq \frac{10\,000 \cdot 120}{100 \cdot 655}, \quad (2.13)$$

$$12,2 \leq N \leq 18,32. \quad (2.14)$$

Округливши отримані результати, отримаємо:

$$12 \leq N \leq 18. \quad (2.15)$$

Номінальна вихідна потужність обраного інвертора становить 10 кВт, тоді для забезпечення споживача необхідною потужністю (75 кВт) необхідно встановити мінімум 7 інверторів. До 4 інверторів буде приєднано по 16 панелей, до інших 3 - 17 панелей.

Таким чином, потужність, яка видається фотоелектростанцією:

$$(4 \cdot 17 + 3 \cdot 16) \cdot 655 = 75,980 \text{ кВт}. \quad (2.14)$$

Кількість фотоелектричних панелей:

$$(4 \cdot 17 + 3 \cdot 16) = 116 \text{ од.} \quad (2.15)$$

2.4 Математичне моделювання роботи ФЕС з урахуванням впливу кліматичних умов

Моделювання роботи сонячної електростанції проводилося із допомогою програмного середовища System Advisor Model (SAM).

SAM - це програма, яка призначена для моделювання роботи електростанцій, які використовують альтернативні джерела енергії, із урахуванням погодних та кліматичних умов.

Моделювання електричної системи у програмі SAM починається із вибору виконавчої та фінансової моделі. Оскільки метою у даному розділі є моделювання роботи безпосередньо системи фотоелектричні панелі - інвертор, обираємо звичайну фотовольтаїчну виробничу модель.

Опція "High Concentration PV" дозволяє змоделювати роботу системи, яка використовує висококонцентраційні фотоелектричні модулі (HCPV).

Виробнича модель "PVWats" дозволяє отримати приблизну потужність фотоелектричної системи. При цьому серед параметрів налаштування моделі необхідно налаштувати лише тип трекерної системи та можливі витрати під час роботи фотоелектростанції.

Модель "Detailed Photovoltaic" дозволяє обрати конкретні моделі фотоелектричних панелей та інверторів із списку або, якщо їх немає у каталогу, ввести їх технічні характеристики, що дозволяє більш точно змоделювати роботу фотоелектростанції, оскільки при цьому можливо урахувати роботу обладнання при різних температурах та погодних умовах. Також дана модель дозволяє обрати кількість панелей у ланцюзі разом із кількістю цих ланцюгів. Виходячи з цього, обирається саме ця виробнича модель.

При виборі фінансової моделі обирається "No Financial Model", тоді при моделюванні фотоелектростанції не будуть розраховуватись витрати на побудову і утримання, термін окупності і.т.д. Причиною цього вибору є те, що

розрахунок фінансової складової побудови фотоелектростанції не є метою моделювання.

Задання параметрів моделі фотоелектричної системи починається з вкладки "Location and Resource", у якій обирається погодний файл, який буде використовуватись при моделюванні роботи фотоелектричної системи.

У погодному файлі знаходиться інформація про рівень сонячної іррадіації, швидкість та напрямок вітру, температуру, відносну вологість, тиск повітря, середню глибину снігу та альbedo.

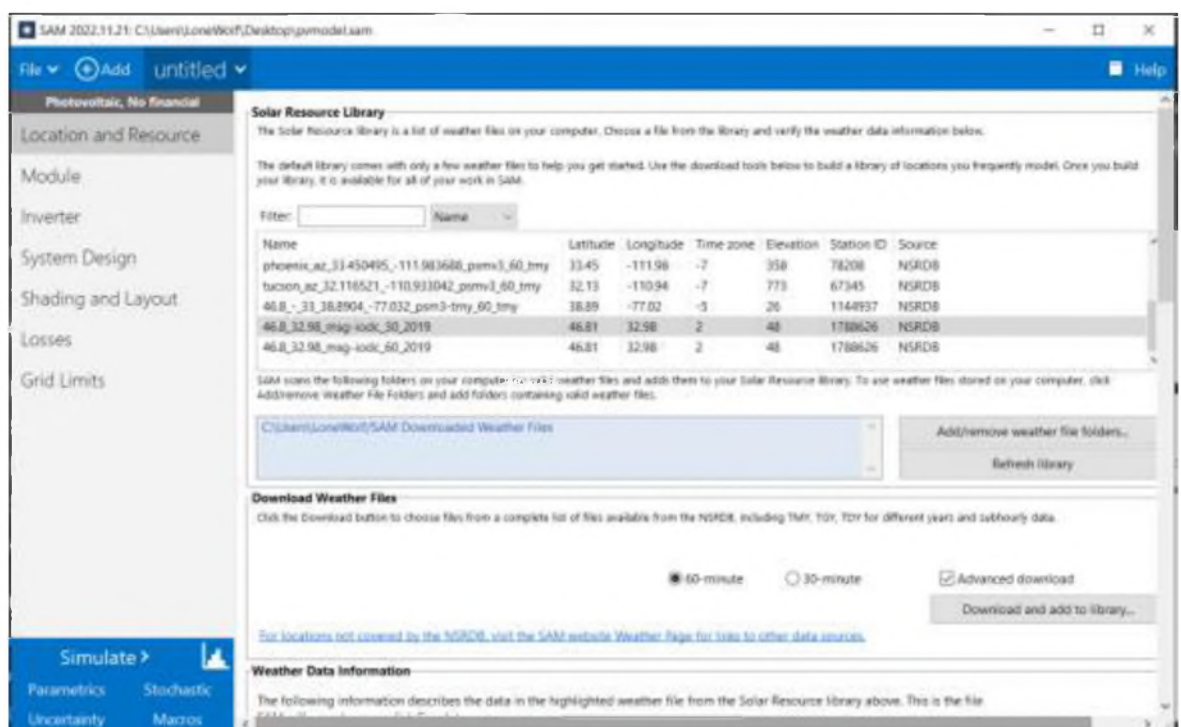


Рисунок 2.5 - Інтерфейс програми SAM

Обраний для моделювання файл має крок значень 30 хвилин. Дані були зібрані протягом 2019 року. Джерелом є National Solar Radiation Database (NSRDB).

Ключові параметри погодного файлу та розраховані середні значення параметрів за рік показані на рис. 2.6. У графі "Location" вказується ID номер метеорологічної станції, покази якої використовувались для визначення погодних умов.

Header Data from Weather File			
Latitude	46.81	degrees	Location 1788626
Longitude	32.98	degrees	Data Source NSRDB
Time zone	GMT 2		
Elevation	48	m	
Time step	30	minutes	

For NSRDB data, the latitude and longitude shown here from the weather file header are the coordinates of the NSRDB grid cell and may be different from the values in the file name, which are the coordinates of the requested location.

Annual Averages Calculated from Weather File Data			
Global horizontal	3.54	kWh/m ² /day	
Direct normal (beam)	4.00	kWh/m ² /day	
Diffuse horizontal	1.30	kWh/m ² /day	
Average temperature	12.4	°C	
Average wind speed	2.0	m/s	

Optional Data	
Maximum snow depth	NaN cm
Annual albedo	0.189

*NaN indicates missing data.

Рисунок 2.6 - Ключові параметри погодного файлу та розраховані середні значення параметрів за рік

Серед розрахованих середніх значень найбільш важливими є середня кількість глобального горизонтального, прямого та розсіяного горизонтального випромінювання за день, оскільки сонячна іррадіація напряму впливає на кількість виробленої фотоелектричними панелями електроенергії.

Як було зазначено у пункті 2.1, температура впливає на роботу фотоелектричних панелей, тому середня температура повітря враховується при моделюванні фотоелектростанції.

Швидкість вітру може вплинути на роботу фотоелектричних панелей, оскільки потік повітря сприяє додатковому охолодженню, що підвищує ефективність роботи фотоелементів.

Сніг може осідати на поверхні фотоелектричної панелі та перешкоджати потраплянню сонячних променів на її поверхню. У даному погодному файлі інформація про середню товщину снігу відсутня, тому цей фактор не буде враховуватись при симуляції.

Альbedo вказує на відношення розсіяного сонячного випромінювання до всього сонячного випромінювання.

Середні значення параметрів призначені лише для надання уявлення про погодні умови ділянки, на якій побудована фотоелектростанція.

Вкладка "Module" призначена для визначення параметрів фотоелектричної панелі. За замовчуванням пропонується обрати модель фотоелектричної панелі з каталогу. Оскільки обраної у пункті 2.3 панелі немає у списку, обираємо опцію "CEC Performance Model with User Entered Specifications", що дозволяє ввести технічні характеристики сонячної панелі вручну і моделювати їх роботу виходячи з цих значень.

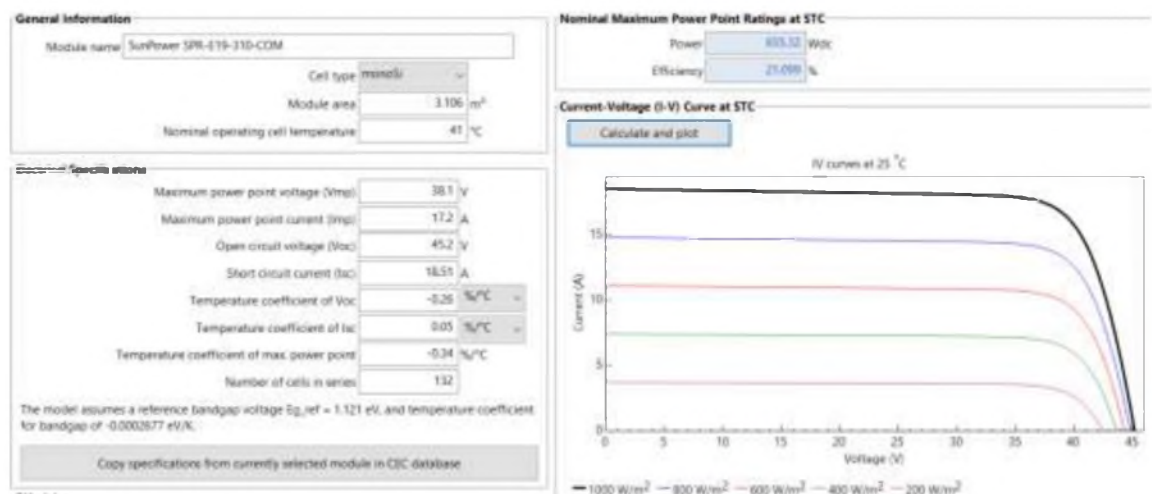


Рисунок 2.7 - Вкладка "Module"

Площа фотоелектричного модуля розраховується виходячи з його довжини (a) та ширини (b), які вказані у додатку В. Площа фотоелектричного модуля дорівнює:

$$S = a \cdot b = 2384 \cdot 10^{-3} \cdot 1303 \cdot 10^{-3} = 3.106 \text{ м}^2. \quad (2.16)$$

Значення інших параметрів береться безпосередньо з технічної документації.

Про правильність ведених значень можна судити зі значень потужності та ККД, оскільки вони розраховуються програмою SAM виходячи з введених даних. Ці значення мають відповідати тим, що вказані у технічній документації сонячної панелі.

У вкладці "Invertor" визначаються параметри інвертора. Як і при визначенні параметрів фотоелектричної панелі, можливо обрати модель інвертора зі списку. Проте моделі обраного у пункті 2.3 інвертора немає у каталогу, тому необхідно ввести його технічні дані вручну.

Inverter Datasheet

Power Ratings

Maximum AC output power: 11000 Wac

Weighted efficiency: 96 %

Manufacturer efficiency: 97.7 %

Maximum DC input power: 11258.956 Wdc

You can specify either a weighted or nominal efficiency. The weighted efficiency can be either CEC or European. The manufacturer efficiency can be either peak or nominal. See Help for details.

Operating Ranges

Nominal AC voltage: 220 Vac

Maximum DC voltage: 1000 Vdc

Maximum DC current: 25 Adc

Minimum MPPT DC voltage: 180 Vdc

Nominal DC voltage: 600 Vdc

Maximum MPPT DC voltage: 960 Vdc

Number of MPPT inputs: 1

Losses

Power consumption during operation: 88 Wdc

Power consumption at night: 2.75 Wac

Suggested value: 88.000, 2.750

If the datasheet does not specify loss values, you can use the suggested values to approximate the losses. See Help for details.

If you are modeling a system with microinverters or DC power optimizers, see the Losses page to adjust the system losses accordingly.

Copy Inverter Specifications from Current Library Selection

Click Copy Specifications to copy inverter data from the inverter currently selected for the Inverter CEC Database option.

Copy specifications

Save / Load Data

Save data to file... Load data from file...

Рисунок 2.8 - Вкладка "Invertor"

Усі параметри інвертора беруться безпосередньо з його технічної документації.

Максимальна вхідна потужність постійного струму - це максимальна потужність, яка може подаватись сонячними панелями, із урахуванням ККД інвертора.

Точні значення втрат потужності під час роботи інвертора та вночі не вказані у технічній документації, тому при симуляції будуть використані запропоновані програмою значення.

Обраний інвертор має два виводи MPPT, проте у відповідній графі вказується 1. Це пов'язано із обмеженням програми SAM.

У вкладці "System Design" визначається сумарні кількості сонячних панелей та інверторів, тип трекерної системи та кути нахилу сонячних панелей.

AC Sizing

Number of inverters: 7

DC to AC ratio: 0.99

Size the system using modules per string and strings in parallel inputs below.

☐ Estimate Subarray 1 configuration

Sizing Summary

Nameplate DC capacity	76.017 kWdc	Number of modules	116
Total AC capacity	77.000 kWac	Number of strings	14
Total inverter DC capacity	78.813 kWdc	Total module area	360.296 m²

System and subarray capacity and voltage ratings are at module reference conditions shown on the Module page.

DC Sizing and Configuration

To model a system with one array, specify properties for Subarray 1 and disable Subarrays 2, 3, and 4. To model a system with up to four subarrays connected in parallel to a single bank of inverters, for each subarray, check Enable and specify a number of strings and other properties.

Electrical Configuration	Subarray 1	Subarray 2	Subarray 3	Subarray 4
	(always enabled)	☒ Enable	☒ Enable	☐ Enable
Modules per string in subarray	8	9	7	
Strings in parallel in subarray	6	6	2	
Number of modules in subarray	48	54	14	
String Voc at reference conditions (V)	361.6	406.8	316.4	
String Vmp at reference conditions (V)	304.8	342.9	266.7	

Рисунок 2.9 - Перша половина вкладки "System Design"

Кількість модулів у ланцюгу та кількість ланцюгів виставляється таким чином, щоб сумарна кількість панелей дорівнювала 116.

У графі "DC to AC ratio" вказується відношення максимального вхідного постійного струму до максимального вихідного змінного струму.

Згідно підрахунків програми SAM потужність, яка видається фотоелектричними панелями у номінальному режимі роботи, дорівнює 76.017 кВт, максимальна потужність, яка видається інверторами у вигляді змінного струму, дорівнює 77 кВт. Максимальна потужність, яка може подаватися на інвертори зі сторони фотоелектричних модулів - 78.813 кВт. Сумарна площа фотоелектричних панелей - 360.296 м².



Рисунок 2.10 - друга половина вкладки "System Design"

SAM передбачає моделювання роботи фотоелектростанції із кількома варіантами встановленої трекерної системи.

Опція "Fixed" передбачає відсутність трекерної системи.

При виборі опції "1 Axis" симулюється трекерна система, у якій сонячна панель знаходиться під постійним нахилом відносно землі і здатна обертатись по осі, прокладеній вздовж сонячної панелі. При виборі даної опції необхідно вказати максимальний кут, на який може обертатись сонячна панель.

"2 Axis" передбачає симуляцію двохосової трекерної системи, у якій сонячна панель "відстежує" положення сонця протягом дня.

При виборі опції "Azimuth Axis" симулюється трекерна система, у якій сонячні панелі обертаються по горизонталі в залежності від положення сонця.

При виборі "Seasonal tilt" нахил сонячної панелі задається вручну для кожного місяця.

Параметр "Ground Coverage Ratio" необхідний для приблизного розрахунку витрат сонячних панелей від самозатінення. Він розраховується як довжина сторони одного ланцюга поділений на дистанцію між низом одного ланцюга та низом сусіднього. Більше значення параметру відповідає більш щільному розміщенню фотоелектричних панелей.

У вкладці "Shading and Layout" можливо визначити втрати сонячних панелей від затінення. При моделюванні цей фактор не враховується, оскільки для забезпечення достатньої точності моделювання необхідно враховувати ландшафт місцевості, що є неможливим без проведення відповідних замірів.

У вкладці "Losses" визначаються інші втрати при роботі фотоелектростанції.

Irradiance Losses
Losses apply to the total solar irradiance incident on each subarray. SAM applies these losses in addition to any losses on the Shading and Snow page.

	Subarray 1	Subarray 2	Subarray 3	Subarray 4
Monthly soiling loss	[Edit values...]	[Edit values...]	[Edit values...]	[Edit values...]
Average annual soiling loss (%)	5	5	5	5
Bifacial rear soiling (%)	0	0	0	0
Bifacial rack shading (%)	0	0	0	0

DC Losses
DC losses apply to the electrical output of each subarray and account for losses not calculated by the module performance model.

	Subarray 1	Subarray 2	Subarray 3	Subarray 4
Module mismatch (%)	1	2	2	2
Diodes and connections (%)	0.5	0.5	0.5	0.5
DC wiring (%)	2	2	2	2
Tracking error (%)	1	0	0	0
Nameplate (%)	0.2	0	0	0
Bifacial electrical mismatch (%)	0	0	0	0
DC power optimizer loss (%)	0	All four subarrays are subject to the same DC power optimizer loss.		
Total DC power loss (%)	4.50%	4.48%	4.48%	4.48%

Total DC power loss = 100% * (1 - the product of (1 - loss/100%))

Default DC Losses
Apply default losses to replace DC losses for all subarrays with default values.

Apply default losses for: ☐ Central inverters ☐ Microinverters ☐ DC optimizers

AC Losses
AC losses apply to the electrical output of the inverter and account for losses not calculated by the inverter performance model.

AC wiring: 1 % of AC output

Рисунок 2.11 - Вкладка "Losses"

Втрати потужності через забруднення поверхні фотоелектричної панелі приймаємо стандартним для всіх місяців року рівним 5 % від загальної потужності фотоелектричних панелей.

Втрати від відмінності виробленого струму між панелями у одному ланцюгу та від помилку трекерної системи приймаємо рівними 1 %, втрати у діодах та приєднаннях - 0.5 %, у проводах - 2 %, втрати, спричинені деградацією фотоелементів - 0.2 %.

Загальна вироблена фотоелектростанцією потужність за кожен місяць показана на рис. 2.12, тепла мапа виробленої електроенергії показана на рис.2.13.

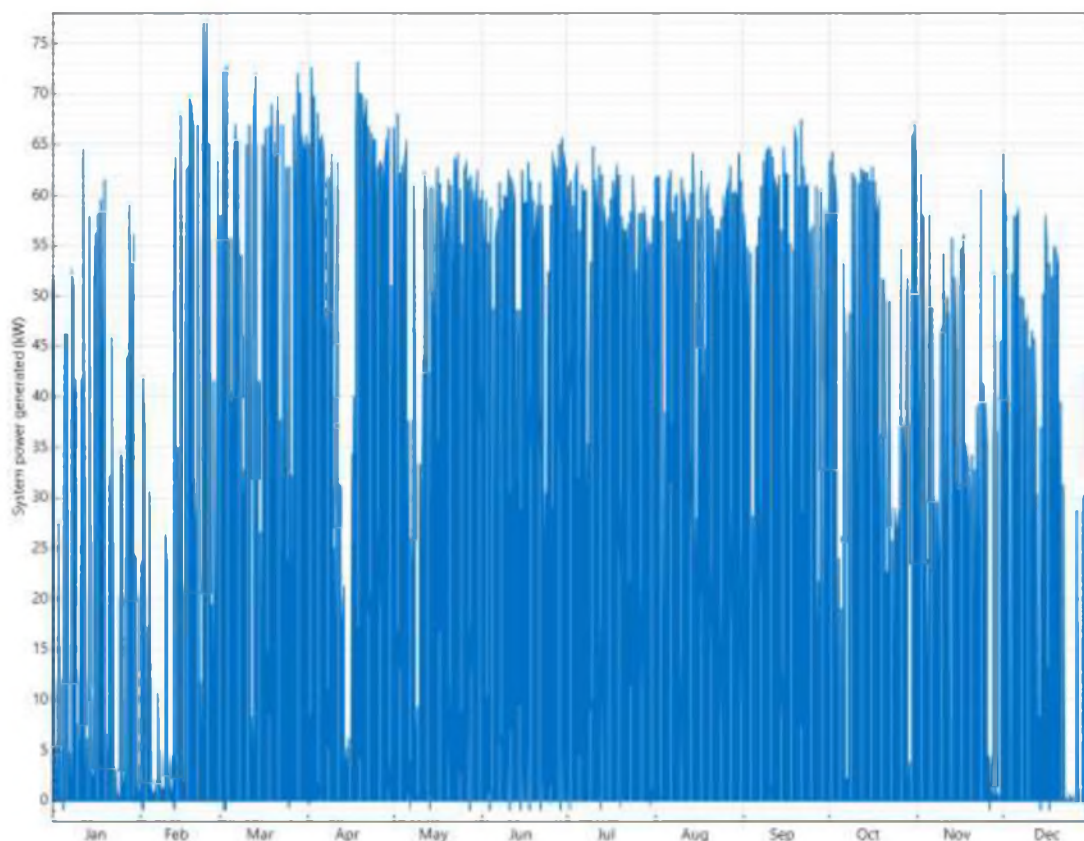


Рисунок 2.12 - Загальна вироблена фотоелектростанцією потужність

Дана діаграма показує сумарну потужність, яка була вироблена електростанцією, за кожен місяць року.

Максимум генерації перепадає на проміжок між 20 та 30 лютого, мінімум - на проміжок між 20 та 30 грудня. Різкі спади генерації, які показані на діаграмі, виникають через несприятливі погодні умови.

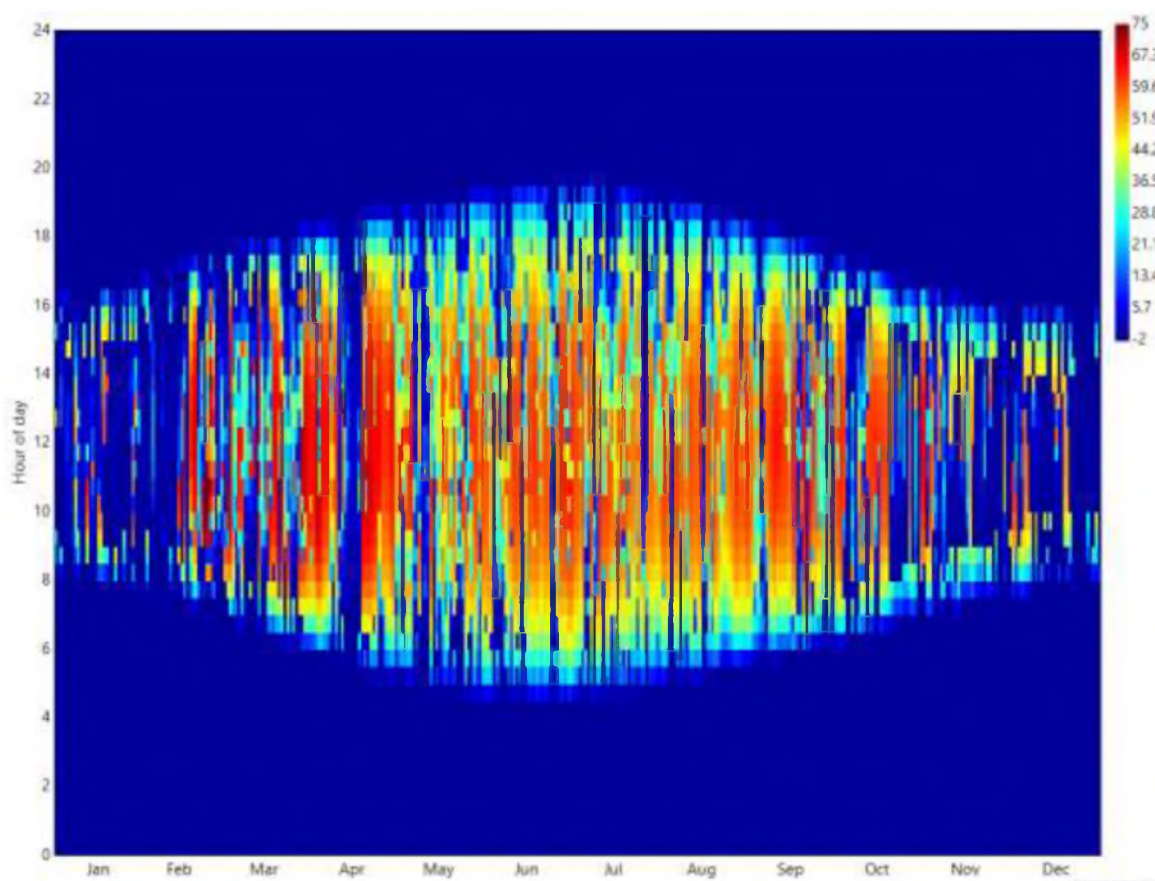


Рисунок 2.13 - Теплова мапа потужності фотоелектростанції

Горизонтальна вісь теплової діаграми позначає місяці, вертикальна - години дня. Більш теплим кольором на мапі відповідає більша генерація потужності.

За допомогою теплової мапи можна наглядно проілюструвати роботу фотоелектростанції, оскільки по ній можливо визначити, окрім безпосередньо згенерованої потужності, на які години приходилася найбільша генерація електроенергії

2.5 Висновки до другого розділу

Найважливішими кліматичними чинниками, які впливають на ефективність роботи фотоелектростанції, є рівень інсоляції та температура. Кількості сонячного випромінювання прямо пропорційна потужність, яка виробляється фотоелектричними панелями. Вплив температури на параметри струму, який видає фотоелектрична панель, визначається згідно температурних коефіцієнтів панелі.

Оптимальний кут нахилу можливо визначити за допомогою програми Solar Tracker. отримані значення можливо використати при встановленні фотоелектричних панелей на статичні опорні конструкції або при налаштуванні часового алгоритму трекерної системи.

Узгодження роботи інвертора та фотоелектричних панелей відбувається виходячи з напруги та струму, які видаються фотоелектричною панеллю, та межами допустимих напруг та струму інвертора. Також необхідно враховувати сумарну потужність фотоелектричних модулів та максимальну потужність інвертора.

Моделювання фотоелектростанції із урахуванням кліматичних та погодних умов можливе у програмі System Advisor Model. Ця програма дозволяє отримати уявлення про роботу фотоелектростанції при реальних умовах, оскільки вона дозволяє врахувати, окрім рівня інсоляції, вплив захмарення, забруднення поверхні фотоелектричних модулів, температури та інших чинників.

3 РОЗРОБКА СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ПОЛОЖЕННЯМ СОНЯЧНИХ ПАНЕЛЕЙ

3.1 Порівняння та вибір трекерної системи

Для оцінки впливу трекерної системи на роботу фотоелектростанції доцільно опиратися на статистику вироблення електроенергії фотоелектростанціями із різними трекерними системами. Проте, оскільки ця інформація, зазвичай, є комерційною таємницею, у цій роботі для порівняння видів трекерних систем буде використана програма SAM.

У цьому розділі буде проводитися моделювання наступних видів трекерних систем: одноосьова із поворотом уздовж вертикальній осі панелі, одноосьова із поворотом відносно азимуті, двохосьова. У якості еталону буде виступати сонячна електростанція із постійним кутом нахилу сонячних панелей. Критерієм порівняння буде виступати відсоток, на який збільшилася середня генерація електроенергії за рік, і який розраховується за наступною формулою:

$$\Delta P_{\%} = \left(\frac{P}{P_{\text{ст}}} - 1 \right) \cdot 100, \quad (3.1)$$

де P - середня потужність, вироблена електростанцією із трекерною системою;

$P_{\text{ст}}$ - середня потужність, вироблена електростанцією без трекерної системи

Для статичних та одноосьових трекерних систем приймається кут нахилу 40° .

Можливість вибору пасивної трекерної системи не розглядається, оскільки подібні системи сильно залежать від температурних умов, через що точність трекінгу може змінюватись залежно від погодних умов.

У таблиці 3.1 наведені результати моделювання.

Таблиця 3.1 - Порівняння роботи різних видів трекерних систем

Вид трекерної системи	Середня вироблена потужність за рік, кВт	Збільшення середньої генерації потужності, %
Статична	10,29	—
Статична із посезонною зміною кутів нахилу	10,35	< 1
одноосьова із поворотом уздовж вертикальній осі панелі	12,94	25,75
одноосьові із поворотом по азимуті	13,00	26,33
двоосьова	13,61	32,26

Встановлення трекерної системи дозволяє збільшити середню потужність, яка виробляється фотоелектростанцією у день за рік у середньому на 26 %. Встановлення двохосьової трекерної системи дозволяє збільшити це значення ще, приблизно, на 8 %.

До встановлення приймається двохосьова трекерна система, оскільки збільшення середньої генерації потужності на 8 % відсотків у порівнянні із одноосьовою системою дозволить скоротити термін окупності електростанції із урахуванням додаткових витрат на встановлення більш комплексної системою трекерів

3.2 Керування положенням фотоелектричних панелей

Трекерна система передбачає одночасне використання світлових датчиків та часового алгоритму. Зміна куту нахилу фотоелектричних модулів по вертикальній площині відбувається за допомогою системи актуаторів. Зміна куту

нахилу відносно азимуту реалізується за допомогою опорно - поворотних пристроїв, які обертають конструкцію по осі стовпа, на який монтуються фотоелектричні панелі.

Основним способом визначення положення сонця є порівняння напруги у ланцюгах із світловими сенсорами (фоторезисторами). Фоторезистори змінюють свій опір в залежності від кількості сонячного випромінювання, яке на потрапляє на них. Через це змінюється напруга у колі. Якщо панель розміщена відносно сонця на 90^0 , тоді напруга у колах, фоторезистори яких розміщені на протилежних сторонах, буде рівною.

Якщо погодні умови не дозволяють використання світлочутливих елементів для відстеження положення сонця, для визначення положення панелі використовуються заздалегідь визначені кути нахилу панелі. У табл. 3.2 наведені значення кутів нахилу по вертикалі та по азимуті сонячних панелей для одного дня літа та зими.

Таблиця 3.2 - Значення кутів нахилу сонячних панелей по вертикалі та відносно азимуту

Час доби	Літо (20 червня)		Зима (20 грудня)	
	Кут по вертикалі	Кут по азимуті	Кут по вертикалі	Кут по азимуті
6:00	81	65	104	109
7:00	71	75	95	119
8:00	62	85	87	130
9:00	51	97	80	142
10:00	41	110	74	155
11:00	32	127	71	169
12:00	25	153	70	183
13:00	23	186	72	198
14:00	27	217	76	211

Продовження таблиці 3.2

Час доби	Літо (20 червня)		Зима (20 грудня)	
	Кут по вертикалі	Кут по азимуті	Кут по вертикалі	Кут по азимуті
15:00	35	240	83	224
16:00	45	255	91	235
17:00	55	268	99	246
18:00	65	278	109	256
19:00	75	288	119	266

Кути були визначені із використанням програми Solar Tracker.

20 грудня та 20 червня є приблизними датами зимового та літнього сонцестояння відповідно.

Оскільки тривалість світлового дня є нерівномірною протягом року, для того, щоб зміна кутів нахилу не відбувалась після заходу сонця, доцільно передбачити переведення системи трекінгу у неактивний режим. Це можливо реалізувати за допомогою зчитування напруги у колах фоторезисторів.

Як відомо, при впливі випромінювання опір фоторезистора знижується, від цього зменшується падіння напруги у колі. Коли сонячне випромінювання відсутнє, опір фоторезистора досягає свого максимуму і напруга у колі досягає значення, за якого трекерна система стає неактивною.

Як було зазначено вище, часовий алгоритм використовується лише коли немає можливості відстежити позицію сонця за допомогою світлочутливих елементів. Тому у визначені кутів нахилу панелей для кожного місяця немає необхідності. Кути для 20 червня використовуються у період з квітня по вересень, для 20 грудня - з жовтня по березень.

Вимірювання напруги у колах з фоторезисторами, керування актуаторами та опорно - поворотними пристроями виконується за допомогою контролера.

3.3 Висновки за третім розділом

Встановлення трекерної системи дозволяє значно підвищити ефективність роботи фотоелектричної електростанції. Двохосьова трекерна дозволяє більш точне регулювання положення фотоелектричних панелей, проте їх встановлення супроводжується більшими витратами на будівництво у порівнянні із одноосьовими.

Двохосьову трекерну систему зі зміною горизонтального положення фотоелектричних модулів можливо реалізувати із використанням фоторезисторів та часового алгоритму. Горизонтальний нахил фотоелектричних панелей регулюється за допомогою актуаторів, поворот відносно азимуту регулюється за допомогою опорно - осьових пристроїв.

4 РОЗРОБКА СТРУКТУРИ СИСТЕМИ НАКОПИЧЕННЯ ТА ВИБІР ЇЇ СКЛАДОВИХ

4.1 Розрахунок та вибір акумулюючих елементів

Використання акумуляторних батарей є найрозповсюдженішим способом збереження енергії виробленої електростанціями, які використовують АДЕ. Зазвичай для побудови системи накопичення фотоелектростанцій використовують гелеві або свинцево - кислотні акумулятори, оскільки вони є відносно дешевими та сумісні із усіма сучасними інверторами.

Обраним у другому розділі інвертором підтримується робота з літіум - іонними акумуляторами, які є значно дорожчими за свинцево - кислотні аналоги, проте є більш довговічними. Також до переваг літій - іонних батарей відноситься більша номінальна напруга у порівнянні із іншими видами АКБ еквівалентної ємності.

Вибір моделі акумулятора та загальної ємності системи накопичення опирається за наступних умов: підприємство працює з 8:00 до 20:00 години, мета включення у склад фотоелектростанції системи накопичення є забезпечення безперебійного живлення, якщо потужність, яка виробляється фотоелектричними панелями, є недостатньою.

Приймається необхідна тривалість забезпечення електроенергією споживача при максимальному навантаженні за рахунок енергії, збереженої у системі накопичення, рівною 8 годин. Максимальним навантаженням вважається задана умовою завдання потужність фотоелектростанції, тобто 75 кВт.

Найбільш розповсюдженим способом створення системи накопичення у системах, які використовують інвертори із номінальною напругою зі сторони системи накопичення вище 48 В, є встановлення готових збірок акумуляторних батарей. Проте, оскільки більшість готових рішень не передбачають детального

регулювання ємності батарей та напруги, доцільно проектувати систему накопичення використовувати окремі високовольтні акумулюючі модулі.

Варто зазначити, що використання звичайних комерційних акумулюючих пристроїв (Pylontech US5000, наприклад) є неможливим, так як для забезпечення мінімальної напруги зі сторони системи накопичення (для обраного інвертора - 200 В) необхідно з'єднати кілька батарей послідовно, що забороняється виробниками для даних видів акумуляторних батарей.

Система накопичення виконується літій - ферум - фосфатними високовольтними акумуляторними модулями Pylontech h48074. Необхідні для розрахунку параметри даних модулів наведені у табл. 4.1, повні технічні характеристики надані у додатку Г.

Таблиця 4.1 - Технічні характеристики акумулюючого модуля h48074

Назва параметру, одиниця вимірювання	Позначення	Значення
Номінальна напруга, В	$U_{\text{АКБ.Н}}$	48
Максимальна напруга, В	$U_{\text{АКБ.М}}$	54
Номінальна ємність, А·год	$C_{\text{АКБ.Н}}$	74
Глибина розряду, %	γ	80

Більша напруга системи накопичення дозволяє зменшити струм, який протікає через інвертори і, таким чином, зменшити температурний вплив на його елементи. Тому розрахунок кількості батарей, з'єднаних послідовно, буде проводитись із урахуванням максимальної напруги інвертора зі сторони системи накопичення. Оскільки фактична напруга акумуляторної батареї може відрізнятися від зазначеної номінальної, доцільно проводити розрахунки використовуючи максимальну напругу батарей в цілях уникнення потенційних аварійних ситуацій у майбутньому.

Кількість акумуляторних батарей, з'єднаних послідовно, розраховується за формулою:

$$N_{\text{АКБ.посл}} = \frac{U_{\text{ІНВ.М}}}{U_{\text{АКБ.М}}} = \frac{800}{54} = 14,81 \text{ од.}, \quad (4.1)$$

де $U_{\text{ІНВ.М}}$ - максимальна напруга інвертора зі сторони системи накопичення.

Округливши отримане значення до найближчого меншого, приймаємо кількість акумуляторних батарей, з'єднаних послідовно, 14 одиниць.

Напруга системи накопичення:

$$U_{\text{СН}} = N_{\text{АКБ.посл}} \cdot U_{\text{АКБ.Н}} = 14 \cdot 48 = 672 \text{ В} \quad (4.2)$$

При розрахунку необхідної ємності системи накопичення важливо враховувати глибину розряду, яка являє собою частину номінальної ємності, яка може бути використана без ризику скорочення терміну безвідмовної роботи акумуляуючого пристрою.

Коефіцієнт, який враховує глибину розряду, розраховується за формулою:

$$K_{\text{гл.роз}} = \frac{100 - \gamma}{100} + 1 = \frac{100 - 80}{100} + 1 = 1,2. \quad (4.3)$$

Необхідна ємність системи накопичення розраховується за наступною формулою:

$$C_{\text{СН.Р}} = \frac{P_{\text{р}} \cdot t_{\text{р}} \cdot K_{\text{гл.роз}} \cdot K_{\text{зап}}}{U_{\text{СН}} \cdot \left(\frac{\eta_{\text{ІНВ}}}{100} \right)}, \quad (4.4)$$

де $\eta_{\text{інв}}$ - ККД інвертора, $\eta_{\text{інв}} = 97,8$

$k_{\text{зап}}$ - коефіцієнт запасу, $k_{\text{зап}} = 1,05$.

$$C_{\text{сн.р}} = \frac{75 \cdot 10^3 \cdot 8 \cdot 1,2 \cdot 1,05}{672 \cdot (97,8/100)} = 1150,3 \text{ А} \cdot \text{год.} \quad (4.5)$$

Таким чином, необхідна кількість паралельно з'єднаних ланцюгів:

$$N_{\text{АКБ.пар}} = \frac{C_{\text{сн.р}}}{C_{\text{АКБ.н}}} = \frac{1150,3}{74} = 15,54 \text{ од.} \quad (4.6)$$

Округливши отримане значення до найближчого більшого, приймаємо кількість паралельно з'єднаних ланцюгів 16 одиниць.

Сумарна кількість акумулюючих модулів:

$$N_{\text{АКБ}} = N_{\text{АКБ.пар}} \cdot N_{\text{АКБ.посл}} = 16 \cdot 14 = 224 \text{ од.} \quad (4.7)$$

Для надання загального уявлення про характеристики розробленої системи накопичення використовуються корисні ємності, тобто ті, що виражають кількість енергії, яка може бути використана безпосередньо для забезпечення споживачів.

Корисна ємність системи накопичення, виражена у амперах у годину та кіловатах у годину відповідно:

$$C_{\text{сн(І)}} = \frac{N_{\text{АКБ.пар}} \cdot C_{\text{АКБ.н}} \cdot \left(\frac{\eta_{\text{інв}}}{100}\right)}{K_{\text{гл.роз}}}, \quad (4.8)$$

$$C_{\text{сн(І)}} = \frac{16 \cdot 74 \cdot 0,978}{1,2} = 964,96 \text{ А} \cdot \text{год}, \quad (4.9)$$

$$C_{CH(P)} = C_{CH(I)} \cdot U_{CH} = 986,67 \cdot 672 = 648,45 \text{ кВт} \cdot \text{год.} \quad (4.10)$$

Час, протягом якого система накопичення здатна надавати 75 кВт потужності:

$$t_{(75\text{кВ})} = \frac{C_{CH(P)}}{C_{CH.P}} = \frac{648,45}{75} = 8,65 \text{ год.} \quad (4.11)$$

4.2 Структура системи накопичення

Контролер заряду обирається виходячи з діапазону робочих напруг та сумісності з обраною моделлю інвертора. Як видно по таблиці сумісності збірок акумуляторних батарей компанії Pylontech, інверторами HYD серії підтримуються готові рішення моделей Powerscube, Які використовують контролери серій SC.

100 - 1000V Energy Storage Solution

Inverter Brand	Inverter Type	Battery	Communication	Application	Key Features		Firmware Ver
					Activation	Force Charge	
Regate Power Technology	ES1 1P/3P 3TL / 4TL	Powerscube 3.1/10VH16-2 Force H16U	CAN	On/off-grid	Yes	Yes	ASH1007AA, ASH1007J, Q1602
	ES2 1P/3P 3TL M / 4TL M		CAN	On/off-grid	Yes	Yes	ASH1007, A, ASH1008J, Q1602
Solo	RS41 1P/3P/5/5-50 series (1)		CAN	On/off-grid	Yes	Yes	V08(1)
Radisson	RS45 5P/5/5-50 series (2)		CAN	On/off-grid	Yes	Yes	QAPPH08H, V11, V11_A
Devo 611	QUS 4P/4 series		CAN	On/off-grid	Yes	Yes	V3.03
Quodon	ENE110T/8P series		CAN	On/off-grid	Yes	Yes	V1.4
EATON	Storage Power IP Series		CAN	On/off-grid	Yes	Yes	V3.08
Solarbala	ES-T Series		CAN	On/off-grid	Yes	Yes	V3.03
Lib Power	Hybrid H8 series		CAN	On/off-grid	Yes	Yes	
Radforce	RS-HV5/3710000(1)		Modbus RTU	On/off-grid	Yes	Yes	V2.0.1
Solo	HYD 1000V/1000V/1000V TL-3P(1)		CAN	On/off-grid	Yes	Yes	V1.0013030 00P_V010027

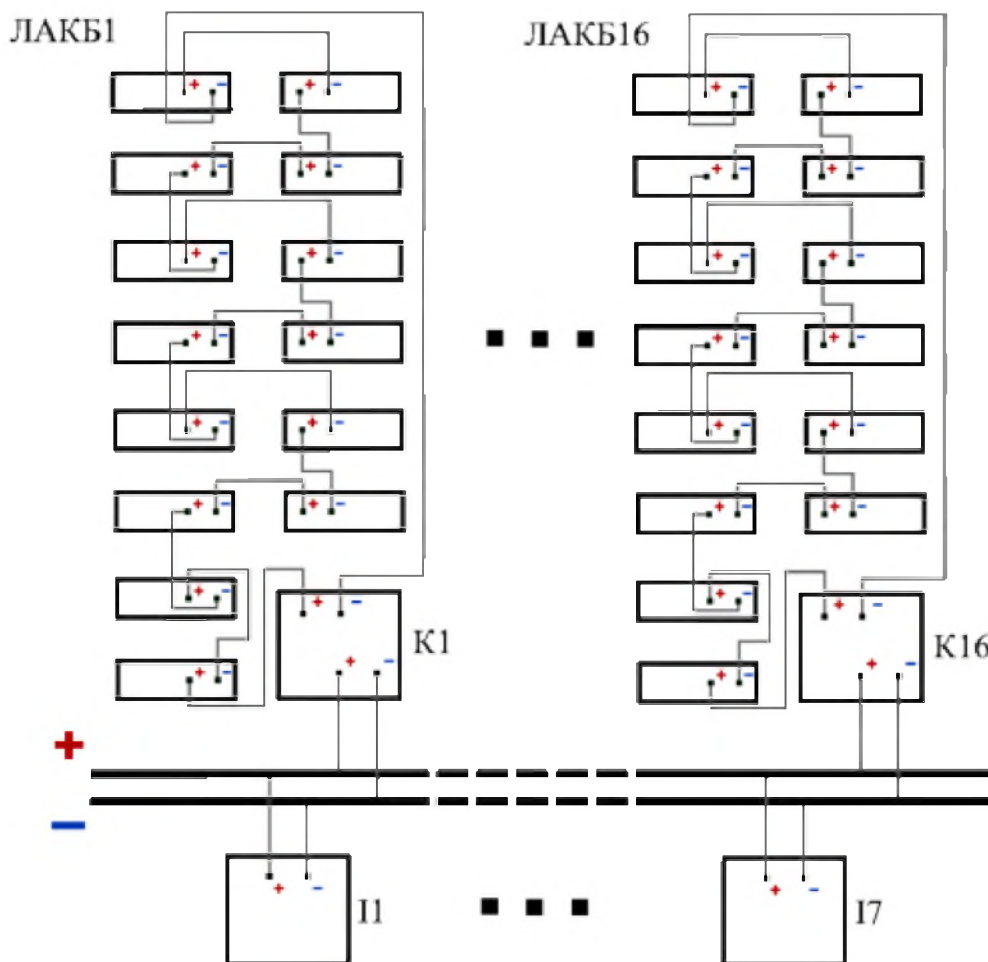
Рисунок 4.1 - Сумісність електрообладнання у системі накопичення

Обираємо контролери заряду SC - 1000 -100S із робочою напругою до 1000 В.

Оскільки система накопичення передбачає паралельне з'єднання ланцюгів, необхідно встановити хаб паралельного з'єднання LV - HUB. Даний пристрій живиться від виводу 12 В головного контролеру.

Ланцюг послідовно з'єднаних батарей приєднується паралельно до входних контактів контролеру. Вихідні контакти приєднуються до спільної із контролерами інших ланцюгів шини, через яку відбувається електричний зв'язок системи накопичення з інверторами.

На рис. 4.2. проілюстровано з'єднання силової частини системи накопичення



ЛАКБ - ланцюг акумуляторних батарей; К - контролер; І - інвертор.

Рисунок 4.2 - З'єднання силової частини системи накопичення

Зв'язок контролерів, батарей, та хабів паралельного з'єднання відбувається через інтерфейс CAN. У системах із одним ланцюгом батарей інтерфейс контролеру можливо підключити безпосередньо до контролеру заряду. Оскільки в даному випадку присутні паралельно працюючі ланцюги, зв'язок із інверторами відбувається через хаб паралельного з'єднання.

4.3 Висновки за четвертим розділом

Вибір акумулюючих пристроїв проводиться із урахуванням напруги інвертора зі сторони системи накопичення та типу акумуляторних батарей, із якими обраний інвертор здатний працювати.

Вибір кількості акумуляторних батарей, з'єднаних послідовно, (ланцюгів) розраховується виходячи із номінальної напруги інвертора зі сторони системи накопичення.

Вибір кількості паралельно з'єднаних ланцюгів акумуляторних батарей розраховується із розрахункового навантаження та часу, протягом якого система накопичення має забезпечувати споживачів електроенергією. При цьому важливо враховувати ККД інвертора та глибину розряду акумуляторних батарей.

Зв'язок системи накопичення та інверторів відбувається за допомогою контролерів заряду. Обрані контролери передбачають зв'язок за допомогою хабу паралельного з'єднання.

ВИСНОВКИ

У результаті виконання дипломної роботи були закріплені та поглиблені знання з проектування енергетичних систем, а саме електричних систем та мереж з альтернативними джерелами енергії.

У першому розділі роботи були розглянуті перспективи розвитку сонячної енергетики в Україні, класифіковані сонячні панелі, трекерні системи, акумуляторні батареї та фотоелектростанції.

У другому розділі було досліджено вплив кліматичних умов на роботу фотоелектростанції, обрані оптимальні кути нахилу сонячних панелей, проведено вибір та узгодження інверторів та фотоелектричних панелей, проведено моделювання роботи фотоелектростанції із використанням програми System Advisor Model (SAM).

У третьому розділі було проведено порівняння впливу різних видів трекерних систем на роботу фотоелектростанції, розроблено систему контролю положення фотоелектричних батарей.

У четвертому розділі було обрані та розраховані акумулюючі елементи системи накопичення та розроблена її схема.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Закон України «Про альтернативні джерела енергії», редакція від 16.07.2015 [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show>
2. Кірейцева Г.В., Веремійчик С.В., ПОТЕНЦІАЛ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ЕНЕРГІЇ СОНЦЯ В УКРАЇНІ, Державний університет «Житомирська політехніка», 2017 р., 6 с.
3. Панченко С. В., Акімов О. І., Бабаєв М. М., Блиндюк В. С., Панченко В. В., Супрун О. Д., Сушко Д. Л., ОСНОВИ БЕЗПЕЧНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЕЛЕКТРОУСТАНОВОК, – Харків: УкрДУЗТ, 2021. – 149 с.,
4. М.О. Іващенко, О.А. Дзюбенко, КОМБІНОВАНИЙ ДВОВІСНИЙ ТРЕКЕР ДЛЯ СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ, 5 с.
5. А.Н.Гребенюк, СПОСОБИ АКУМУЛЯЦІЇ ЕНЕРГІЇ НЕТРАДИЦІЙНИХ ДЖЕРЕЛ, Державний ВНЗ "Національний гірничий університет", 6 с.
6. A STUDY ON THE INFLUENCE OF LOCALITY IN THE VIABILITY OF SOLAR TRACKER SYSTEMS [Електронний ресурс]. режим доступу: https://www.researchgate.net/publication/329624186_A_STUDY_ON_THE_INFLUENCE_OF_LOCALITY_IN_THE_VIABILITY_OF_SOLAR_TRACKER_SYSTEMS#pf2
7. The effect of weather conditions on the efficiency of PV panels in the southeast of UK [Електронний ресурс]. режим доступу: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S096014811400161X>
8. Бацала Я. В., Яремак І. І., Феденько В. Я., ЗАСТОСУВАННЯ СЕРЕДОВИЩА ARDUINO ДЛЯ ТРЕКЕРНИХ СИСТЕМ ФОТОПАНЕЛЕЙ, Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського, 7 с.
9. Global Warming 101 - Definition, Facts, Causes and Effects of Global Warming [Електронний ресурс]. режим доступу: <https://www.nrdc.org/stories/global-warming-101#warming>

10. Fossil Fuels [Електронний ресурс]. режим доступу: <https://ourworldindata.org/fossil-fuels>
11. Solar Energy [Електронний ресурс]. режим доступу: <https://www.irena.org/Energy-Transition/Technology/Solar-energy>
12. Just The Facts: The Cost Of Solar Has Fallen More Quickly Than Experts Predicted [Електронний ресурс]. режим доступу: <https://cleantechnica.com/2022/06/08/just-the-facts-the-cost-of-solar-has-fallen-more-quickly-than-experts-predicted/>
13. Класифікація сонячних електростанцій (СЕС) [Електронний ресурс]. режим доступу: <https://avenston.com/articles/pv-power-plants-classification/>
14. Comprehensive Guide to Solar Panel Types [Електронний ресурс]. режим доступу: <https://aurorasolar.com/blog/solar-panel-types-guide/>
15. LTO Battery Anode Material (Lithium Titanate) | Targray [Електронний ресурс]. режим доступу: <https://www.targray.com/li-ion-battery/anode-materials/lto>
16. Як правильно розрахувати інвертор для сонячних батареї [Електронний ресурс]. режим доступу: <https://solarsoul.net/uk/yak-pravilno-rozrachuvati-invertor-dlya-sonyachnix-batarej>
17. NSRDB [Електронний ресурс]. режим доступу: <https://nsrdb.nrel.gov/data-viewer>
18. What's The Difference Between Wiring Batteries in Series Vs. Parallel? [Електронний ресурс]. режим доступу: <https://battlebornbatteries.com/batteries-in-series-vs-parallel/>
19. What Are Lithium-Ion Batteries? [Електронний ресурс]. режим доступу: <https://ul.org/research/electrochemical-safety/getting-started-electrochemical-safety/what-are-lithium-ion>
20. How does the Lead Acid Battery Work? - Battery University [Електронний ресурс]. режим доступу: <https://batteryuniversity.com/article/bu-201-how-does-the-lead-acid-battery-work>

21. HYD - 10KTL - ЗРН. Мануал користувача, [Електронний ресурс]. режим доступу: https://sun-energy.com.ua/image/pdf/MANUAL-HYD-5-20KTL-ЗРН_20201012.pdf

22. PowerCube-X1. Мануал користувача, , [Електронний ресурс]. режим доступу: <https://e-energy.in.ua/files/pylon-phantom-hv-operation-manual.pdf>

ДОДАТОК А. ОХОРОНА ПРАЦІ

Відповідно до статті 11 Закону України «Про альтернативні джерела енергії» експлуатація альтернативних джерел енергії на об'єктах альтернативної енергетики провадиться за умов:

- 1) безпечного проведення робіт, здійснення державного нагляду за режимами споживання енергії;
- 2) енергетичної безпеки, що гарантує технічне та економічне задоволення періодичних, поточних і перспективних потреб споживачів енергії;
- 3) виконання технологічних вимог щодо виробництва, акумулювання, передачі, постачання та споживання енергії;
- 4) додержання єдиних державних норм, правил і стандартів усіма суб'єктами відносин;
- 5) додержання правил експлуатації об'єктів альтернативної енергетики, що регламентуються нормативно-правовими актами, обов'язковими для виконання всіма суб'єктами підприємницької діяльності.

Відповідно до статті 12 Закону України «Про альтернативні джерела енергії» протиаварійний захист та забезпечення екологічної безпеки при використанні альтернативних джерел енергії здійснюються шляхом:

- 1) запобігання аварійним ситуаціям і ліквідації їх наслідків на об'єктах альтернативної енергетики за рахунок додержання вимог та правил, встановлених відповідно до державних стандартів;
- 2) створення умов для розвитку, підвищення технічного рівня, безпечної експлуатації та охорони об'єктів альтернативної енергетики згідно із законодавством;
- 3) підтримки необхідного балансу потужності та якості енергії, виробленої з альтернативних джерел, для забезпечення надійного і безаварійного функціонування з об'єднаною енергетичною системою України;

4) здійснення нагляду за впровадженням нових систем протиаварійної автоматики та захисту об'єктів альтернативної енергетики, а також засобів зв'язку і диспетчерського (оперативно-технологічного) управління з енергетичними мережами України;

5) здійснення нагляду за експлуатацією систем протиаварійної автоматики та захисту об'єктів альтернативної енергетики від несанкціонованого втручання.

Державний нагляд у сфері альтернативних джерел енергії здійснює спеціально уповноважений центральний орган виконавчої влади у відповідній сфері та інші органи у порядку, встановленому Кабінетом Міністрів України.

Щодо сонячних батарей, то для того щоб система з сонячних батарей працювала і подавала енергію у мережу, потрібно встановити ряд додаткових електроприладів, зокрема: інвертор, що перетворює постійний струм у змінний; акумуляторну батарею, яка повинна накопичувати енергію; контролер заряду акумулятора.

Стационарні акумуляторні батареї розташовують у спеціальних приміщеннях, які відповідають умовам їх безпечної експлуатації. Працювати в акумуляторних дозволяється працівникам, які пройшли інструктаж із безпечного поводження з кислотою, лугом і свинцем. Обслуговування акумуляторних батарей проводять спеціально підготовлені працівники з групою III, які пройшли перевірку знань та інструктаж з безпечного поводження з кислотою, лугом і свинцем.

Акумуляторна має бути завжди зачинена на замок. Особам, які оглядають ці приміщення і працюють у них, ключі видаються на загальних підставах на час огляду або роботи. Перебування в акумуляторній сторонніх осіб (крім працівників) забороняється.

Приміщення для зберігання акумуляторів повинно бути сухим і мати вентиляцію. Акумулятори встановлюються на стелажі або полиці шаф, захищених спеціальним покриттям. В акумуляторній необхідно застосовувати кислотостійкі та лугостійкі фарби. На стінах слід вивішувати плакати та інструкції з правил і заходів безпеки під час експлуатації акумуляторних батарей.

Акумуляторна повинна мати робоче та аварійне освітлення з застосуванням світильників у вибухозахищеному виконанні. Запобіжники, штепсельні розетки, вимикачі та інша комутаційна апаратура встановлюється поза приміщенням. Для аварійного освітлення дозволяється використовувати переносні лампи у вибухозахищеному виконанні з напругою не вище 42 В або акумуляторні ліхтарі. Акумуляторну слід обігрівати паровим чи водним опалюванням або калориферним пристроєм, розміщеним поза приміщенням. Акумуляторні приміщення мають бути обладнані припливно-витяжною вентиляцією з видаленням повітря як з верхньої, так з нижньої частини приміщення. Електропривод вентилятора має бути вибухозахищеного виконання або встановлюватись поза приміщенням акумуляторної. Кислотні й лужні акумуляторні батареї слід розміщувати в різних приміщеннях. Вентиляційні пристрої (повітроводи) цих приміщень об'єднувати забороняється.

Акумулятори, що працюють у режимі розряду, заряд яких проводиться поза місцем їх установа, слід розміщувати у вибухобезпечних і пожежобезпечних приміщеннях (шафах, що вентилуються) за умови установа над ними витяжного вентиляційного пристрою. Герметичні акумулятори можуть розміщуватися у вибухобезпечних і пожежобезпечних приміщеннях без установа спеціальних вентиляційних пристроїв.

В акумуляторних, що мають припливно-витяжну вентиляцію, останню необхідно вмикати перед початком заряджання та вимикати після видалення газу, але не раніше ніж через 1,5 год після закінчення заряджання. Вентиляцію зарядного відділення слід блокувати з зарядним пристроєм так, щоб зарядний струм не подавався до акумуляторних батарей, коли не працює вентиляція.

На входних дверях акумуляторних приміщень мають бути написи «Акумуляторна», «Вогненебезпечно», «Палити заборонено» і «З вогнем не входити». Вхід до акумуляторної має здійснюватися через тамбур. За наявності вікон вони мають бути зашклені непрозорим склом. Поблизу від акумуляторної має бути водопровідний кран (бачок із водою) і раковина.

В акумуляторній забороняється палити, приймати їжу, входити до неї з вогнем, користуватись електронагрівальними приладами, апаратами й інструментами, що можуть креснути іскрою. Після роботи в акумуляторній необхідно вимити руки й обличчя теплою водою з милом і прополоскати рота.

Прилади й обладнання, засоби індивідуального захисту і надання першої допомоги, костюм з грубої шерсті (для робіт з кислотою), бавовняний костюм (для робіт з лугами), гумовий фартух, кислототривкі гумові рукавиці і чоботи, захисні окуляри, нейтралізуючі розчини, аптечку з медикаментами зберігають у шафах і на стелажах. Зберігання в акумуляторних стороннього обладнання й особистих речей забороняється.

На всіх посудинах з електролітом, дистильованою водою і нейтралізуючими розчинами мають бути відповідні написи (назва речовини; на посудинах з електролітом – склад, густина і дата приготування; на інших – призначення).

Паяти пластини в акумуляторній допускається дотримуючись таких умов:

- роботи виконуються за нарядом;
- паяння дозволяється не раніше ніж через 2 год після закінчення заряджання;
- батареї, що працюють за методом постійної підзаряджання, за 2 години до початку робіт переведені в режим розряджання;
- до початку робіт приміщення вентильовалось протягом 2 год;
- під час паяння приміщення безперервно вентильується;
- місце для паяння відгороджене від решти батареї вогнестійкими щитами;
- для запобігання отруєнню свинцем і його сполуками вжито спеціальних заходів безпеки та визначено режим роботи відповідно до інструкцій з експлуатації й ремонту акумуляторних батарей.

Під час роботи в акумуляторній, коли відбувається заряджання або формування батареї, необхідно користуватися респіраторами.

Для переміщення акумуляторних батарей по території та в приміщеннях підприємства слід використовувати спеціальні візки, платформи тощо, які

виключають можливість падіння батарей. Під час перенесення малогабаритних акумуляторних батарей вручну використовуються пристрої (захвати) і додержуються застережних заходів щодо унеможливлення обливанням електролітом.

З'єднувати наконечники акумуляторних батарей дротом «закруткою» забороняється.

Перед підключенням акумуляторних батарей до зарядного пристрою необхідно переконатися в тому, що автоматичні вимикачі мережі вимкнені, а реостати струму навантаження знаходяться в положенні мінімального значення зарядного струму. Керівник робіт зобов'язаний старанно перевірити правильність і надійність з'єднань між окремими акумуляторами і з батарейними шинами.

Для підключення акумуляторних батарей до зарядного пристрою необхідно:

- ввімкнути автоматичний вимикач мережі живлення;
- ввімкнути автоматичний вимикач навантаження;
- встановити ручкою керування регулятора струму зарядного пристрою необхідну величину зарядного струму.

Вимикання акумуляторних батарей від зарядного пристрою проводиться у зворотному порядку.

У процесі заряджання акумуляторних батарей необхідно періодично контролювати величину зарядного струму і стежити, щоб його значення не перевищувало номінальну величину.

Регулювання зарядного струму шляхом зміни опору реостатів гасіння виконується в діелектричних рукавичках.

Кислотні та лугові акумуляторні батареї в польових умовах заряджаються від зарядних електростанцій і випрямних пристроїв.

У працюючих акумуляторів слід періодично прочищати отвори в пробках, оскільки при їх забитті створюється тиск газів в акумуляторі, що може призвести до порушення його стінок.

Безпечне обслуговування акумуляторів всіх типів, у тому числі й імпортованих, здійснюється відповідно до інструкції з їх обслуговування.

Так як до системи з сонячних батарей входять електроприлади (інвертор, контролер), то слід дотримуватись системи засобів і заходів безпечної експлуатації електроустановок.

Ізоляція струмовідних частин забезпечується шляхом покриття їх шаром діелектрика для захисту людини від випадкового доторкання до частин електроустановок, через які проходить струм.

Електрозахисними засобами називаються вироби, що переносяться та перевозяться і слугують для захисту людей, які працюють з електроустановками, від ураження електричним струмом, від дії електричної дуги та електромагнітного поля.

Розрізняють основні й додаткові ізолювальні електрозахисні засоби. До основних належать такі електрозахисні засоби, ізоляція яких протягом тривалого часу витримує робочу напругу електроустановки до 1000 В – діелектричні рукавички, ізолювальні штанги, інструменти з ізольованими ручками, електровимірювальні кліщі, ізолювальні кліщі, показчики напруги; а при роботі в електроустановках напругою понад 1000 В – ізолювальні штанги, струмовимірювальні та ізолювальні кліщі, показчики напруги для фазування.

Додаткові ізолювальні захисні засоби мають недостатні ізолювальні властивості, тому призначені лише для підсилення захисної дії основних засобів, разом з якими вони і застосовуються.

До них належать: при роботах в електроустановках з напругою до 1000 В – діелектричні калоші, килимки, ізолювальні підставки; при роботах в електроустановках з напругою понад 1000 В – діелектричні рукавички, боти, килимки, ізолювальні підставки .

Огороджувальні електрозахисні засоби (щити, ширми, екрани, плакати електробезпеки) призначені для захисту працівників, котрі проводять роботи в електроустановках, від випадкового доторкання чи наближення на небезпечну відстань до струмовідних частин, що знаходяться під напругою.

ДОДАТОК Б. ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ІНВЕРТОРА

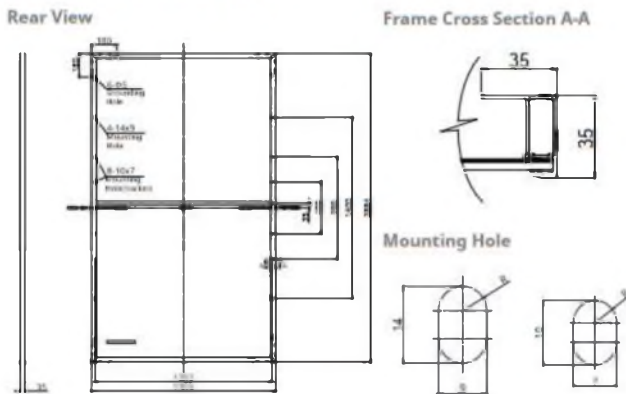
Datasheet	HYD 5KTL-3PH	HYD 6KTL-3PH	HYD 8KTL-3PH	HYD 10KTL-3PH	HYD 15KTL-3PH	HYD 20KTL-3PH
Battery Input Data						
Battery type	Li-Ion					
No. of battery input	1			2		
Battery voltage range	180V-800V					
Battery voltage range for full load	200V-800V	240V-800V	320V-800V	200V-800V	300V-800V	400V-800V
Nominal charging / discharging power	5000W	6000W	8000W	10000W	15000W	20000W
Max. charging / discharging current	25A			50A (25A / 25A)		
Peak charging / discharging current, duration	40A, 60s			70A (35A / 35A), 60s		
Charging strategy for battery	Self-adaption to BMS					
Communication interfaces	CAN(RS485)					
PV String Input Data						
Recommended max. PV input power	7500Wp (6000Wp / 6000Wp)	8000Wp (6600Wp / 6600Wp)	12000Wp (8600Wp / 8600Wp)	15000Wp (7500Wp / 7500Wp)	22000Wp (11250Wp / 11250Wp)	30000Wp (15000Wp / 15000Wp)
Max. DC voltage	1000V					
Start-up operating voltage	200V					
MPPT voltage range	180V-960V					
Nominal DC voltage	600V					
Full power MPPT voltage range	280V-850V	320V-850V	360V-850V	220V-850V	350V-850V	450V-850V
Max. input current	12.5A / 12.5A			25A / 25A		
Max. short current	16A / 16A			30A / 30A		
No. of MPP trackers				2		
No. of strings per MPP tracker	1			2		
AC Output Data (On-grid)						
Nominal AC power	5000W	6000W	8000W	10000W	15000W	20000W
Max. AC power output to utility grid	5500VA	6600VA	8800VA	11000VA	16500VA	22000VA
Max. AC power from utility grid	10000VA	12000VA	16000VA	20000VA	30000VA	40000VA
Max. AC current output to utility grid	8A	10A	13A	16A	24A	32A
Max. AC current from utility grid	15A	17A	24A	29A	44A	58A
Nominal grid voltage	3 / N / PE, 220 / 380Vac, 230 / 400Vac					
Grid voltage range	184Vac...276Vac					
Nominal grid frequency	50 / 60Hz					
Grid frequency range	45Hz...55Hz / 55Hz...65Hz					
Output power factor	1 (0.8 leading to 0.8 lagging)					
Output THDi (@Nominal output)	< 3%					
AC Output Data (Back-up)						
Nominal output power	5000W	6000W	8000W	10000W	15000W	20000W
Max. output power	5500VA	6600VA	8800VA	11000VA	16500VA	22000VA
Peak output power, duration	10000VA, 60s	12000VA, 60s	16000VA, 60s	20000VA, 60s	22000VA, 60s	
Max. output current	8A	10A	13A	16A	24A	32A
Peak output current, duration	15A, 60s	18A, 60s	24A, 60s	30A, 60s	32A, 60s	
Nominal output voltage	3 / N / PE, 220 / 380Vac, 230 / 400Vac					
Nominal output frequency	50 / 60Hz					
Output THDv (@Linear load)	< 3%					
Switch time	< 20ms					
Efficiency						
MPPT efficiency				99.9%		
Euro efficiency	97.5%			97.7%		
Max. efficiency	98.0%			98.2%		
Max. battery charge / discharge efficiency	97.6%			97.8%		
Protection						
DC switch	Yes					
PV reverse polarity protection	Yes					
Output over current protection	Yes					
Output over voltage protection	Yes					
Anti-islanding protection	Yes					
Residual current detection	Yes					
Insulation resistor detection	Yes					
Surge protection level	II					
Battery reverse protection	Yes					
General Data						
Dimension	571.4*515*284.1mm					
Weight	33kg			37kg		
Inverter topology	Transformerless					
Standby self-consumption	< 15W					
Operating temperature range	-30°C...+60°C					
Relative humidity	0...100%					
Noise	< 45dB					
Operating altitude	< 4000m					
Cooling	Natural			Forced airflow		
Protection degree	IP65					
Feature						
DC terminal	MC4					
Grid AC terminal	dP Connector					
Back-up AC terminal	dP Connector					
Display	LCD Display					
Monitoring interfaces	Bluetooth / RS485 / WiFi / GPRS (optional)					
Parallel operation	Yes					
Standard warranty	Standard 5 years					
Certifications & Standards						
EMC	EN60900-6-1, EN60900-6-3					
Safety	IEC62109-1, IEC62109-2, NB-T32004 / IEC62040-1					
Grid	AS / NZS 4777, VDE V 0124-100, V0126-1-1, VDE-AR-N 4105, CEI 0-16 / CEI 0-21, EN50540, G98 / G99, UTE C15-712-1					

The models marked with "*" should be available only for some designated countries.

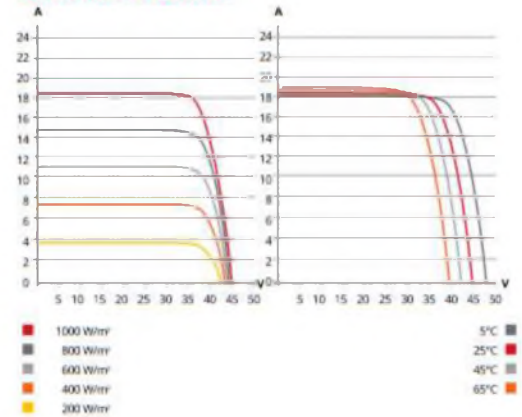
HYD 5K / 6K / 8K / 10K / 15K / 20KTL-3PH_EN_202103_V1

ДОДАТОК В. ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ СОНЯЧНОЇ ПАНЕЛІ

ENGINEERING DRAWING (mm)



CS7N-650MS / I-V CURVES



ELECTRICAL DATA | STC*

CS7N	640MS	645MS	650MS	655MS	660MS	665MS	670MS
Nominal Max. Power (P _{max})	640 W	645 W	650 W	655 W	660 W	665 W	670 W
Opt. Operating Voltage (V _{mp})	37.5 V	37.7 V	37.9 V	38.1 V	38.3 V	38.5 V	38.7 V
Opt. Operating Current (I _{mp})	17.07 A	17.11 A	17.16 A	17.20 A	17.24 A	17.28 A	17.32 A
Open Circuit Voltage (V _{oc})	44.6 V	44.8 V	45.0 V	45.2 V	45.4 V	45.6 V	45.8 V
Short Circuit Current (I _{sc})	18.31 A	18.35 A	18.39 A	18.43 A	18.47 A	18.51 A	18.55 A
Module Efficiency	20.6%	20.8%	20.9%	21.1%	21.2%	21.4%	21.6%
Operating Temperature	-40°C ~ +85°C						
Max. System Voltage	1500V (IEC/UL) or 1000V (IEC/UL)						
Module Fire Performance	TYPE 1 (UL 61730 1500V) or TYPE 2 (UL 61730 1000V) or CLASS C (IEC 61730)						
Max. Series Fuse Rating	30 A						
Application Classification	Class A						
Power Tolerance	0 ~ + 10 W						

* Under Standard Test Conditions (STC) of irradiance of 1000 W/m², spectrum AM 1.5 and cell temperature of 25°C.

ELECTRICAL DATA | NMOT*

CS7N	640MS	645MS	650MS	655MS	660MS	665MS	670MS
Nominal Max. Power (P _{max})	480 W	484 W	487 W	491 W	495 W	499 W	502 W
Opt. Operating Voltage (V _{mp})	35.2 V	35.3 V	35.5 V	35.7 V	35.9 V	36.1 V	36.3 V
Opt. Operating Current (I _{mp})	13.64 A	13.72 A	13.74 A	13.76 A	13.79 A	13.83 A	13.85 A
Open Circuit Voltage (V _{oc})	42.2 V	42.3 V	42.5 V	42.7 V	42.9 V	43.1 V	43.3 V
Short Circuit Current (I _{sc})	14.77 A	14.80 A	14.83 A	14.86 A	14.89 A	14.93 A	14.96 A

* Under Nominal Module Operating Temperature (NMOT), irradiance of 800 W/m², spectrum AM 1.5, ambient temperature 20°C, wind speed 1 m/s.

MECHANICAL DATA

Specification	Data
Cell Type	Mono-crystalline
Cell Arrangement	132 [2 x (11 x 6)]
Dimensions	2384 x 1303 x 35 mm (93.9 x 51.3 x 1.38 in)
Weight	34.4 kg (75.8 lbs)
Front Cover	3.2 mm tempered glass with anti-reflective coating
Frame	Anodized aluminium alloy, crossbar enhanced
J-Box	IP68, 3 bypass diodes
Cable	4 mm² (IEC), 12 AWG (UL)
Cable Length (Including Connector)	460 mm (18.1 in) (+) / 340 mm (13.4 in) (-) or customized length*
Connector	T6 or T4 series or MC4-EVO2
Per Pallet	31 pieces
Per Container (40' HQ)	527 pieces

* For detailed information, please contact your local Canadian Solar sales and technical representatives.

TEMPERATURE CHARACTERISTICS

Specification	Data
Temperature Coefficient (P _{max})	-0.34 % / °C
Temperature Coefficient (V _{oc})	-0.26 % / °C
Temperature Coefficient (I _{sc})	0.05 % / °C
Nominal Module Operating Temperature	41 ± 3°C

PARTNER SECTION



* The specifications and key features contained in this datasheet may deviate slightly from our actual products due to the on-going innovation and product enhancement. CSI Solar Co., Ltd. reserves the right to make necessary adjustment to the information described herein at any time without further notice. Please be kindly advised that PV modules should be handled and installed by qualified people who have professional skills and please carefully read the safety and installation instructions before using our PV modules.

CSI Solar Co., Ltd.
199 Lushan Road, SND, Suzhou, Jiangsu, China, 215129, www.csisolar.com, support@csisolar.com

ДОДАТОК Г. ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ АКУМУЛЮЮЧОГО МОДУЛЯ ТА КОНТРОЛЕРА

Battery Management system



Models	SC0500-100S	SC1000-100S	SC1000-200E
Related Product	X1	H1/H2	M1
Controller Working Voltage	100~430Vdc	200~1000Vdc	220Vac
System Operation Voltage	100~430 Vdc	200~1000 Vdc	0~1000 Vdc
Charge Current (Max.)(A)	100	100	200
Discharge Voltage(Vdc)	100~430	200~1000	0~1000
Discharge Current (Max.) (A)	100	100	200
Self-Consumption Power (W)	8	8	8
Dimension(W*D*H, mm)	442*390*132	442*390*132	330*628*150.5
Communication	RS485/CAN	RS485/CAN	RS485/CAN
Protection Class	IP20	IP20	IP20
Weight (kg)	8.2	8.2	17.5
Operation Life	15 years	15 years	15 years
Operation Temperature	-20~65℃	-20~65℃	-20~65℃
Storage Temperature	-40~80℃	-40~80℃	-40~80℃
Product Certificate	TÜV,CE	TÜV,CE	TÜV,CE

Battery Module



Models	H48050	H48074	H32148
Capacity(kWh)	2.40	3.55	4.74
Nominal Voltage(Vdc)	48	48	32
Nominal Capacity(AH)	50	74	148
Voltage Range(Vdc)	45~54	45~54	30~36
Depth of Discharge	80%(10~90%)	80%(10~90%)	80%(10~90%)
Dimension(W*D*H,mm)	442*390*100	442*390*132	330*628*150.5
Communication	RS485/CAN	RS485/CAN	RS485/CAN
Protection Class	IP20	IP20	IP20
Weight(kg)	24	32	48
Operation Life	10+Years	10+Years	10+Years
Operation Cycle Life	4000	4000	4000
Operation Temperature	0~50℃	0~50℃	0~50℃
Storage Temperature	-20~60℃	-20~60℃	-20~60℃
Product Certificate	TÜV,CE	TÜV,CE	TÜV,CE

ДОДАТОК Д. ГРАФІЧНА ЧАСТИНА

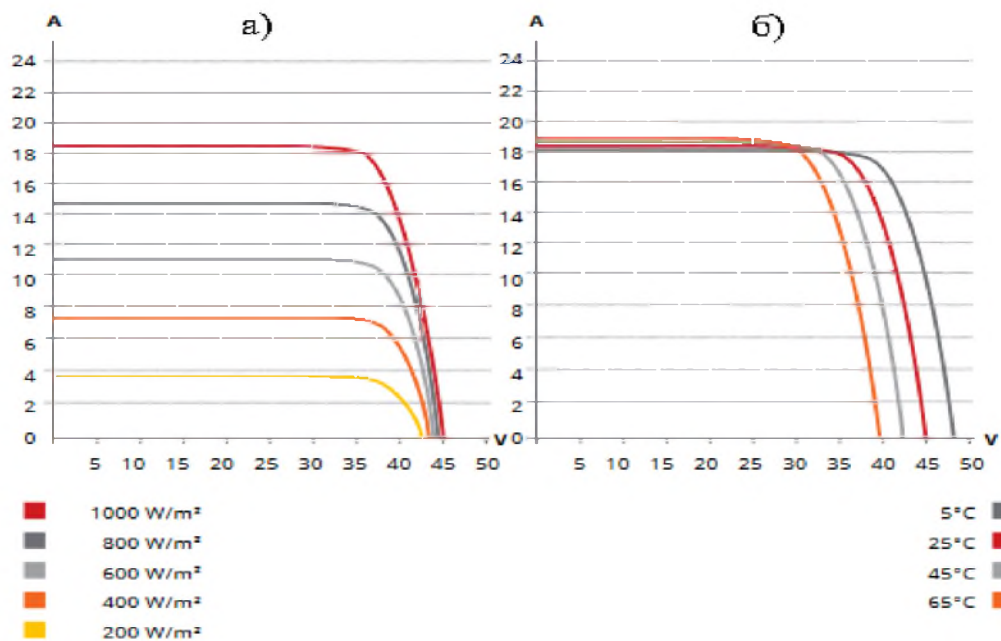


Рисунок Д.1 - Залежність вольт - амперної характеристики фотоелектричної панелі від рівня інсоляції (а) та температури (б)

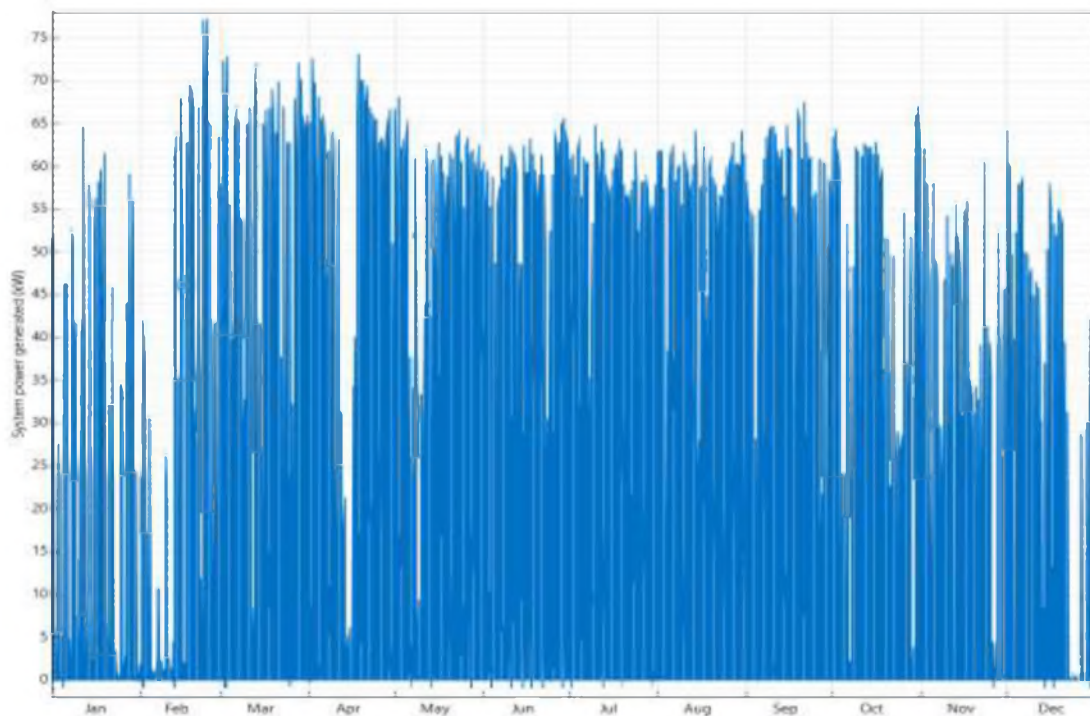


Рисунок Д.2 - Сумарна кількість виробленої Фотоелектростанцією електроенергії

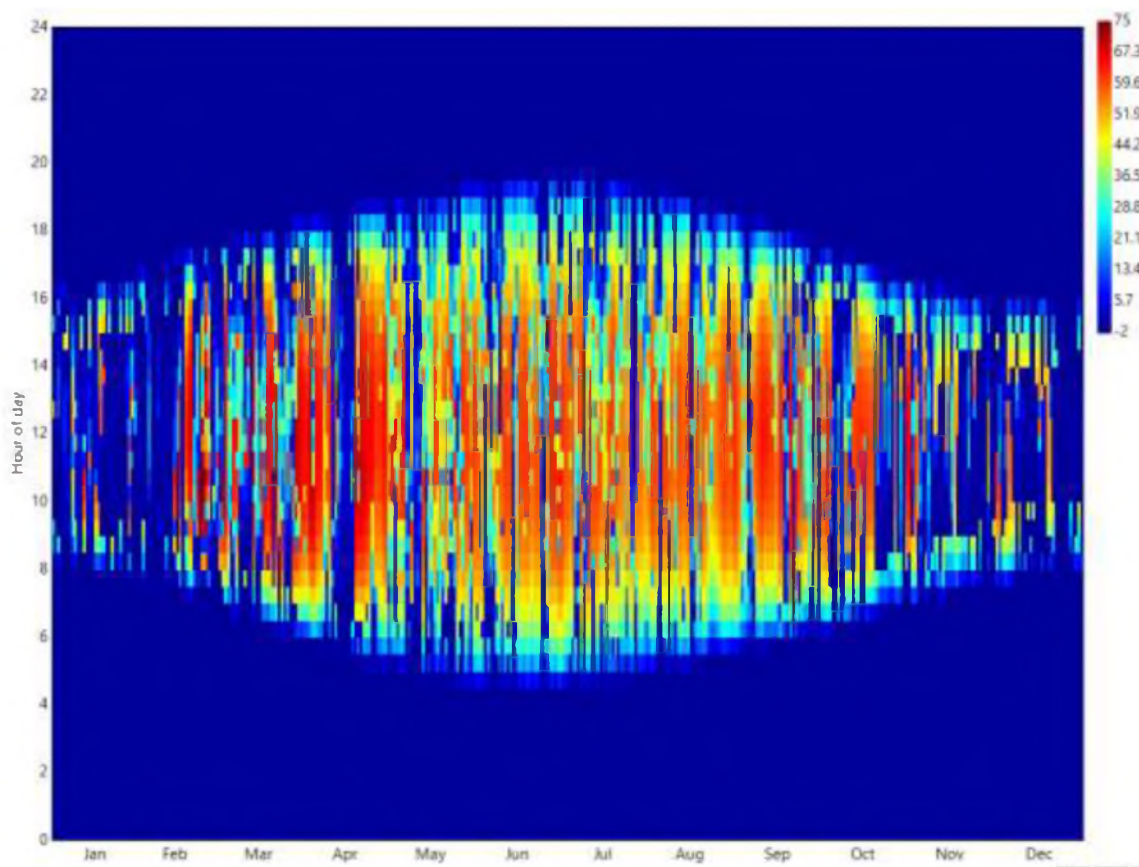


Рисунок Д.3 - Теплова мапа потужності фотоелектростанції

ДОДАТОК Е. ПЕРЕЛІК ЗАУВАЖЕНЬ НОРМОКОНТРОЛЕРА ДО
ДИПЛОМНОЇ РОБОТИ

Позначення документа	Документ	Умовне позначення	Зміст зауваження

Дата _____