

Хмельницький національний університет
Факультет інженерії, транспорту та архітектури
Кафедра машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

Розробка гібридної сонячної електростанції

Галузь знань 14 «Електрична інженерія»

Шифр, назва


Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Шифр, назва

Освітня програма «Енергетичний менеджмент»

Шифр БРМА 24.00.00.000 ПЗ

Виконав студент 4 курсу
група ЕМ-20-1


Підпис

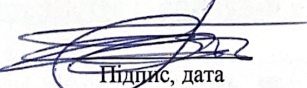
С.С. Лучко
Ініціали, прізвище

Керівник


Підпис, дата

С.І. Пундик
Ініціали, прізвище

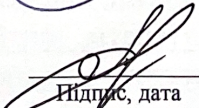
Нормоконтролер


Підпис, дата

Тимошук О.
Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:

Зав. кафедри МАЕЕС


Підпис, дата

проф. О.С. Поліщук
Ініціали, прізвище

17 06 2024 р.

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії, транспорту та архітектури

Кафедра машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем

Освітній рівень бакалавр

Галузь знань 14 Електрична інженерія

Шифр і назва

Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Шифр і назва

Освітня програма Енергетичний менеджмент

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри МАЕЕС


17.06.2024

ЗАВДАННЯ НА БАКАЛАВРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Лучко Сергій Сергійович

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема роботи Розробка гібридної сонячної електростанції

керівник роботи Пундик Сергій Іванович

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання

Затверджено наказом ректора університету від 15.02.2024 р. № 8

2. Строк подання студентом роботи на кафедру

3. Вихідні дані до роботи характеристики сонячної електростанції

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

Вступ. 1 Огляд та аналіз технічної літератури з тематики бакалаврської роботи. 2 Розробка гібридної сонячної електростанції. 3 Розрахунок системи накопичення та перетворення енергії. Висновки. Перелік джерел посилань.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень)

1. Види сонячних електростанцій (ДО, А1). 2. Структурна схема сонячної генерації (Е1, А1 – два аркуші). 3. Функціональна схема сонячної генерації (Е2, А1). 4. Каркас сонячних панелей (В3, А2). 5. Каркас сонячних панелей (Д1, А2).

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Назва етапів (розділів) кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1. Огляд та аналіз технічної літератури	14.05.2024	
2. Розробка гібридної сонячної електростанції	25.05.2024	
3. Розрахунок системи накопичення та перетворення енергії	06.06.2024	
4. Оформлення пояснювальної записки та графічного матеріалу	18.06.2024	

Студент

Підпис

С.С. Лучко

Ініціали, прізвище

Керівник роботи

Підпис

С.І. Пундик

Ініціали, прізвище

АНОТАЦІЯ

до бакалаврської роботи студента
спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

1. Прізвище, ім'я та по батькові Лучко Сергій Сергійович

2. Тема бакалаврської роботи Розробка гібридної сонячної електростанції

3. Прізвище, ініціали, вчена ступінь та звання опонента _____

4. Об'єм бакалаврської роботи: креслень 5 арк., сторінок записки 60

5. Сучасне життя без електрики немислиме. Світ потребує екологічно чистих джерел енергії. Вирішити проблему отримання додаткової енергії можуть допомогти альтернативні джерела енергії. Сьогодні гібридні сонячні електростанції розробляються в усьому світі. Метою бакалаврської роботи є розробка гібридної сонячної електростанції, яка може забезпечувати електроенергією слабкоструміву систему освітлення навіть при відсутності електроенергії до 24 годин. У пояснювальній записці наведено всі необхідні розробки, а також розділи, що відповідають встановленим вимогам. В першому розділі проведено огляд та аналіз існуючих технічних та технологічних рішень з тематики бакалаврської роботи, а саме огляд способів перетворення сонячної енергії в електричну. У другому здійснюється розробка гібридної сонячної електростанції. В третьому розділі проведено розрахунок системи накопичення та перетворення енергії.

Підпис студента _____

" 17 " 06 2024 р.

РІШЕННЯ ЕК:

Протокол №1 від " 25 " 06 2024 р.

Оцінка проекту ЕК Відмінно / А

Рекомендації ЕК визнавання у виробництво

Особливі відмітки _____

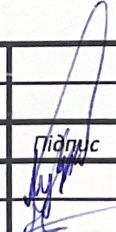

Технічний секретар _____

" 25 " 06 2024 р.

ЗМІСТ

	стор.
Вступ.....	6
1 Огляд та аналіз технічної літератури з тематики бакалаврської роботи.....	7
1.1 Аналіз способів перетворення сонячної енергії в електричну.....	8
1.2 Будова сонячної електростанції.....	11
1.3 Сонячна панель.....	12
1.4 Інвертори.....	16
1.5 Акумуляторні батареї.....	19
1.6 Контролери.....	22
Висновки до першого розділу.....	26
2 Розробка гібридної сонячної електростанції.....	27
2.1 Вибір сонячних панелей.....	27
2.2 Вибір інвертора.....	29
2.3 Вибір контролера заряду акумулятора.....	31
2.4 Вибір акумуляторних батарей.....	32
Висновки до другого розділу.....	36
3 Розрахунок системи накопичення та перетворення енергії.....	37
3.1 Розрахунок кута нахилу сонячних панелей.....	37
3.2 Розрахунок споживання об'єкта.....	38
3.3 Розрахунок параметрів сонячних панелей.....	43
3.4 Розрахунок параметрів інвертора.....	47
3.5 Розрахунок кількості обладнання.....	53
Висновки до третього розділу.....	56

БРМА 24.00.00.000 ПЗ

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
					Розробка гібридної сонячної електростанції	Літ.	Арк.	Аркуші
Розроб.		Лучко С.С.					4	60
Перевір.		Пундик С. І.			ХНУ гр. ЕМ-20-1			
Реценз.								
Н. Контр.		Поліщук О. Є.						
Затверд.								

Висновки 57
Перелік джерел посилань 58
Додатки

					БРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Неможливо уявити життя сучасної людини без використання електроенергетичних ресурсів. Комп'ютери, телефони, побутова техніка та інші електроприлади - це те, без чого сучасній людині не обійтися протягом дня. Важливо раціонально використовувати енергетичні ресурси.

Сонце є необмеженим джерелом енергії. Сонячна енергія може бути використана для самостійного живлення будь-яких низьковольтних споживачів електричної енергії.

У світі наявна потреба в екологічно чистих джерелах енергії. Наприклад, сонячна енергія, на відміну від нафти, газу, вугілля тощо, є екологічно чистим ресурсом. Крім того, оскільки сонце виробляє більше енергії, ніж нам коли-небудь знадобиться, електроенергія, що виробляється сонячною енергією, є дуже важливим джерелом при переході до чистого виробництва.

Альтернативна енергетика може допомогти вирішити проблему отримання додаткової енергії. Нині гібридні сонячні електростанції розвиваються у всьому світі.

Метою даної роботи є розробка гібридної сонячної електростанції, здатної забезпечувати електроенергією слабкострумові системи освітлення при відсутності електроенергії до 24 годин.

За даними ПУЕ, відключення електроенергії для споживачів 3-ї категорії допускається на час ремонту - до 24 годин.

Для вирішення поставленого завдання необхідно виконати ряд задач:

- аналіз способів перетворення сонячної енергії в електричну;
- вибір обладнання для сонячної електростанції;
- розрахунок системи накопичення та перетворення енергії.

					БРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ З ТЕМАТИКИ БАКАЛАВРСЬКОЇ РОБОТИ

1.1 Аналіз способів перетворення сонячної енергії в електричну

1.1.1 Термодинамічні сонячні електричні станції (Combined Solar Power)

Енергія сонячного випромінювання (сонячна теплова енергія) використовується для вироблення електроенергії, яка перетворюється в механічну, а потім в електричну енергію. Термоелектричні генератори працюють за принципом появи на клеммах неоднорідних провідників ЕРС (термоелектричний ефект) через різницю температур.

Дзеркала CSP концентрують тепло від сонця у фокусі, яке потім приводить у рух парову машину для виробництва електроенергії. CSP вимагають багато місця та безперервного сонячного світла. Перетворення сонячної радіації в електростанціях цього типу здійснюється за принципами сонячного колектора.

Цей вид включає СЕС баштового типу та СЕС з використанням параболічного циліндричного концентрату [1].

1.1.2 СЕС баштового типу

СЕС баштового типу – сукупність концентраторів і один приймач сонячної енергії, який розташований нагорі вежі. Висота вежі може становити до 150 метрів. Вежа використовується для отримання сфокусованого сонячного світла. Сонячна електростанція використовує масив плоских рухомих дзеркал, які називаються геліостатами, для фокусування сонячних променів на колекторну вежу.

На ранніх етапах ці промені використовувалися для обігріву, а отриманий пар використовується для живлення турбіни. Пізніше були розроблені нові конструкції з використанням рідкого натрію, а також системи, що використовують розплавлені солі в якості робочих рідин. Ці рідини мають

					БРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

високу теплоємність, яку можна використовувати для накопичення енергії. Такі ж конструкції дозволяють виробляти енергію, коли сонце не світить (рис. 1.1).

Баштова установка складається з п'яти основних елементів: оптичної системи, дзеркала і системи автоматичного управління всією установкою, парогенератора, башти, теплообмінника, накопичувача енергії і системи перетворення енергії, включаючи турбогенератор [2].

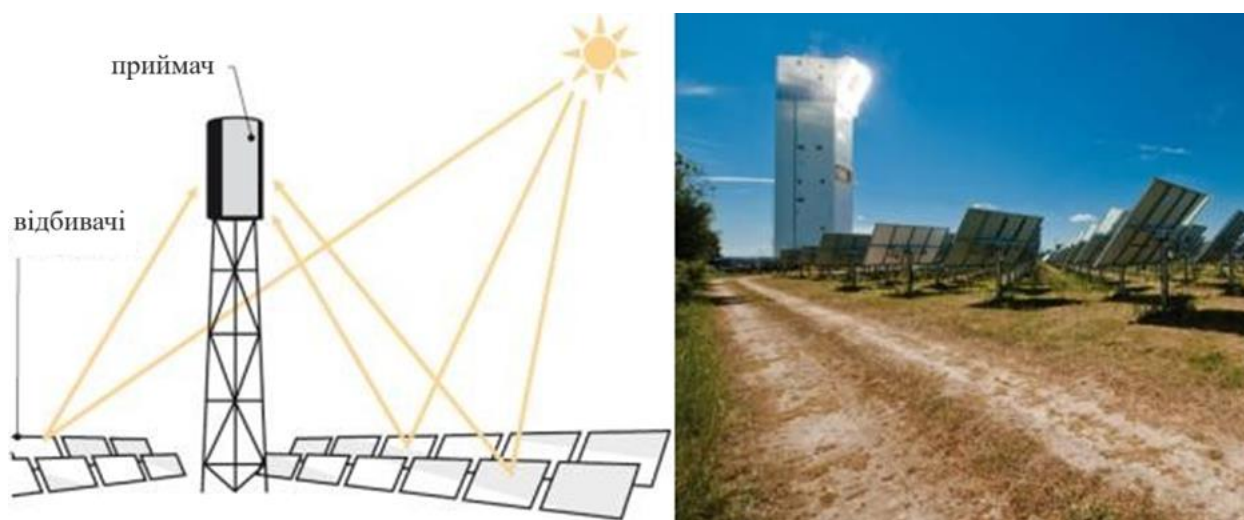


Рисунок 1.1 – Сонячна електростанція баштового типу [3]

1.1.3 СЕС з використанням параболічного циліндричного концентрату

Принцип роботи сонячної електростанції на параболічному концентраторі простий. Тепло-носій нагрівається за допомогою сонячної енергії, сконцентрованої концентраторами. Коли параметри теплоносія досягають необхідних параметрів, він подається на турбогенератор.

Цей тип є найбільш поширеним типом термодинамічних СЕС. У параболічних жолобах використовуються ряди вигнутих дзеркал з акцентом на впускні труби, які проходять по довжині дзеркал. Інтенсивне сонячне світло, сфокусоване від дзеркал у формі жолоба, нагріває рідину всередині трубок. Потім гарячі рідини нагрівають воду і обертають парову турбіну для вироблення електроенергії (рис. 1.2) [4].

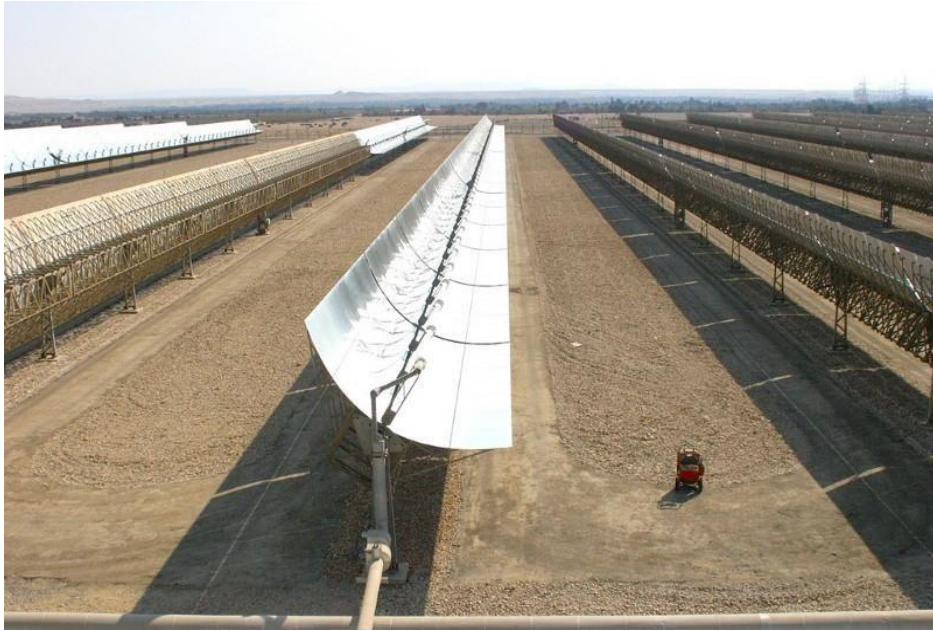


Рисунок 1.2 - СЕС з використанням параболічних концентраторів [4]

1.1.4 СЕС тарілчастого типу

СЕС дискового типу містить два важливих елементи - відбивач і приймач. Відбивачі у вигляді параболи дзеркал розміщені на опорах. Фокус відбивача спрямований на приймач (рис.1.3). Кожен рефлектор містить 10 дзеркал. Кожне дзеркало індивідуально регулюється таким чином, щоб максимальна кількість сонячної енергії доходила до приймача.

В якості ресивера може використовуватися двигун Стірлінга. Двигун можна підключити до генератора. Також необхідно підключити резервуар з рідиною до двигуна Стірлінга. Зазвичай з водою. Коли вода закипає, вона перетворюється на пару. Пара розкручує турбіну [5].

1.1.5 Сонячно-вакуумні електростанції

Вони працюють за принципом різниці температур. Коли сонце нагріває спеціально побудовану теплицю, потік повітря спрямовується вгору через трубу в центрі теплиці і обертає турбіну. Тяга постійна, тому що сонце нагріває повітря в певному обсязі, покритому склом (рис. 1.4) [6].

					БРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

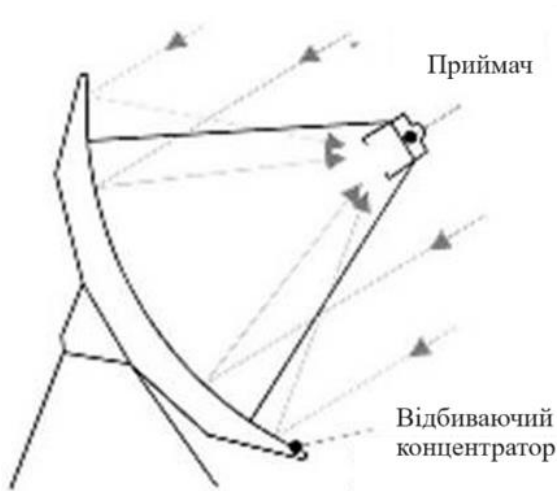


Рисунок 1.3 - Сонячна установка тарілчастого типу [7]

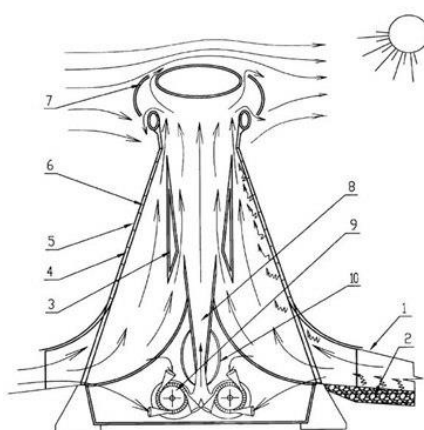


Рисунок 1.4 – Сонячно-вакуумні електростанції [8]

1.1.6 Фотоелектричні СЕС

Принцип полягає в тому, щоб генерувати електроенергію безпосередньо з сонячного світла, використовуючи фотоелектричний ефект, який природним чином виникає в певних матеріалах, що називаються напівпровідниками. Фотоелектричні пристрої можуть використовуватися для живлення всього - від невеликих електронних пристроїв, таких як калькулятори і дорожні знаки, до будинків і великих комерційних підприємств [9].

На рисунку 1.5 показаний зовнішній вигляд типової сонячної панелі.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

БРМА 24.00.00.000 ПЗ

Арк.

10



Рисунок 1.5 – Фотоелектричні сонячні панелі [10]

1.2 Будова сонячної електростанції

Автономна чи гібридна сонячна станція складається сонячних панелей, контролера заряду, акумуляторної батареї та інвертора (рис. 1.6) [11].

Сонячні панелі збирають сонячну енергію та перетворюють її на електричну.

Контролер заряду захищає акумулятор від перезаряджання та глибокого розряду, подовжуючи його термін служби.

Акумуляторна батарея зберігає електричну енергію для використання в нічний час або в похмурі дні.

Інвертори перетворюють постійний струм від панелей та батарей на змінний, який можна використовувати для живлення побутових приладів або подавати в загальну електромережу.

Також можуть бути додаткові системи моніторингу та управління для сонячних станцій.

Системи моніторингу потужності. Вони відстежують вихідну потужність

									Арк.
									11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	БРМА 24.00.00.000 ПЗ				

сонячних панелей та ефективність перетворення енергії, а також стан акумуляторів.

Системи керування навантаженням. Автоматично регулюють споживання енергії залежно від доступності сонячної енергії та заряду батарей.

Додатки для віддаленого керування. Дозволяють користувачеві контролювати та налаштовувати роботу станції через інтернет.

1.3 Сонячна панель

Коли сонячне світло потрапляє на сонячну батарею (навіть у похмуру погоду), фотоелектричні елементи приймають фотони та перетворюють їх в електричну енергію. Іншими словами, фотони вибивають електрони зі своїх атомів (рис. 1.7) [12].

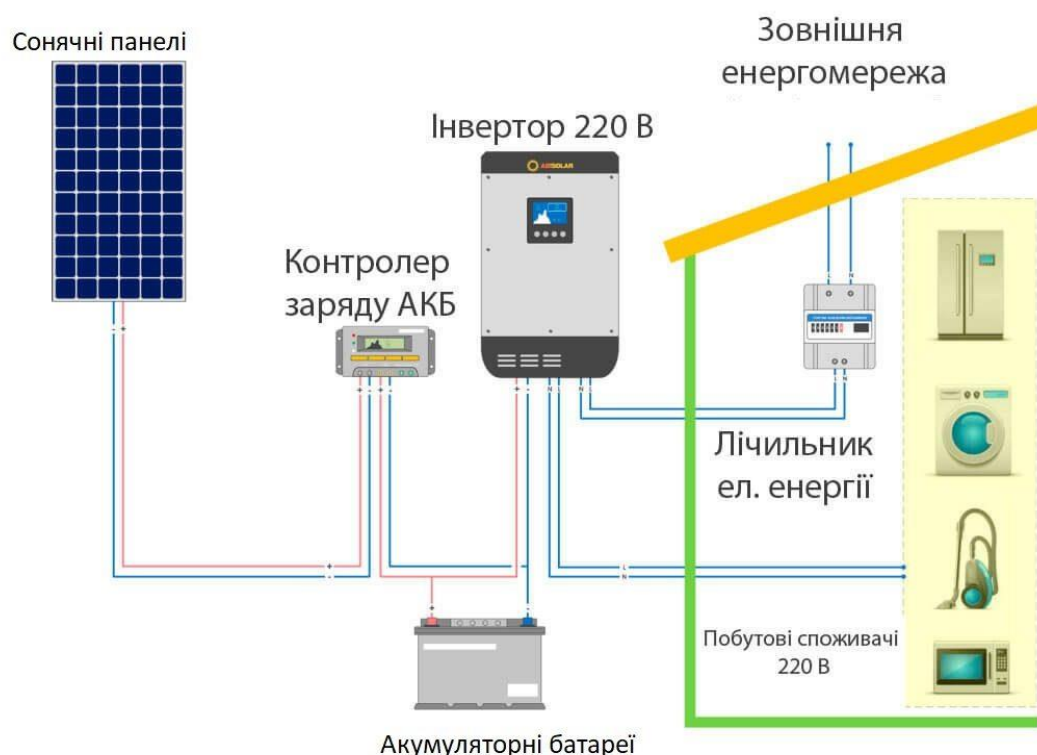


Рисунок 1.6 - схема типової сонячної електростанції [13]

					БРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

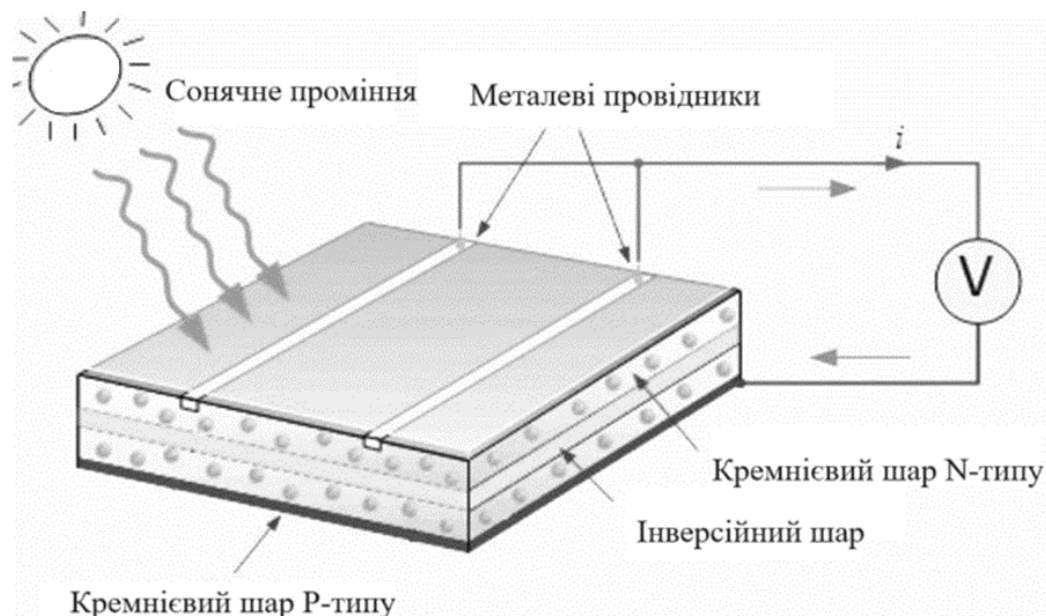


Рисунок 1.7 – Принцип роботи сонячної панелі [14]

Провідники, прикріплені до позитивного і негативного шару, утворюють електричний ланцюг. Проходячи через електричний ланцюг, електрони виробляють електроенергію. Кілька осередків складають сонячну панель, кілька панелей (модулів) можуть бути з'єднані між собою, утворюючи сонячну батарею. Чим більше батарейок розміщено, тим більше енергії можна отримати.

Далі металеві провідні пластини з боків комірки збирають електрони і передають їх провідникам. Утворюється постійна напруга.

Фотоефект в сонячній панелі виникає тільки при попаданні фотонів на її поверхню. Зовнішнім джерелом фотонів є Сонце. У нічний час ККД сонячних панелей наближається до нуля. У ранкові та вечірні години, в похмуру погоду, ККД монокристалічних сонячних панелей низький.

Полікристалічні панелі дещо зменшують вихідну потужність, так як добре поглинають навіть розсіяні промені сонця. Хмари не є перешкодою для ультрафіолетового випромінювання.

Максимальна активність сонця спостерігається вдень. За цей проміжок

часу сонячна панель генерує максимум енергії [15].

Види сонячних панелей

Сонячна панель складається з декількох фотоелектричних елементів, виготовлених з напівпровідників. Ці фотоелектричні елементи з'єднані в ланцюг. У напівпровідниках відбувається пряме перетворення сонячної енергії в електричну.

Найбільшою популярністю користуються кремнієві сонячні панелі. Це легко пояснити тим, що кремній широко поширений в земній корі. Він має низьку вартість і високу продуктивність в порівнянні з іншими типами сонячних панелей [16].

Розглянемо докладніше кожен з видів фотоелектричних елементів (рис. 1.8).

Монокристалічні фотоелектричні елементи.

Для виготовлення монокристалів використовують високоочищений кремній. Як тільки монокристал застигає, - його розрізають на квадрати, щоб сформувати сонячну панель. У результаті виходить високоякісний кристал, схожий на той, що використовуються в комп'ютерних чіпах.

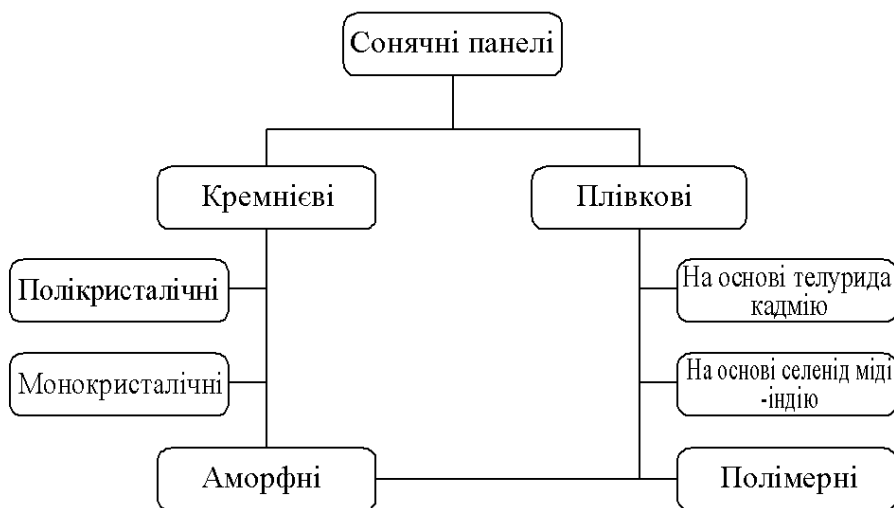


Рисунок 1.8 – Види сонячних панелей

Зазвичай монокристалічні панелі не мають ідеальної квадратної форми,

оскільки мають зрізані кути. Ця техніка допомагає потоку енергії через сітку електродів бути більш ефективним. Електрони швидше рухаються по панелі, якщо різкість кутів кожного елемента була знижена.

Монокристалічні кремнієві сонячні панелі мають високу ефективність, але водночас вони дорогі. Це найдорожчий тип сонячних панелей на ринку. Для відмінних експлуатаційних характеристик панель повинна бути спрямована перпендикулярно сонячним променям [17].

Полікристалічні фотоелектричні елементи.

Полікристали створюються з кремнію, який має менший ступінь чистоти. Вони також можуть бути створені з перероблених матеріалів. При цьому для створення полікристалів потрібно менше енергії. В результаті полікристалічні пластини дешевші, ніж монокристалічні.

Для отримання полікристала кремнієва речовину охолоджують повільно. Цей тип панелей споживає менше енергії, ніж монокристалічні панелі, але їх ефективність нижча. Ці сонячні панелі мають квадратну форму. Відносно низький ККД пояснюється тим, що електрони затримуються між кристалами, на відміну від монокристалічних осередків, в яких кристалічні зерна розташовані паралельно. Через це полікристалічні кремнієві сонячні панелі коштують дешевше, але разом з тим можуть виробляти достатньо енергії.

Такі сонячні панелі можуть працювати в похмуру погоду і від розсіяного світла [18].

Аморфні фотоелектричні елементи.

Цей тип можна віднести як до кремнієвих панелей, так як матеріалом виготовлення є кремній, так і до плівкових панелей, адже вони виготовляються за принципом їх виробництва. Оскільки вихідна електрична потужність низька, сонячні елементи на основі аморфного кремнію зазвичай використовуються лише для невеликих пристроїв, таких як кишенькові калькулятори.

На основі телурид кадмій.

Кадмій - матеріал з дуже високим показником світлопоглинання. Телурид

					БРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

кадмію – єдина плівкова технологія сонячних панелей, що економічно перевершило ефективність полікристалічних і монокристалічних сонячних панелей на значній частині ринку. ККД панелей на основі кадмію зазвичай знаходиться в межах 9-11%.

На основі селеніду міді-індію.

У порівнянні з іншими плівковими технологіями, описаними вище, описані сонячні батареї показали найбільший потенціал з точки зору ефективності. Крім того, ці сонячні елементи містять меншу кількість токсичного матеріалу кадмію, якого багато в сонячних елементах телуриду кадмію. Показники ККД для цих сонячних панелей зазвичай знаходяться в межах 20-21% [19].

На основі полімерів.

В якості світлопоглинаючих матеріалів використовуються такі напівпровідники, як поліфенілен, фузеллени і фталоціанін міді. ККД полімерних сонячних батарей становить близько 5-6%. Головною перевагою є дешевизна продукції. Такі панелі доступні за ціною, вони не роблять шкідливого впливу на навколишнє середовище. Основні напрямки їх використання – предмети, що вимагають механічної пружності та можливості утилізації без заподіяння шкоди навколишньому середовищу [20].

1.4 Інвертори

Сонячні батареї виробляють постійну напругу. Більшість електроприладів не можуть використовувати цей вид електроенергії, тому сонячні електростанції включають в себе і інвертори.

Інвертори - пристрої, які перетворюють постійний струм, отриманий від сонячних панелей або акумуляторів, в змінну напругу 220-380 В або вище, залежно від призначення. Існують багато різновидів інверторів, відрізняючись потужністю і типом. Інвертори забезпечують, зокрема і захист від короткого

					БРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

замикання, а також відстеження стану системи та даних. Вихідна напруга автономних інверторів зазвичай становить 220 В (рис. 1.9).

Перетворена потужність змінного струму використовується для живлення таких приладів, як телевізори, холодильники, мікрохвильові печі тощо. Для деяких конкретних приладів можна використовувати безпосередньо живлення постійного струму від сонячної панелі (світлодіоди, зарядні пристрої для мобільних телефонів). Однак, як правило, потужність домашньої сонячної електростанції в основному використовується у вигляді змінного струму [21].

Інвертори можуть виводити чистий синусоїдальний сигнал (рисунок 1.10а) або модифіковану синусоїду (рисунок 1.10б).

Інвертор з чистою синусоїдою може живити будь-який електричний приймач, розрахований на синусоїду. Небезпечно живити електроприймач від видозміненої пазухи. Більшість електричних пристроїв можуть вийти з ладу або сильно нагрітися.

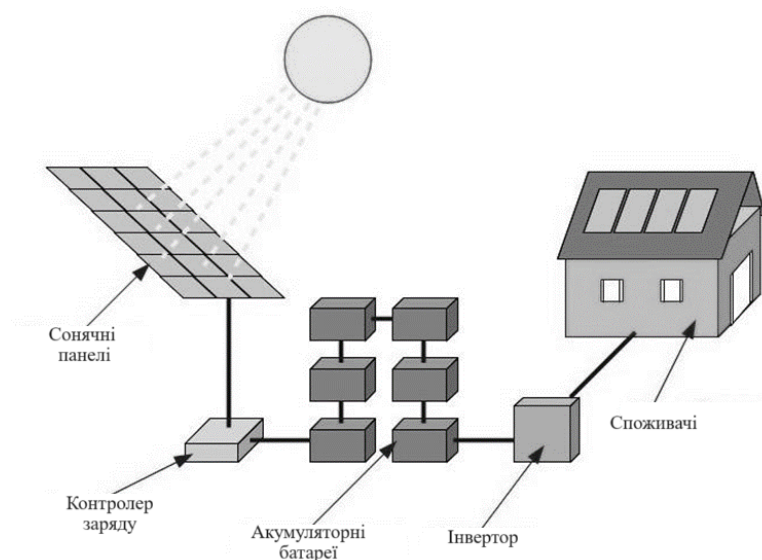


Рисунок 1.9 – Схема підключення інвертора до сонячної панелі через акумулятор

Ціни на інвертори з чистим синусом і модифікованим синусом різні. Інвертори з модифікованим синусоїдальним виходом коштують дешевше. Однак

інвертори, які виробляють чистий синус, характеризуються меншими втратами та кращою якістю електроенергії.

Кожен інвертор характеризується набором параметрів. Одним з найважливіших параметрів є ефективність. Для інверторів він може досягати

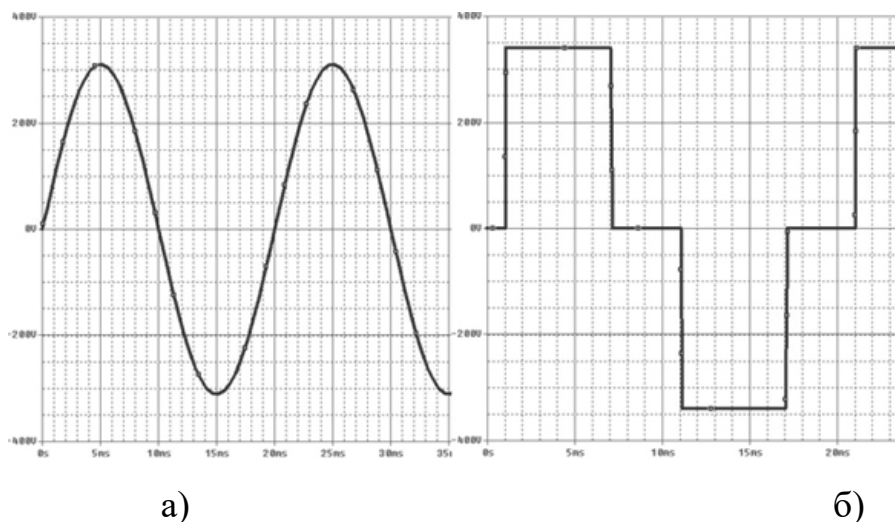


Рисунок 1.10 – Вихідні види інвертора:

а) Чиста синусоїда; б) Модифікований синусоїдальний сигнал

98%. Якщо ККД інвертора нижче 90%, його не варто використовувати для будівництва сонячної електростанції [22].

Важливими параметрами інвертора також вважаються: клас захисту IP, термін служби, кількість синусоїдальних виходів.

Види інверторів

Існує три типи інверторів зі стандартними електричними мережами, поділяться на три групи:

- автономні інвертори. Цей тип інвертора ще називають автономним. Такі інвертори використовуються там, де немає електрики.

- мережеві інвертори. Такі інвертори працюють синхронно з мережею. Окрім перетворення напруги постійного струму в змінну, ці інвертори також контролюють велику кількість пластин і частоту мережі. Мережеві інвертори використовуються без акумулятора. Енергія від сонячних панелей відразу ж

виводиться з мережі.

- гібридні інвертори. Сполука мережевих та автономних інверторів. Цей тип інверторів має різноманітні налаштування для оптимального живлення від мережі та від акумулятора.

Цей тип інвертора використовується в схемах, які використовують резервне зберігання енергії, отриманої від сонця, в акумуляторній батареї. Надлишок невикористаної енергії передається в електромережу.

Синхронні інвертори здатні подавати живлення змінного струму в мережу під час відключень електроенергії. У похмурі дні, коли ККД сонячних панелей досить низький, пристрої можуть працювати від традиційної електромережі, а споживачеві не потрібна окрема акумуляторна батарея для сонячної електростанції [23].

1.5 Акумуляторні батареї

Щоб забезпечити електроенергією споживачів у вечірній, нічний та ранковий час, або за відсутності електроенергії, - електроенергію необхідно зберігати вдень.

При паралельній роботі з мережею, якщо система виробляє більше енергії, ніж споживає навантаження, надлишок подається в батареї. Коли виникає потреба спожити накопичену енергію, акумулятори віддають цю енергію в мережу.

Коли сонячні батареї не виробляють енергію, наприклад, вночі, або коли немає електроенергії, то використовується енергія, накопичена в акумуляторах.

Необхідність акумуляторних батарей в системі сонячної електростанції полягає в тому, що батареї здатні віддавати накопичену енергію в похмуру погоду, вночі або при низьких температурах, коли немає можливості використовувати сонячні панелі в звичайному режимі. Об'єднавши їх в групу з декількох акумуляторів, можна збільшити кількість енергії, що зберігається.

					БРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

При виникненні стрибків напруги батарея живить систему електропостачання, допомагаючи сонячним батареям справлятися з подачею енергії споживачам в екстремальні моменти [24].

Кожна батарея має свою щільність енергії на 1 кг маси (рис. 1.11).

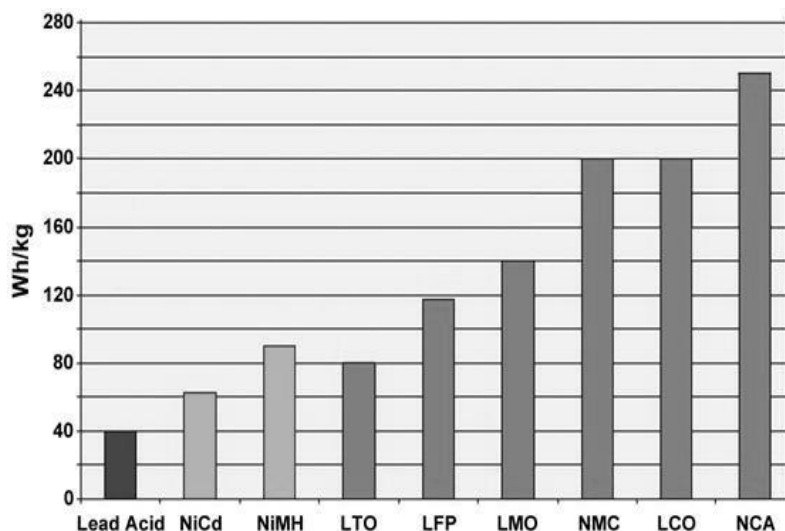


Рисунок 1.11 – Розподіл щільності енергії в залежності від типу акумулятора

Види акумуляторних батарей.

Свинцево-кислотні акумулятори.

Вони являють собою звичайні автомобільні акумулятори, в яких електродами є оксид свинцю з домішкою інших хімічних елементів, поміщений в електроліт, що знаходиться в стані водного розчину. Електроліт розбавляють сірчаною кислотою.

Стандартні батареї можуть прослужити близько 3-5 років. Через режим роботи, який відрізняється від режиму при запуску двигуна автомобіля, в цій системі розглянуті акумулятори зношуються і відносно швидко виходять з ладу.

Глибокі розряди погано впливають на їх характеристики. Перезаряд також пошкоджує акумулятор. У разі повного розряду термін їх служби різко

скорочується. Якщо повністю заряджену батарею не від'єднати від заряджання, електроліт в акумуляторі може закипіти. Почнеться утворення газів. Акумулятор може здутися або вибухнути. Перевагою свинцево-кислотних акумуляторів є їх дешевизна [25].

Нікель-кадмієві акумулятори.

Це лужні батареї, в яких позитивним активним матеріалом є оксид нікелю, а негативним - кадмій.

Такі акумуляторні батареї добре справляються з високими показниками потужності. Головною їх перевагою є тривалий ресурс циклів заряду-розряду. Однак ці батареї небезпечні. Якщо вони розгерметизовані, то їх утилізація вартує чималих коштів.

Лужні акумулятори.

Лужні акумулятори мало коли використовуються в системах СЕС через нечутливість цього типу акумуляторів до малих струмів під час зарядки і необхідності проходження повного циклу від зарядженого до розрядженого стану. В іншому випадку ємність акумулятора зменшується. Однак лужні акумулятори здатні переносити глибокий заряд. Це робить їх зручними для використання на великих сонячних електростанціях. Також ці пристрої мають більшу вагу і габарити в порівнянні з конкурентами тієї ж потужності.

Літій-іонні акумулятори.

Літій-іонні акумулятори набагато легші та мають менші габарити, ніж інші акумуляторів. Вони мають високу вартість, тому нечасто використовуються на сонячних електростанціях. Вони також мають триваліший термін служби порівняно зі свинцево-кислотними акумуляторами.

Крім того, термін їх служби вдвічі менший, ніж у гелієвих. Тому їх використання у довгостроковій перспективі стає не вигідним. Ще одним серйозним недоліком є поступове зниження ємності, яке не залежить від способів відстеження рівня заряду літій-іонних акумуляторів [26].

Акумуляторні AGM (Absorbent Glass Mat).

					БРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

Батарея AGM - це батарея, тобто батарея, що містить абсорбуюче скловолокно. AGM акумулятори відносяться до свинцево-кислотного типу, але відрізняються від звичайних акумуляторів цього типу тим, що в пристроях AGM електроліт утримується в скловолокні. Воно не поглинає електроліт і не піддається його впливу. Ці батареї мають кращі характеристики саморозряду, ніж традиційні акумулятори.

Такі акумулятори мають тривалий термін служби, мають велику ємність і мають велику кількість циклів заряду - розряду. Акумулятори AGM характеризуються стійкістю до глибоких зарядів, а також можуть працювати при температурі -40° . Акумулятор стійкий до вібрації, що збільшує термін його служби.

Як і у випадку зі свинцево-кислотними акумуляторами, важливо дотримуватися вимог до заряджання або використовувати контролери акумулятора, щоб продовжити термін служби акумулятора AGM [27].

Гелієві акумулятори.

Гелієві батареї є різновидом AGM акумуляторів, але електроліт, що утримується в скловолокні, схожий на гель. Це досягається за допомогою силікагелю.

Такі батареї можуть працювати в умовах низьких температур, що досягають -50°C , зберігаючи ємність і продуктивність, але не довго. Властивості пристрою повністю зберігаються у вимкненому режимі при тривалому зберіганні.

Акумулятори стійкі до глибокого розряду. Термін служби - до 12 років. Виробники гарантують від 500 до 3500 циклів заряду-розряду [28].

1.6 Контролери

Контролер заряду акумулятора - це пристрій, який повинен бути присутнім в будь-якій автономній системі, що працює від акумулятора. Контролер

					БРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

контролює процес зарядки і розрядки акумулятора.

Контролер заряду акумулятора дозволяє отримати правильну функцію заряду для різних типів акумуляторів. Щоб отримати максимальний ефект від сонячної панелі, необхідно підключити її до навантаження певного опору. Для забезпечення належного узгодження навантаження та сонячної панелі використовується контролер [29].

Контролер заряду акумулятора використовує ШІМ для заряджання акумулятора. При такій модуляції досягається повний заряд акумулятора.

Контролер стежить за процесом зарядки і розрядки акумулятора. Він може здійснювати процес перемикання навантаження з мережі на акумулятор.

Контролер заряду використовується в поєднанні з підключеною до мережі сонячною енергетичною системою, яка включає резервні батареї. Контролер заряду від сонячної батареї керує енергією, яка надходить в акумулятор від сонячної батареї. Це гарантує, що батареї глибокого циклу не будуть перезаряджені протягом дня, а також що енергія не надходитиме назад до сонячних панелей протягом ночі та не розряджатиме батареї. Управління живленням є його основним завданням [30].

Види контролерів заряду акумуляторів.

Контролери MPPT.

Контролери MRRT - це контролери відстеження точки максимальної потужності. Ці контролери за спеціальним алгоритмом створюють особливу кількість навантаження, щоб забирати максимальну потужність від сонячної панелі в акумуляторі.

Контролери MRPT вимірюють напругу панелі і перетворюють напругу, що опускається, в напругу акумулятора. Оскільки потужність на контролері заряду дорівнює потужності на виході контролера заряду, то при падінні напруги відповідно до акумуляторної батареї струм збільшується, тому він використовує більше доступної потужності від однієї сонячної панелі. При використанні панелі 24 В з MPPT контролером може заряджати акумулятор 12 В, або два

					БРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

послідовні акумулятори можуть заряджати акумулятор 24 В тощо.

Контролер MRRT контролює напругу та струм від сонячної панелі. Потім за алгоритмом контролер розраховує потужність і визначає параметри, при яких буде передаватися максимальна потужність. Окремий алгоритм контролера визначає стан акумулятора. Залежно від свого стану він подає на вихід струм певної величини. При цьому процесор передає інформацію на дисплей дисплея і зберігає необхідні дані в постійній пам'яті.

Значення максимального струму і напруги (точки максимальної потужності) на виході сонячної панелі залежать від освітленості фотоелектричних елементів, температури, до якої нагрівається панель та інших умов [31].

Алгоритм контролера містить код, який намагається оптимізувати точку максимальної потужності. Для цього він намагається збільшувати і зменшувати навантаження для поточної оптимальної точки. Якщо потужність зросла для одного з варіантів, контролер переміститься в цю точку. У момент пошуку точки максимальної потужності відбувається незначна втрата енергії.

Однак точка максимальної потужності, знайдена за допомогою MPRT легко це компенсує.

Ці втрати незначні в порівнянні з вигодами від такого підходу, особливо в похмурі дні. На рисунку 2.3 показана зміна ТМП при зміні зовнішніх умов.

Останньою інновацією є оптимізатор потужності сонячної панелі.

Оптимізатор потужності – це пристрій, який є зменшеною копією MPRT контролера. Він контролює пошук робочої точки для отримання максимального струму і напруги на виході сонячної панелі. Такий пристрій не контролює процес зарядки акумулятора. Такі оптимізуючі пристрої зменшують втрати енергії за рахунок різної освітленості панелей.

ШІМ-контролери.

ШІМ-контролери засновані на широтно-імпульсній модуляції струму заряду. Цей тип контролера працює шляхом підключення безпосередньо від

					БРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

сонячної панелі до акумулятора. Під час масової зарядки, коли між масивом сонячної панелі та акумулятором є безперервний зв'язок, вихідна напруга масиву знижується контролером до напруги акумулятора. Коли акумулятор буде заряджений, його напруга буде збільшуватися.

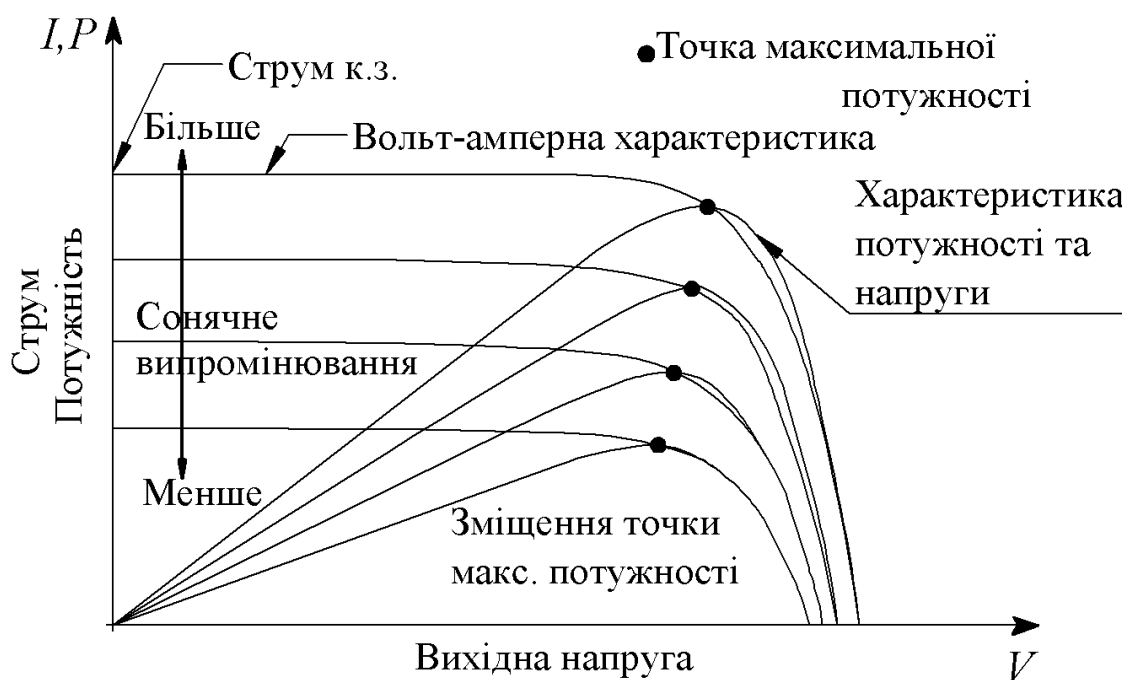


Рисунок 1.12 – Зміна ТМП сонячної панелі на різних рівнях

Тому вихідна напруга сонячної панелі також зростає, використовуючи більше сонячної енергії під час зарядки. При цьому батарею можна заряджати до 100%.

ШІМ, у свою чергу, поділяється на два підвиди:

- послідовні;
- шунтові.

Послідовні контролери від'єднують батарею від сонячної панелі для регулювання системи, використовуючи два напівпровідникові транзистори, щоб запобігти протіканню струму в обох напрямках.

У шунтуючих контролерах при необхідності припинення зарядки

аккумуляторної батареї електричний струм протікає через шунт в обхід аккумулятора [32].

Висновки до першого розділу

Розглянуто способи перетворення сонячної енергії в електричну. Здійснено аналіз видів сонячних електростанцій. Проведено огляд будови та принципу роботи СЕС. Представлено інформацію про обладнання та його різновиди.

					БРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						26
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

2 РОЗРОБКА ГІБРИДНОЇ СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ

2.1 Вибір сонячних панелей

З можливих варіантів була обрана полікристалічна сонячна панель бренду NEOSUM™ Standard 72 – NS-335PP. В основі її лежать вдосконалені полікристалічні елементи 5BB. Осередки дозволяють отримати високу продуктивність навіть при низькій інсоляції і в суворих кліматичних умовах. Гарантійний термін служби сонячної панелі становить понад 30 років. Виробник рекомендує використовувати такі панелі для будівництва електростанцій потужністю від сотень ват до декількох МВт.

Характеристики сонячної панелі зведені в таблицю 2.1.

Таблиця 2.1 – Технічні характеристики сонячної панелі NEOSUM NS-335PP

Електричні характеристики	
Параметр	Значення
Сонячна батарея	72 комірки, 5BB, клас А, 6x12
Потужність модуля	335 Вт
Допуск потужності	до +10 Вт
Напруга під навантаженням	38.0Е
Струм навантаження	8.82А
Напруга холостого ходу	46.1Б
Струм короткого замикання	9.31А
ККД сонячного модуля	17.4%
Електрична міцність	6000В
Електричні характеристики	
Параметр	Значення

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

БРМА 24.00.00.000 ПЗ

Арк.

27

Продовження таблиці 2.1

t °C експлуатація та зберігання	від -40 °C до +85 °C
Клас вогнезахисту	C
Розміри АхВхС	1950х990х40мм

На рисунку 2.1 показаний зовнішній вигляд сонячної панелі NEOSUM NS-335PP.

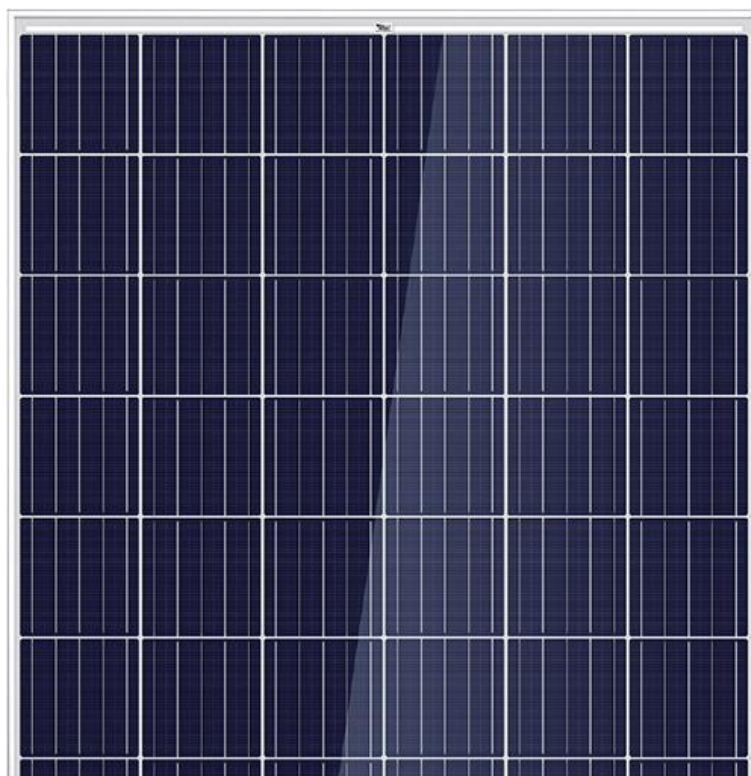


Рисунок 2.1 – Сонячна панель NEOSUM NS-335PP [33]

Залежно від освітленості вольт-амперна характеристика сонячної панелі буде відрізнятися на рисунку 2.2.

Конструкція сонячної панелі посилена проти снігу та вітру. Посилена 35х40 мм рама і загартоване скло 3,2 мм витримують високе снігове навантаження до 5400 Па, вітрове навантаження до 2400 Па.

Сонячна панель захищена від пилу, піску та солі. Низька

					БРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

вологопроникність модулів NEOSUN забезпечує високу стійкість до корозії, сольового туману і аміаку, що гарантує стабільну роботу сонячної електростанції навіть у суворих умовах — біля берегової лінії та на півночі.

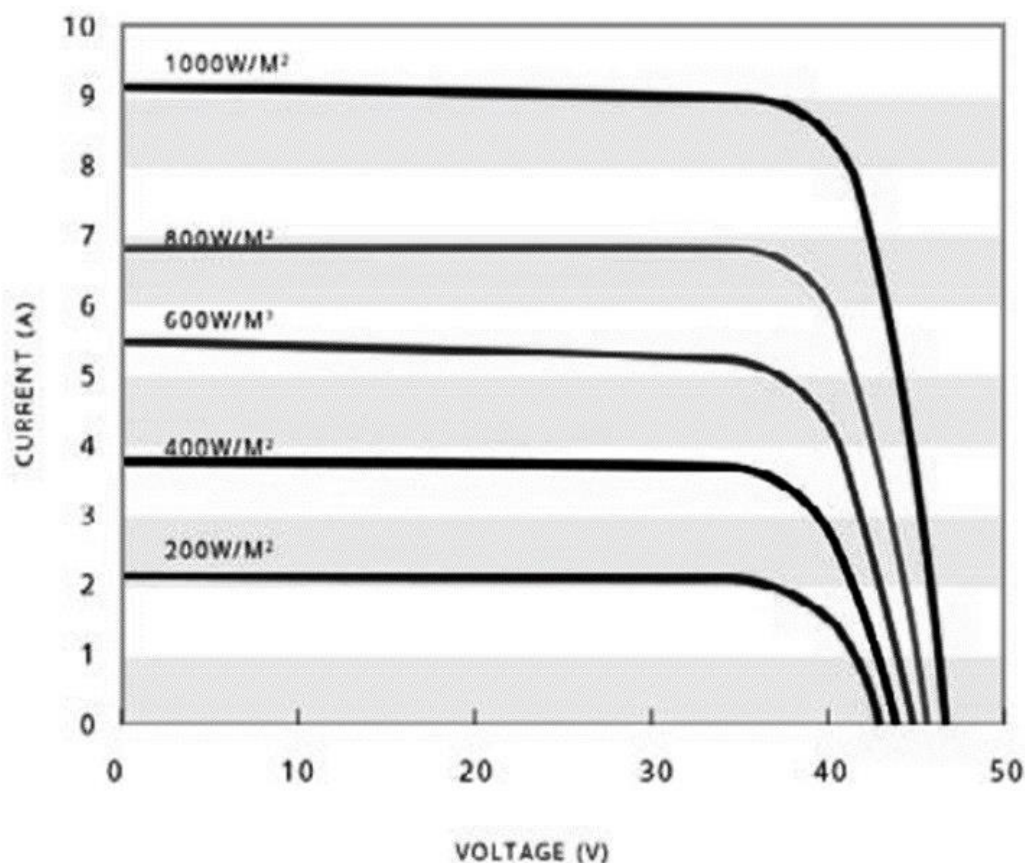


Рисунок 2.2 - Вольт-амперна характеристика сонячної панелі при різному ступені освітленості

2.2 Вибір інвертора

Щоб підібрати необхідний інвертор, а також його відповідну потужність, необхідно знати потужність сонячних панелей, що генерують електроенергію, і максимальну потужність, споживану навантаженням.

Малопотужні сонячні електростанції потужністю до 5 кВт зазвичай підключаються до одного інвертора. Для електростанцій більшої потужності,

каскадне підключення інверторів. У цьому випадку, якщо один з інверторів вийде з ладу, не всі сонячні панелі будуть простоювати [34].

2.2.1 Вибір потужності інвертора в залежності від потужності сонячних панелей

Більшість рекомендацій щодо вибору інвертора полягають у тому, щоб вибирати інвертор, який на 30% потужніший за сонячні панелі. Якщо інсоляція нижче 1000 Вт/м^2 , ці рекомендації можуть тільки нашкодити: знижується продуктивність сонячної електростанції (рис. 2.3).

Аналіз графіка показує, що при навантаженні інвертора нижче 30% від номінального значення його ККД знижується. У більшості випадків сонячні панелі отримують $100 - 400 \text{ Вт/м}^2$ сонячної радіації. Випромінювання вище 1000 Вт/м^2 становить не більше 10% часу. Виходячи з цього, початкове збільшення потужності інвертора на 30% призведе до не ефективної роботи під час перетворення постійного струму в змінний.

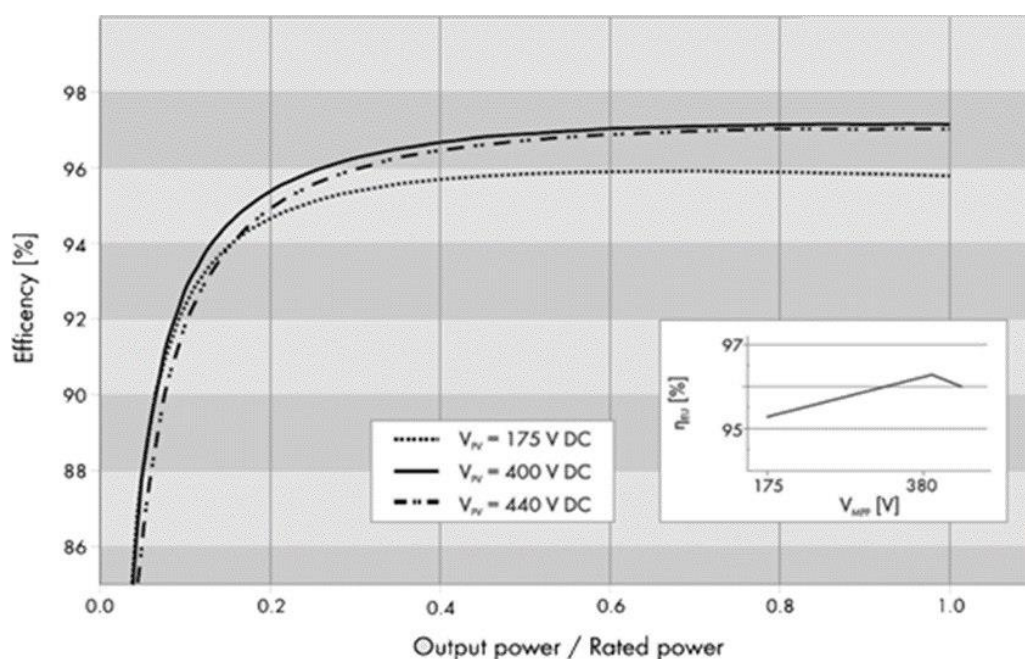


Рисунок 2.3 – Вплив ефективної роботи інвертора від навантаження на сонячну панель

Чим північніше знаходяться сонячні панелі, тим менший запас інвертора потрібно вибирати. У деяких випадках потрібно брати запас, рівну 90% від номінальної. Також додатковим аргументом для вибору менш потужного інвертора є його ціна. Чим потужніший інвертор, тим вища його ціна [35].

2.1.2 Вибір потужності інвертора в залежності від потужності навантаження

При виборі потужності інвертора необхідно враховувати умову: потужність інвертора повинна бути на 20-30% вище сумарної потужності приймачів змінного струму. У цьому випадку всі медіатори будуть нормально працювати при живленні від акумулятора. Це пов'язано з тим, що при запуску багатьох приладів їх пускові струми можуть бути в 2-9 разів вище номінальних. Якщо потужності інвертора буде недостатньо, то таке навантаження не зможе запуснитися. При виборі потужності інвертора потрібно враховувати пускові струми навантажень [36].

Для системи було обрано трифазна інверторна система SILA PRO 20 кВт.

2.3 Вибір контролера заряду акумулятора

Контролер зарядки акумулятора є важливим пристроєм. При його відсутності інше обладнання таке, як акумуляторна батарея може вийти з ладу. Контролер виконує функцію правильної зарядки акумулятора. При виборі контролера ми будемо враховувати вихідні параметри вузлів сонячних панелей.

У нашому випадку буде обраний контролер MPRT. Це пов'язано з тим, що взимку в регіоні низька сонячна активність. А також з тим, що в контролері є функція пошуку максимальної передачі енергії. В результаті від однієї сонячної панелі можна отримати до 2,5 разів більше енергії, ніж без такого контролера.

Незважаючи на високу вартість MPRT-контролера, він швидко окупить всю сонячну електростанцію [35].

					БРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

У нашій сонячній електростанції було обрано трифазну інверторну систему SILA PRO 20 кВт у складі якої за замовчуванням наявний контролер ММРТ.

2.4 Вибір акумуляторних батарей

При облаштуванні сонячної електростанції слабким місцем є накопичувач енергії. Термін служби багатьох акумуляторів становить не більше 7 років при постійних циклах заряду-розряду.

Для цієї сонячної електростанції надійною батареєю для систем резервного електропостачання та для роботи в системах живлення на сонячних батареях зарекомендувала себе тягова гелієва батарея SunStonePower MLG 200Ah 12V серії MLG (рис. 2.4). Силікагель використовується в гелієвих акумуляторах. Він являє собою роздільник між свинцевими пластинами. Його заливають в порожнечі між плитами.



Рисунок 2.4 – Гелієва батарея SunStonePower MLG 200Ah 12V

					БРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

Акумуляторні батареї SunStonePower серії MLG можуть працювати циклічно або буферно.

Сфери застосування:

- сонячні електростанції;
- вітрові електростанції;
- джерела безперебійного живлення;
- телекомунікаційне обладнання.

Термін служби цього акумулятора у буферному режимі 12 років. Фактичний термін служби акумулятора залежить від багатьох параметрів, температури експлуатації, глибини розряду, струмів заряду і т.д.

Особливості та переваги акумуляторів SunStonePower [37]:

- повністю герметична конструкція;
- призначений для глибоких розрядів;
- не потрібно додавати воду;
- експлуатація у будь-якому положенні;
- висока щільність енергії за рахунок легування кальцієм свинцевих пластин;
- низький рівень саморозряду;
- низький саморозряд.

На рисунку 2.5 показана залежність циклів розряду акумулятора від глибини розряду.

Основні параметри гелієвого акумулятора SunStonePower MLG 200Ah 12V наведені в таблиці 2.2.

Гелієву батарею не можна тримати в розрядженому стані. Це призводить до сульфатації і зниження ємності акумулятора.

Акумулятор краще брати з запасом ємності, тому що гелієвий акумулятор не любить повного розряду. Також термін служби акумулятора залежить від температури навколишнього середовища. Прямі сонячні промені, температура вище 35⁰ C можуть стати причиною висихання електроліту. Це, в свою чергу,

					БРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

знижує ємність акумулятора [25].

На рисунку 2.6 показана ємність акумулятора в залежності від температури навколишнього середовища.

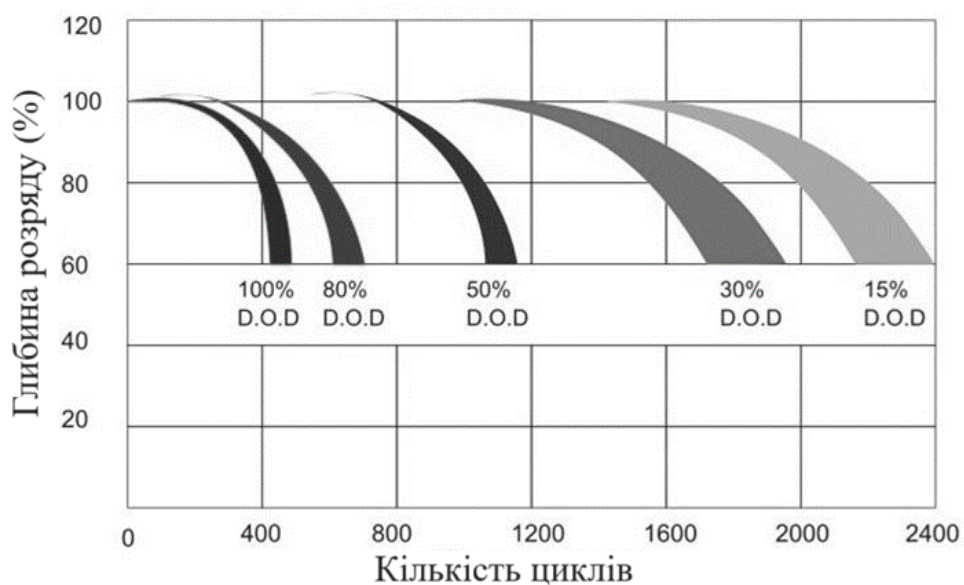


Рисунок 2.5 – Залежність циклів розряду від глибини розряду гелієвої батареї SunStonePower MLG 200Ah 12V

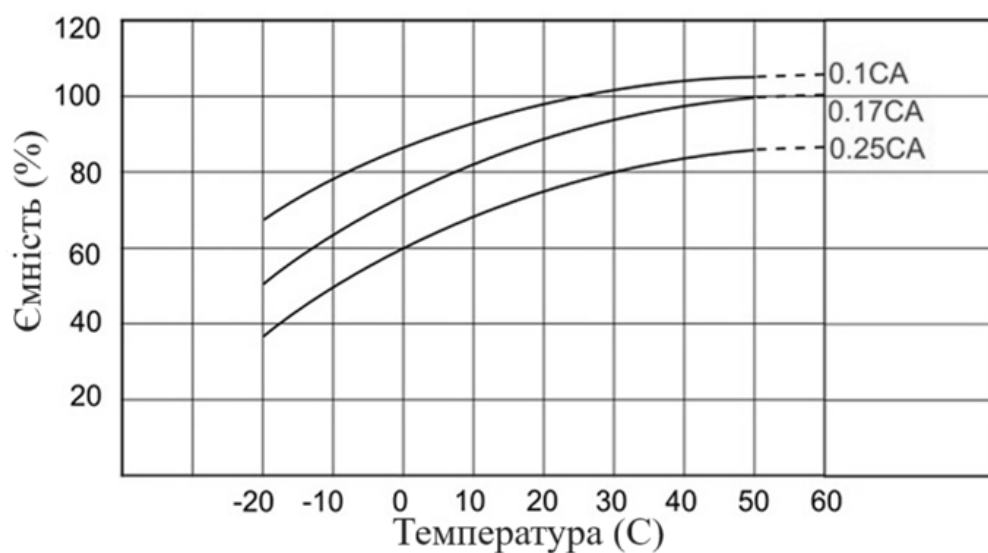


Рисунок 2.6 – Залежність ємності гелієвого акумулятора SunStonePower MLG 200Ah 12V від температури навколишнього середовища

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Таблиця 2.2 - Основні параметри гелієвого акумулятора SunStone Power
MLG 200Ah 12V

Найменування параметра	Значення параметра
Напруга	12 В
Ємність	200 Ач
Фактична потужність при 10-му циклі розряду	210 Ач
Товщина позитивних пластин	2,9 мм
Товщина негативних пластин	2,1 мм
Термінал	Болт М8
Термін служби:	
Буферний режим	12 років
Циклічний режим при 30% глибині розряду	2000 циклів розряду/заряду
Циклічний режим при глибині розряду 50%	1100 циклів розряду
Циклічний режим при 100% глибині розряду	450 циклів розряду/заряду
Температури:	
Зберігання	від -15°C до +40°C
Заряджання	від 0°C до +40°C
Розряд	від -15°C до +50°C
Ємність при + 25 °С	200 Ач
Ємність при + 10 °С	190 Ач
Ємність при 0 °С	180 Ач
Ємність при температурі -10 °С	160 Ач
Ємність при температурі - 20 °С	140 Ач
Параметри заряду, розряду:	
Заряд постійним струмом (25°C)	
Циклічний режим	14.4-14.8 В.
Буферний режим	13,5–13,8 В
Максимальна напруга заряду	14,8 В

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

БРМА 24.00.00.000 ПЗ

Арк.

35

Продовження таблиця 2.2

Мінімальна напруга заряду	10,6 В
Максимальний струм заряду	60 А
Максимальний струм розряду	2000 А (5 с)
Внутрішній опір	3 мОм

Висновки до другого розділу

Для розробки сонячної гібридної станції було обрано наступне обладнання:

- полікристалічна сонячна панель бренду NEOSUM™ Standard 72 – NS-335PP;
- гібридний інвертор SILA Pro 10000MH (контролер ММРТ міститься за замовчуванням);
- акумуляторна гелієва батарея SunStonePower MLG 200Ah 12V.

					БРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

3 РОЗРАХУНОК СИСТЕМИ НАКОПИЧЕННЯ ТА ПЕРЕТВОРЕННЯ ЕНЕРГІЇ

3.1 Розрахунок кута нахилу сонячних панелей

Більшість сонячних панелей можуть перетворювати енергію сонця, не тільки безпосередньо потрапляючи на панель, але і відбиту частину. Іншими словами, сонячні батареї можуть житися від прямого і дифузного випромінювання [21].

Коефіцієнт альbedo визначає здатність поверхні відбивати сонячне світло. Число виражається безрозмірною величиною і може приймати значення від 0 до 1. Альbedo слід враховувати, якщо сонячні панелі мають нахил щодо землі більше 0°. Для кута нахилу 0° коефіцієнт альbedo близький до нуля. Використовуючи формулу 2.1, можна знайти значення альbedo [15]:

$$A = \frac{1 - \cos\alpha}{2} \quad (3.1)$$

де α - кут нахилу площини щодо горизонталі.

У таблиці 3.1 наведено типові значення коефіцієнта альbedo для поверхонь.

Додатковою причиною встановлення сонячних панелей під кутом до поверхні є використання розсіяного світла в зимовий період. Взимку все вкрито снігом, а значить високий ступінь розсіяного світла. Згідно з таблицею 3.1, світло, відбите від снігу, має коефіцієнт альbedo від 0,5 до 0,9.

Таблиця 3.1. – Типові значення коефіцієнта альbedo для поверхонь

Тип поверхні	Коефіцієнт альbedo
Асфальт	0,12
Зелена трава	0,25

Продовження таблиці 3.1

Пісок	0,40
Поверхня землі	0,17
Сніг	0,80 – 0,90
Хвойний ліс	0,09 – 0,15
Листяний ліс	0,15 – 0,18
Танення снігу	0,5 – 0,7
Вода	0,10

Після створення моделі встановлення вертикальних сонячних панелей у програмі Photovoltaic software (далі PVsyst) ми отримуємо середньорічний графік можливої генерації сонячної енергії за допомогою сонячних панелей (рис. 3.2).

Можемо бачити, що мінімуми та максимуми графіка знизилися. Різниця не більше, ніж в 3 рази. На вихідному графіку (рис. 3.1) різниця склала більше 5 разів. На графіку (рис. 3.2) видно, що розсіяне світло може досягати 50% від прямого падаючого світла.

Аналіз параметрів панелей показує, що з 1м² можна отримати 167 Вт енергії.

За допомогою рисунка 3.1 знаходимо отриману потужність на квадратний метр. Результати наведені в таблиці 3.2.

3.2 Розрахунок споживання об'єкта

За цим графіком (рис. 3.3) фазного струму в залежності від часу видно, що струм у фазі А в деякі моменти часу має особливу відмінність від струму у фазі В, це може бути пов'язано з нерівномірно розподіленим навантаженням. При максимальному значенні різниця між цими фазами становить 27%. Це значення вище норми (рекомендоване значення - 15%). Якщо є можливість, навантаження слід поетапно вирівнювати.

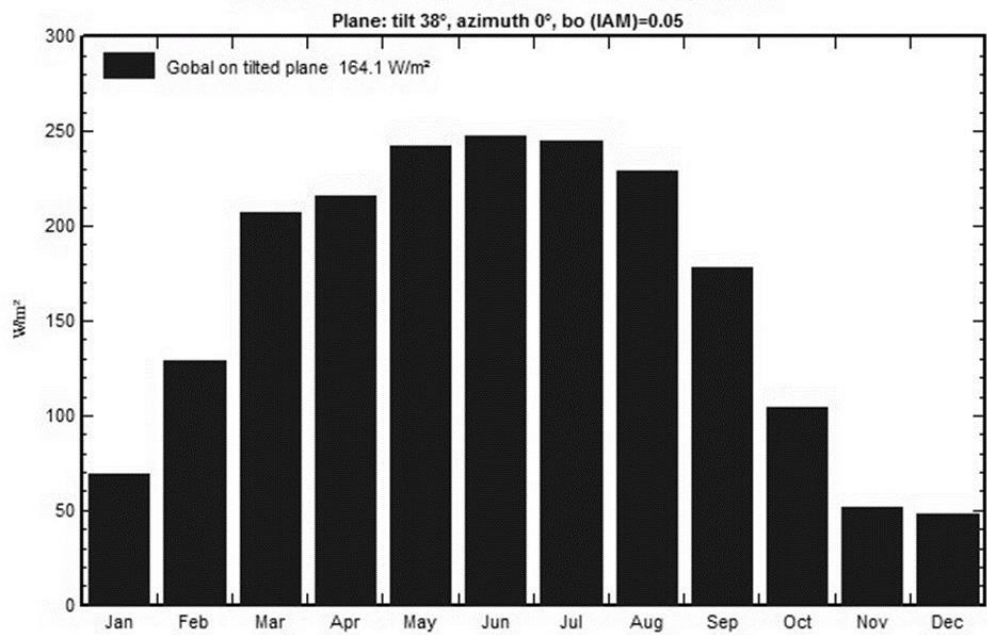


Рисунок 3.1 – Графік річного виробництва енергії при зверненні сонячної панелі на південь під кутом 38°

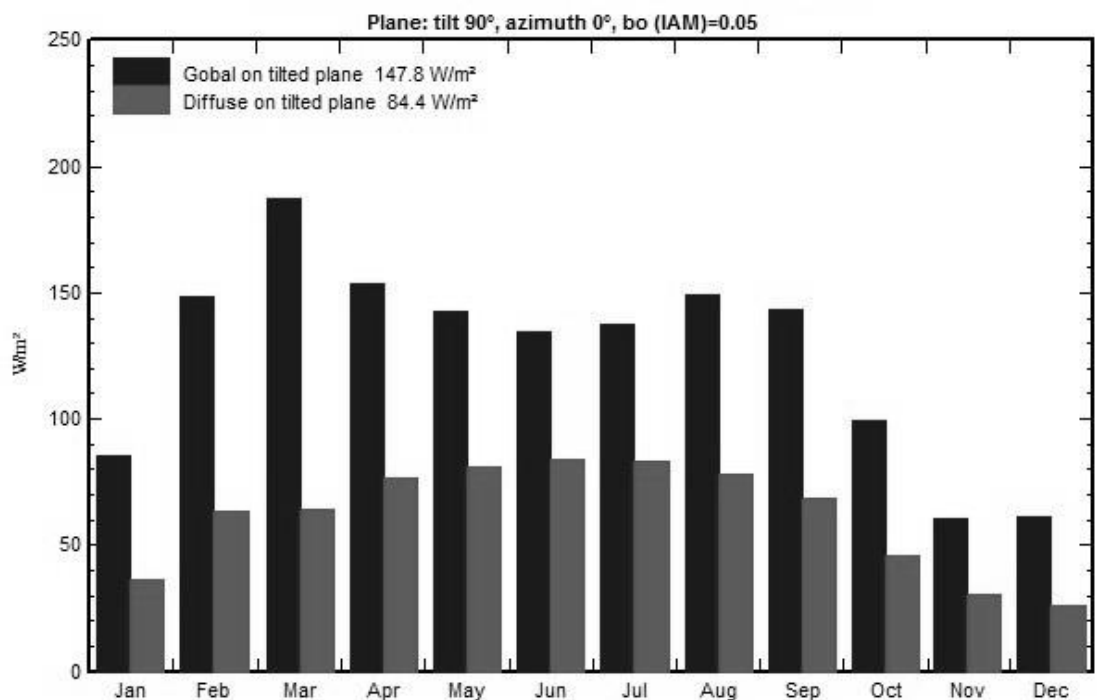


Рисунок 3.2 – Середній графік генерації електроенергії сонячними панелями з урахуванням коефіцієнта альbedo

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

БРМА 24.00.00.000 ПЗ

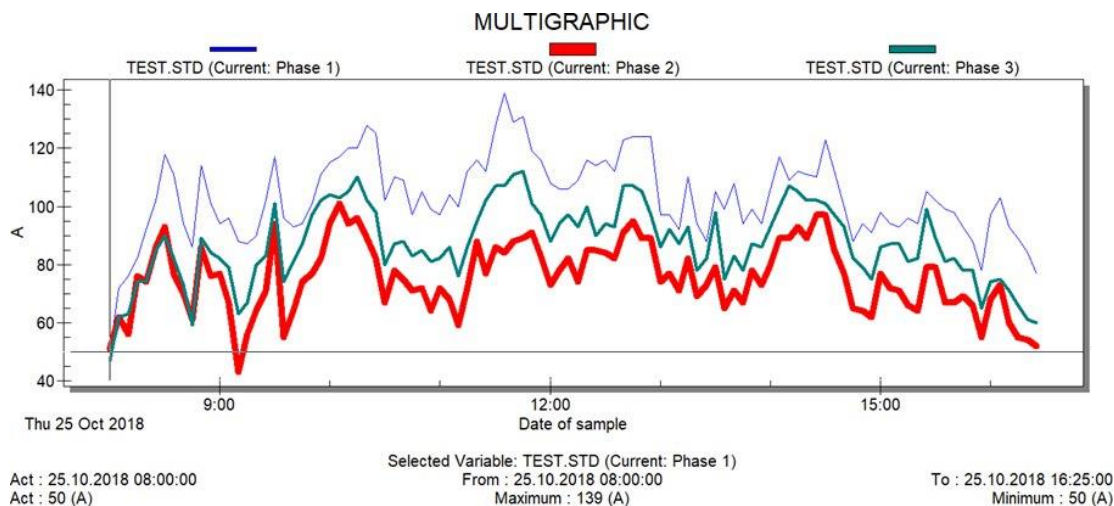


Рисунок 3.3 – Діаграма струму

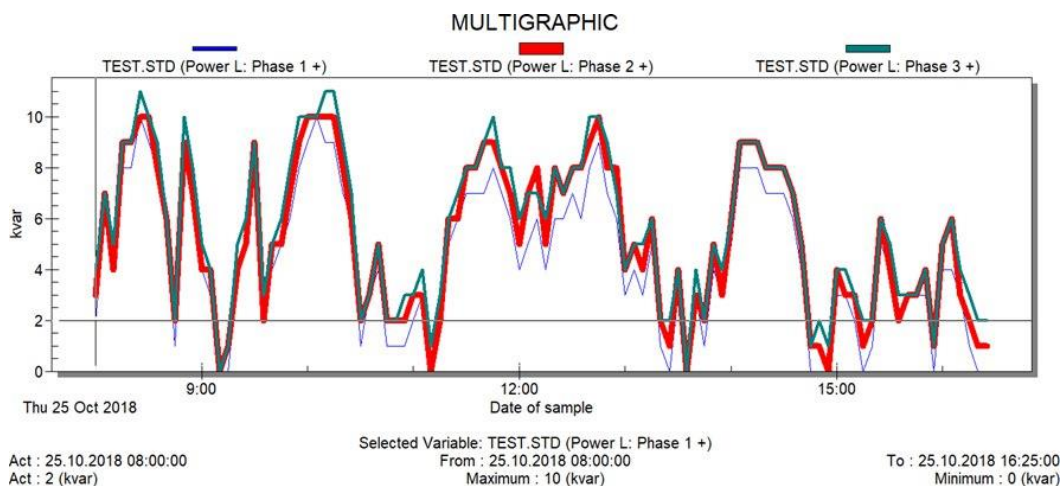


Рисунок 3.4 – Діаграма реактивної потужності

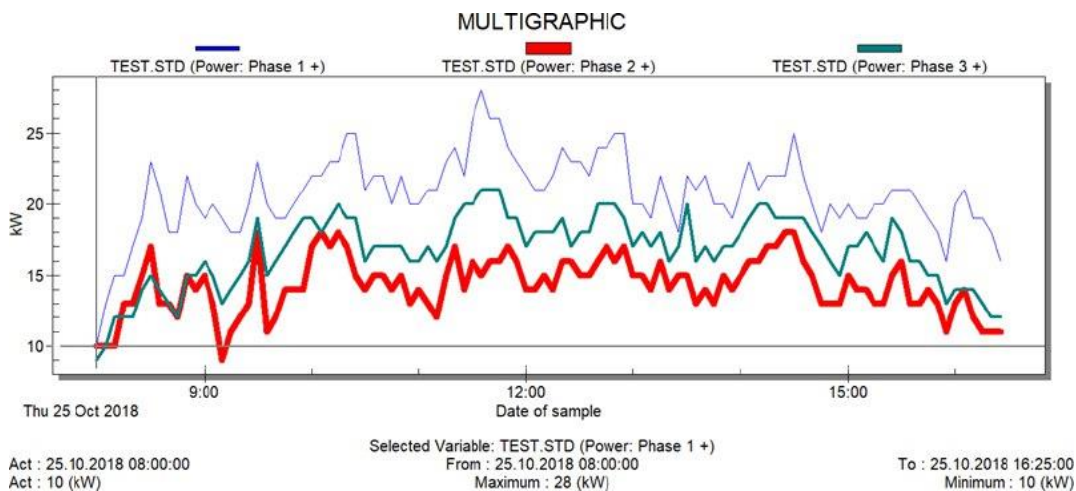


Рисунок 3.5 – Діаграма активної потужності

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

БРМА 24.00.00.000 ПЗ

Арк.

40

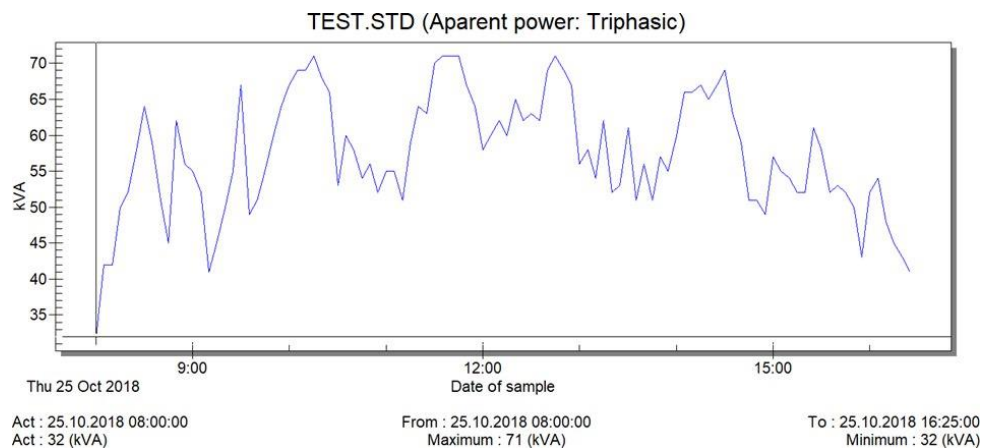


Рисунок 3.6 – Діаграма повної потужності

На рисунках 3.4–3.6 Наведено добові графіки повного, активного та реактивного споживання енергії. Виходячи з графіків (рис. 3.5), на фазу А припадає велике навантаження. На графіку видно, що орієнтовно о 8:00 ранку значно зростає навантаження.

Далі бачимо, що до 12 години кількість споживачів продовжує збільшуватися, а після 12 години відбувається поступове зменшення кількості споживачів, а значить і споживання електроенергії зменшується. У фазах В і С ми бачимо приблизно аналогічні графіки, але потужність помітно нижче, так як до них підключається менше споживачів.

З аналізу діаграми 3.6. Можна зробити висновок, що максимальна сумарна споживана потужність становить 71 кВА, мінімальна - 32 кВА в робочий час доби.

Графік (рис. 3.7) коефіцієнта потужності безпосередньо пов'язаний з графіком потужності. Видно, що при падінні потужності в трьох фазах $\cos \varphi$ значно зростає. Це говорить нам про те, що кількість споживачів значно зменшується. Значення $\cos \varphi$ в межах норми.

Аналіз вихідних даних показує, що максимальне споживання навчального корпусу Е становить 71 кВА. Середнє значення – 55 кВА.

					БРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

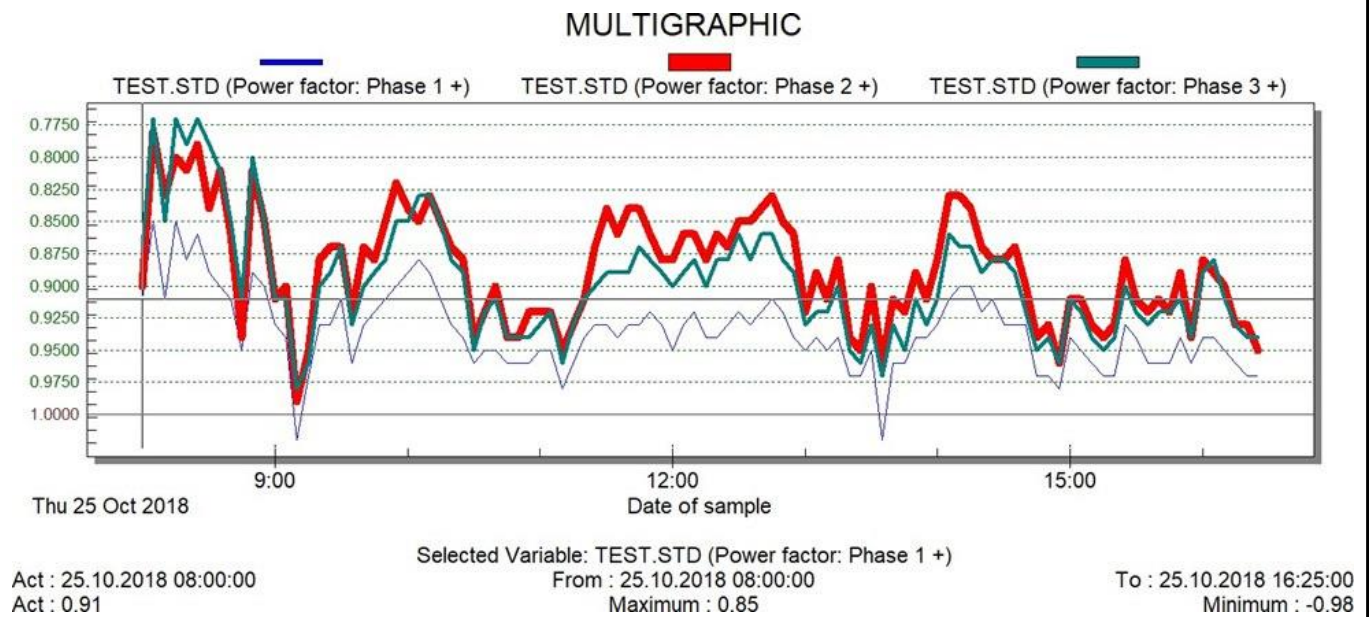


Рисунок 3.7 – Діаграма коефіцієнту потужності

Сонячна електростанція повинна забезпечувати електроенергією тільки малопотужні системи освітлення. У приміщеннях на стелі встановлені світлодіодні лампи.

Розрахунки показали, що в середньому кожен об'єкт споживає 200 Вт.

Знайдемо максимальну споживану потужність:

$$P = P_{\text{осв}} \cdot A = 200 \cdot 108 = 21600 \text{ Вт} \quad (3.1)$$

де $P_{\text{осв}}$ - середня потужність, необхідна для освітлення одного приміщення;
 A - кількість приміщень.

Потреба в освітленості коливається від 50 до 65%. В результаті необхідна потужність для освітлення максимальним навантаженням 70%:

$$P_{\text{осв}65} = P \cdot K_{\text{заван}} = 21600 \cdot 0,65 = 14014 \text{ Вт} \quad (3.2)$$

Будь-яка людська діяльність проходить з 8:00 до 21:30. Виходить, що освітлення потрібне з 8:00 до 22:00. Решту ночі освітлення майже не

					БРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк. 42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

використовується. У разі відсутності електроенергії необхідно накопичувати енергію для автономного електропостачання:

$$W = P_{\text{осв65}} \cdot t = 14014 \cdot 14 = 196560 \approx 200000 \text{ Вт}\cdot\text{год} \quad (3.3)$$

де $t = 14$ - час використання світла, годин.

3.3 Розрахунок параметрів сонячних панелей

Аналіз параметрів сонячної панелі показує, що з 1 м^2 можна отримати 167 Вт енергії.

За допомогою рисунка 2.6 можна знайти отриману потужність на квадратний метр. Результати наведені в таблиці 3.2.

Згідно з формулою 3.3, необхідно отримати 200 кВт·год енергії в сонячний час доби. Середньомісячна тривалість світлового дня наведена в таблиці 3.3. За умови, що вони встановлені під кутом 38° .

Таблиця 3.2 – Потужність яку можна отримати з 1 м^2

Місяць	Міць		
	Пряме світло	Розсіяне світло	Сумарно
Січень	85	35	120
Лютий	150	65	215
Березень	190	65	255
Квітень	160	80	240
Травень	140	85	225
Червень	135	80	215
Липень	140	80	220

Продовження таблиці 3.2

Серпень	145	80	225
Вересень	150	80	230
Жовтень	100	50	150
Листопад	60	30	90
Грудень	60	25	85

Таблиця 3.3 – Середня тривалість світлового дня по місяцях в м.
Хмельницький

Місяць	Тривалість, год
Січень	8
Лютий	9,5
Березень	12
Квітень	14
Травень	16
Червень	17
Липень	16,5
Серпень	15
Вересень	12,5
Жовтень	10,5
Листопад	8,5
Грудень	7,5

З таблиці 3.2 беремо сумарну потужність з 1 м² і тривалість світлового дня з таблиці 3.3 розраховуємо необхідну потужність на кожен місяць, яку потрібно отримати за 1 годину світлового дня (формула 3.4).

$$P = \frac{W}{t} = \frac{200000}{8} = 25\ 000 \text{ Вт} \quad (3.4)$$

де W - енергія, яку потрібно отримати від Сонця за сонячну добу;

t - довжина сонячної доби.

Всі результати розрахунків за кожен місяць зведені в таблицю 3.4.

Таблиця 3.4 – Необхідна потужність сонячної електростанції по місяцях в Хмельницькій області

Місяць	Потужність, кВт
Січень	25
Лютий	22,2
Березень	16,7
Квітень	14,3
Травень	12,5
Червень	11,8
Липень	12,1
Серпень	13,3
Вересень	16
Жовтень	19
Листопад	23,5
Грудень	26,7

Аналіз даних про активну потужність з таблиці 3.4. показує, що максимально необхідна потужність потрібна взимку – 26,7 кВт у грудні. Мінімум – 11,8 кВт у липні. Різниця обумовлена тривалістю сонячного дня.

Розрахуємо необхідну кількість сонячних панелей. Виробник сонячних панелей вказує, що один модуль може генерувати 335 Вт. Отримані значення округляються до більшого значення:

$$N = \frac{P}{P_{\text{панелі}}} = \frac{26700}{335} = 79,7 = 80 \text{ шт.} \quad (3.5)$$

					БРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

де P - необхідна потужність всіх сонячних панелей, Вт;

$P_{панел}$ - потужність однієї сонячної панелі в зборі, Вт.

Проведемо розрахунки за формулою 3.5 для кожного місяця. Результати зведені в таблицю 3.5.

Таблиця 3.5 – Необхідна кількість сонячних збірок по місяцях в м. Хмельницький

Місяць	Кількість сонячних панелей, шт.
Січень	75
Лютий	67
Березень	50
Квітень	43
Травень	38
Червень	36
Липень	37
Серпень	40
Вересень	48
Жовтень	57
Листопад	71
Грудень	80

Аналіз даних таблиці 3.5 показує, що найбільша кількість збірок сонячних панелей потрібна у грудні – 80 одиниць, найменша у червні – 36 одиниць. Різниця між мінімальним і максимальним зарядом батарей відрізняється більш ніж в 2 рази. Виходить, що влітку 54 акумулятори працюватимуть вхолосту.

За годину простою 54 сонячні збірки змогли виробити:

$$W = P_{панелі} \cdot N = 335 \cdot 54 \approx 18 \text{ кВт} \cdot \text{год} \quad (3.6)$$

Отриману енергію можна підмішувати в електричну мережу всього корпусу інституту. А якщо врахувати, що влітку заняття в будівлі не проводяться, то практично всі 80 вузлів сонячних панелей будуть працювати вхолосту. Щоб прискорити термін окупності сонячної електростанції, необхідно використовувати гібридний інвертор.

3.4 Розрахунок параметрів інвертора

Більшість компаній, що займаються продажем комплектуючих для сонячних електростанцій, продають інвертор і контролер заряду акумулятора в одному блоці [36].

Трифазний гібридний інвертор необхідний для роботи системи паралельно з мережею і незалежно від неї. При використанні гібридного інвертора структурна схема всіх елементів буде виглядати так, як показано на рисунку 3.8.

В якості інвертора була обрана трифазна інверторна система SILA PRO 20 кВт (рис. 3.9). Це система, що складається з двох інверторів SILA Pro 10000МН,

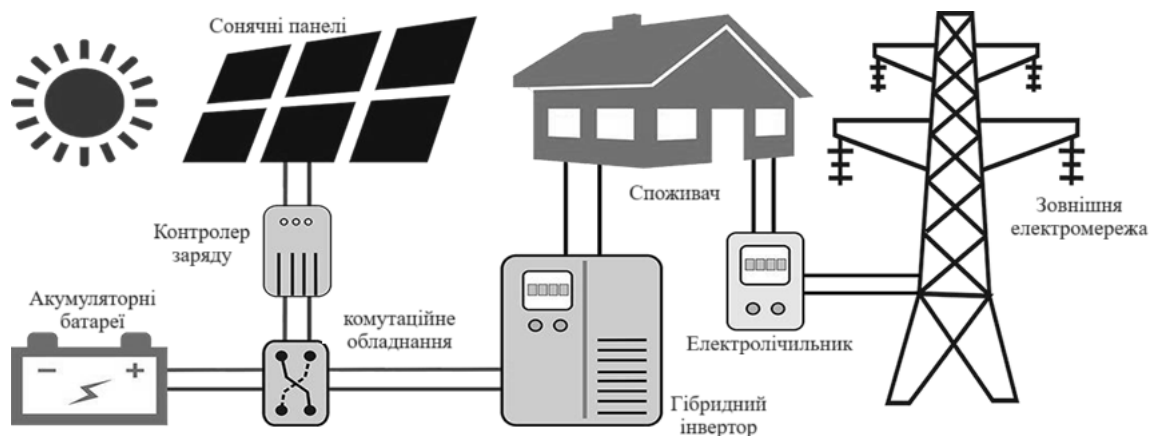


Рисунок 3.8 – Схема гібридної сонячної електростанції

з'єднаних паралельно. Він має всі характеристики інверторів SILA Pro 10000МН і робочу потужність 20 кВт.

Трифазна інверторна система SILA PRO 20 кВт – це унікальний пристрій «три в одному», а саме:

- MPPT контролер заряду;
- мережевий інвертор;
- автономний інвертор з вибором пріоритетів заряджання та навантаження.

Трифазна інверторна система SILA PRO 20 кВт використовує технологію Infini Hybrid. Все навантаження, підключене до входу навантаження, живиться від сонячних панелей та акумуляторів. Якщо потужність цього навантаження невелика, то енергія, що залишилася, починає заряджати акумулятор. Коли батарея заряджається, електроенергія подається на інвертор для змішування з мережею [36].



Рисунок 3.9 – Трифазна інверторна система SILA PRO 20 кВт

Якщо між інвертором і лічильником електроенергії є навантаження, вся енергія з виходу інвертора буде живити це навантаження. Якщо навантаження немає, енергія піде в мережу.

					БРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

Виробник заявляє, що ця технологія дозволить використовувати за призначенням до 70-75% енергії сонця.

Трифазна інверторна система SILA PRO 20 кВт при наявності мережі зміщує енергію, отриману за допомогою сонячних панелей. Також в цей час акумулятор заряджається. Навантаження для такого режиму роботи повинна бути підключена до загальної мережі через внутрішні реле.

Якщо мережа вимикається, інвертор починає працювати автономно, забезпечуючи навантаження, підключене до клем LOAD, енергією від сонячних панелей та акумуляторів. При такому типі потужності навантаження пріоритетно віддається енергії від сонячних панелей. Якщо сонячні панелі в автономній зоні генерують більше енергії, ніж може спожити навантаження, решта енергії витрачається на зарядку акумулятора. Режими роботи інвертора показані на рисунку 3.10 [34].

Трифазна інверторна система SILA PRO 20 кВт має функцію MPPT – відстеження точки максимальної потужності сонячної панелі.

Основними особливостями трифазної інверторної системи SILA PRO 20 кВт є:

- мікропроцесорне управління;
- трьохфазна напруга;
- рк-дисплей, що надає повну інформацію;
- налаштування струму заряду акумулятора до 200 А;
- моніторинг та керування за допомогою функції стільникового зв'язку та інтернету;
- паралельне підключення до 6 пристроїв (вбудованих);

Основні режими роботи інвертора:

- паралельно з сіткою (Grid-tie). Інвертор подає енергію в мережу. Батарейки не потрібні;
- паралельно з мережею в Grid-tie з резервним режимом. Інвертор подає енергію в акумулятор і в мережу. Якщо мережа виходить з ладу, вона продовжує

					БРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

подавати енергію в навантаження за рахунок акумулятора;

- автономний режим. Інвертор є єдиним джерелом живлення. Він подає енергію на навантаження від сонячних панелей і акумуляторів;

Основні параметри гібридного трифазного інвертора SILA PRO 20 кВт наведені в таблиці 3.6.

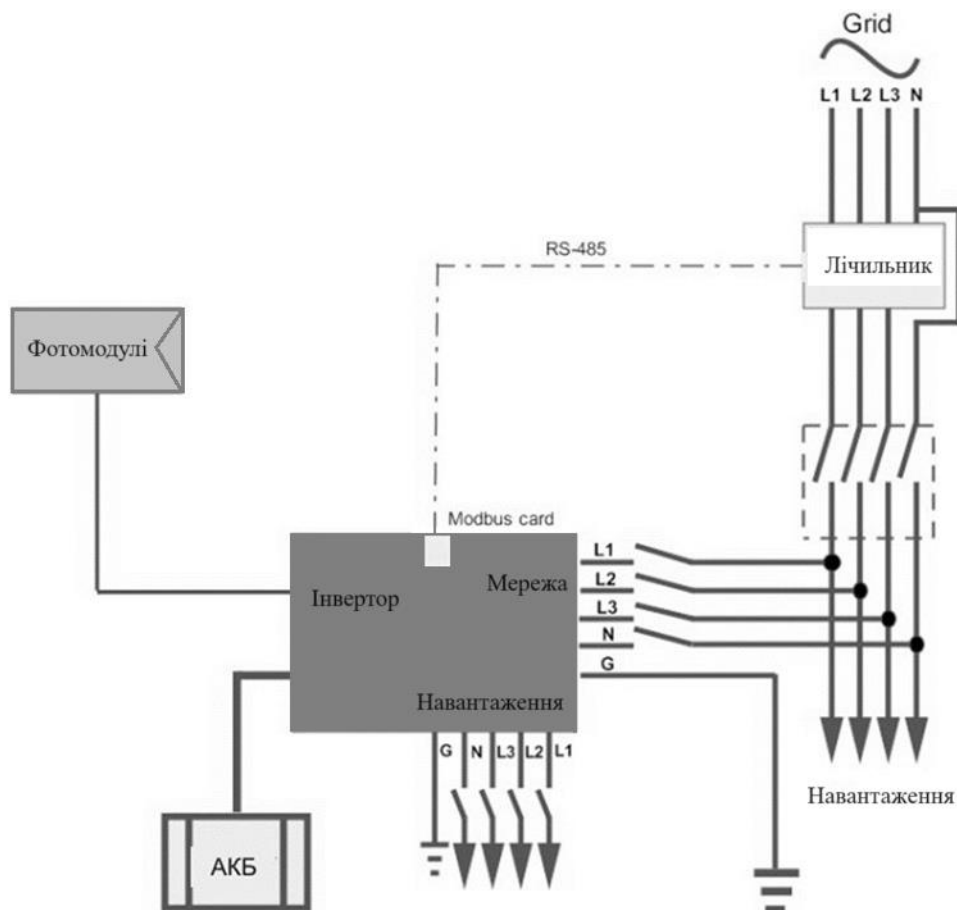


Рисунок 3.10 – Схема підключення гібридної сонячної станції

Таблиця 3.6 - Основні параметри гібридного трифазного інвертора SILA PRO 20 кВт

Назва властивості	Значення
Тип пристрою	Безтрансформаторний
Кількість фаз	3
Потужність	20 000 Вт

Продовження таблиці 3.6

Пікова потужність	40 000 Вт (не більше 5 с)
Максимальна потужність сонячних батарей	29 700 Вт
Номінальна вихідна потужність	20 000 Вт
Максимальна потужність заряду	19 200 Вт
Комунікаційні порти	Інтерфейс RS-232/USB та CAN
Функція дистанційного керування та моніторингу (SNMP Card додатково)	Є
Функція моніторингу стільникової мережі (GPRS-карта опціонально)	Є
Паралельне з'єднання	Так
У режимі мережевого інвертора	
Вхідні характеристики сонячних панелей	
Номінальна/максимальна напруга	720В /900 В (DC)
Мінімальна напруга	320 В
Робочий діапазон контролера MPPT	400 - 800 В
Кількість MPPT-контролерів	2 / 2 x 18,6 А
Вихідна мережа	
Номінальна вихідна напруга	230В (AC) (P-N) на фазу
Діапазон вихідної напруги	170–280 В (AC) (P-P) на фазу
Номінальний вихідний струм	14,5 А на фазу
Коефіцієнт потужності	> 0,99
Ефективність	
Максимальний коефіцієнт конверсії (постійний/змінний струм)	96%

Продовження таблиці 3.6

В режимі автономного інвертора	
Вхід змінного струму	
Мінімальна напруга	120-140В (АС) на фазу
Діапазон вхідної напруги	170–280В (АС) на фазу
Максимальний вхідний струм	40 А
Вхідні характеристики сонячних панелей	
Максимальна напруга пост. струму	900 В
Робочий діапазон контролера МРРТ	400 - 800 В
Кількість МРРТ-контролерів	2 / 2 x 18,6 А
Вихід батареї	
Номінальна вихідна напруга	230 В(АС) (P-N) / 400 В(АС) (P-P)
Форма вихідного сигналу	Чиста синусоїда
Коефіцієнт трансформації з постійного струму в змінний струм	91%
У режимі гібридного інвертора	
Вхідні характеристики сонячних панелей	
Оцінений/Максимум Напруги	720 В / 900 В (DC)
Мінімальна напруга	320 В
Робочий діапазон контролера МРРТ	400 - 800 В
Кількість МРРТ-контролерів	2/2 x 18,6 А
Вихід АС	
Номінальна вихідна напруга	230 В(АС) (П-Н) / 400 В(АС) (П-П)
Діапазон вхідної напруги	184–264,5 В (АС) на фазу
Максимальний вхідний струм	14,5 на фазу
Вхід АС	
Мінімальна напруга	120-140В (АС) на фазу

Продовження таблиці 3.6

Діапазон вхідної напруги	170–280В (АС) на фазу
Максимальний вхідний струм	40 А
Батарея	
Зарядний струм	20–400А (120 А за замовчуванням)
Номінальна напруга	48 В

3.5 Розрахунок кількості обладнання

Якщо сонячні батареї з тих чи інших причин перебувають у тіні, то вони утворюють навантаження. Щоб цього уникнути, потрібно підключити байпас до кожної панелі (рисунок 3.14). Зазвичай такі діоди вже вбудовані в сонячну панель.

Схема містить взаємопов'язані діоди Шоттки. Вони блокують вплив по-різному освітлених агрегатів і шунтують сонячну панель, яка почала працювати в режимі навантаження.

Використання діодів Шоттки дає можливість отримувати більше енергії від сонячних панелей, так як у відкритому стані напруга на них падає всього на 0,3–0,4 В.

Для роботи сонячної електростанції потрібно 80 сонячних панелей. У схемі використовуються 2 гібридних інвертора. Кожен інвертор має 2 входи для сонячних панелей. До одного входу можна підключити 40 сонячних панелей або 20 до двох. Ми будемо використовувати 2 входи гібридного інвертора.

Згідно з таблицею 3.1, напруга холостого ходу сонячної панелі становить 46,1 В, напруга навантаження – 38,0 В. Струм навантаження становить 8,82А. За умови, що панель звернена безпосередньо до сонця.

Згідно з таблицею 3.6, в режимі гібридного інвертора робочий діапазон МРРТ-контролера становить від 400 до 800 В, струм кожного входу - 18,6 А.

Виходить, що 20 з'єднаних послідовно сонячних панелей, що виробляють

38,0 В під навантаженням, зроблять:

$$V_{\Sigma} = V \cdot N = 38 \cdot 20 = 760 \text{ В} \quad (3.7)$$

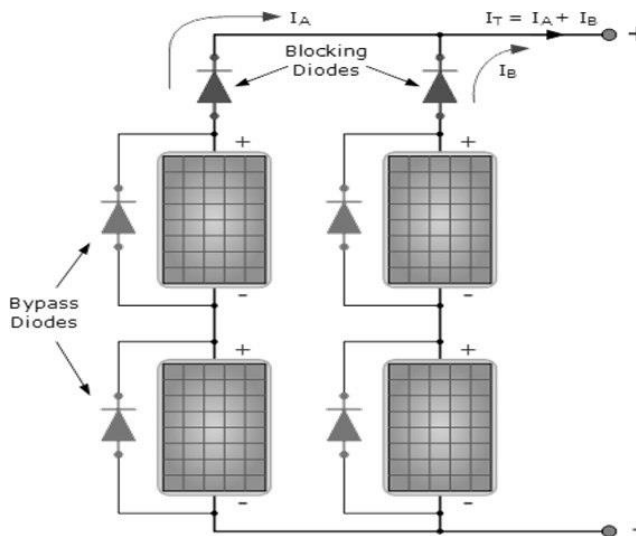
де V – вихідна напруга під навантаженням однієї сонячної панелі;

N - кількість сонячних панелей.

Виходить, що вхід гібридного інвертора буде подаватися на кожен вхід з максимальною напругою 760 В і максимальним струмом 8,82 А. За умови, що панель звернена безпосередньо до сонця.

Згідно з таблицею 3.6, для зарядки акумуляторів потрібні акумулятори з номінальною напругою 48 В з максимальним струмом заряду 20 – 400 А.

Згідно з таблицею 3.7. Номінальна напруга акумулятора становить 12 В. Для отримання напруги 48 В необхідно з'єднати батареї послідовними групами по 4 шт.



Згідно з формулою 3.3, кількість енергії, необхідної для зарядки, становить 200 000 Вт·год. Розрахуємо необхідну ємність еквівалентного акумулятора:

$$C = \frac{W}{V} \cdot \frac{200000}{48} = 4167 \text{ А} \cdot \text{год} \quad (3.8)$$

Знайдемо кількість необхідних акумуляторів ємністю 200 Ач, округливши число в більшу сторону. При цьому врахуємо, що на напругу 48 В акумулятори з'єднуються послідовно по 4 шт:

$$N = 4 \cdot \frac{C}{C_{\text{АКБ}}} = 4 \cdot \frac{4167}{200} = 83,2 \approx 84 \text{ шт} \quad (3.9)$$

Така кількість акумулятора буде виробляти необхідну енергію в 200 000 Вт·год при повному розряді. Виробник не рекомендує розряджати батарею більше ніж на 30%.

Тоді підсумкове число батарей з урахуванням цієї рекомендації кратно чотирьом:

$$N_{\text{кінцеве}} = N \cdot \frac{100}{100-30} = 120 \text{ шт} \quad (3.10)$$

У результаті виходить збірка з 120 акумуляторів, в якій паралельно з'єднані 30 акумуляторних блоків. Кожен такий агрегат має 4 акумулятори, з'єднані послідовно.

У результаті, об'єднавши всі компоненти, отримаємо систему з основними параметрами, занесеними в таблицю 3.7.

Таблиця 3.7 – Основні характеристики сонячної електростанції

Елемент	К-ть	Параметри елементів
Сонячні EOSUM NS-335PP	80	Потужність – 235 Вт Напруга холостого ходу - 46,1 В Напруга під навантаженням – 38 В Струм – 8,82 А ККД – 17,4 %

Продовження таблиці 3.7

<p>Гібридний трьохфазний інвертор SILA PRO 10кВт</p>	<p>2</p>	<p>Вхідні характеристики сонячних батарей в режимі гібридного інвертора. Номінальна/Максимальна напруга - 720 В (DC)/900В (DC) Діапазон роботи MPPT контролера – 400-800 В Кількість MPPT контролерів - 2/2 x 18,6 А Вихідні характеристики в режимі роботи від акумуляторів Номінальна вихідна напруга - 230 В (АС) (однофазний режим) / 400 В (АС) (Трифазний режим) Максимальний коефіцієнт перетворення (DC/АС) – 91%</p>
<p>Гелієва акумуляторна батарея SunStone Power MLG 200Ah 12V</p>	<p>120</p>	<p>Номінальна напруга - 48В Максимальний струм заряду – 20-400А Напруга – 12 В Ємність – 200 Ач У циклічному режимі при 30% глибині розряду – 2000 циклів розряду/заряду</p>

Висновки до третього розділу

Були проведені розрахунки системи накопичення та перетворення енергії. Зокрема, здійснено розрахунок її параметрів, до якої відноситься обчислення кута нахилу сонячних панелей, обрахунок параметрів як сонячних батарей, так і інвертора. Розраховано кількість супутнього обладнання.

ВИСНОВОК

У бакалаврській роботі розроблено систему накопичення та перетворення енергії на основі сонячної гібридної станції.

Розглянуто способи перетворення сонячної енергії в електричну. Здійснено аналіз видів сонячних електростанцій. Проведено огляд будови та принципу роботи СЕС. Представлено інформацію про обладнання та його різновиди.

Для сонячної гібридної станції здійснено вибір необхідного обладнання та наведено їх технічні характеристики. Було обрано наступне обладнання:

- полікристалічна сонячна панель бренду NEOSUM™ Standard 72 – NS-335PP.
- гібридний інвертор SILA Pro 10000MH (контролер ММРТ міститься за замовчуванням).
- акумуляторна гелієва батарея SunStonePower MLG 200Ah 12V.

Були проведені розрахунки системи накопичення та перетворення енергії. Зокрема, здійснено розрахунок її параметрів, до якої відноситься обчислення кута нахилу сонячних панелей, обрахунок параметрів як сонячних батарей, так і інвертора. Розраховано кількість супутнього обладнання.

					БРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Відновлювана енергетика та енергоефективність у XXI столітті : матеріали XXIV Міжнар. наук.-практ. конф. Київ, 18–19 трав. 2023 р. Київ : Інституту відновлюваної енергетики НАН України, 2023. 520 с.
2. Форкун Я. Б. Сонячна теплоенергетика : конспект лекцій / за заг. наук. ред. О. О. Шкурпела. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2020. 88 с.
- 3 Using Sulfur to Store Solar Energy. Karlsruhe Institute of Technology. URL: https://www.kit.edu/kit/english/pi_2017_044_using-sulfur-to-store-solar-energy.php (date of access: 02.05.24).
4. Ю. П. Колонтаєвський, Д. В. Тугай, С. В. Котелевець. Фотоенергетика : навч. посіб. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2019. 160 с.
5. Види сонячних електростанцій. Сонячна енергетика : веб-сайт. URL: http://ishop.sutem.com.ua/articles/topics/solar_energy/SES (дата звернення 03.05.24).
6. Сонячна станція тарілчастого типу. Сонячна енергетика : веб-сайт. URL: <http://www.himinsun.com/1-5-dish-thermal-power-generation.html> (дата звернення: 04.05.2024).
7. Zhang Y. Electric Vehicle Charging Infrastructure : textbook. Singapore : World Scientific, 2020. 190 p.
8. Solar power tower. Wordpress. URL: <https://vxhungktd.wordpress.com/solar-power-tower/> (date of access: 05.05.24).
9. Brown J. Electrical Power Systems : textbook. London : Springer, 2011. 198 p.
10. Портативна сонячна панель 200W 12V з регулятором. Eurozakup : веб-сайт. URL: <https://eurozakup.com.ua/product-portativnaya-solnechnaya-panel-200w-12v-s-regulyatorom-10144185126.html> (дата звернення 06.05.24)
11. Стаднік М. І., Проценко Д. П. Гібридне електропостачання з використанням відновлюваних джерел енергії навч. посіб. Вінниця : ВНТУ. 2020. 41 с.

					БРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

12. Sen, Z. Solar energy in progress and future research trends // Progress in Energy & Combustion Science. – 2004. – V. 30. – 367-416 p.

13. Автономна сонячна електростанція на 10 кВт. SETech : веб-сайт. URL: <https://setech.com.ua/p776052193-avtonomna-sonyachna-elektrostantsiya.html> (дата звернення 06.05.24).

14. Як працюють сонячні батареї. Green System : веб-сайт. URL: <https://greensystem.com.ua/blog/kak-rabotayut-solnecnye-batarei/> (дата звернення 07.05.24).

15. Лежнюк П. Д., Комар В. О., Кравчук С. В. Фотоелектричні станції як елемент енергоефективного електропостачання. *Цілі сталого розвитку третього тисячоліття: виклики для університетів наук про життя* : матеріали Міжнар. наук.-практ. конфер., м. Київ, 23-25 травня 2018 р. Київ, 2018 С. 17–19.

16. Типи сонячних батарей. ПКП Техноноватор : веб-сайт. URL : <http://tehnovator.com.ua/ua/energy-ua/sun-battery-ua/typessun-battery-ua.html> (дата звернення 07.05.24).

17. Типи сонячних панелей. Atmosfera : веб-сайт. URL : <http://www.atmosfera.ua/uk/sonyachnielektrostantsii/tipi-sonyachnix-panelej/> (дата звернення 08.05.24).

18. Кудря С.О. Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії : навч посіб. Київ, КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2012. 490 с.

19. Коваль С. В., Мороз А. В. Сонячна енергетика : навч. посіб. Одеса : ОНУ ім. І. І. Мечникова, 2021. 190 с.

20. Ковальчук В. О., Іваненко П. М. Сонячні панелі : навч. посіб. Київ : КНУБА, 2019. 150 с.

21. Титко Р., Калініченко В. М. Відновлювальні Джерела Енергії (досвід Польщі для України) : навч. посіб. Варшава: OWG, 2010. 530 с.

22. Тимошенко О. В., Баранов Ю. В. Ефективність інверторів : навч. посіб. Вінниця : ВНТУ, 2017. 190 с.

23. Орлова Л. В., Петров С. І. Типи інверторів: навч. посіб. Львів : ЛНПУ, 2018. 180 с.

					БРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

24. Тимошенко О. В., Баранов Ю. В. Ефективність акумуляторних батарей : навч. посіб. Вінниця : ВНТУ, 2017. 180 с.

25. Шелест М. Б., Гайда П. І. Основи будови та експлуатації акумуляторних батарей : навч. посіб. Суми : СумДУ, 2014. 210 с.

26. Ковальчук О. В., Іваненко П. М. Акумуляторні батареї : навч. посіб. Київ : КНУБА, 2019. 150 с.

27. Green M. T., Brown N. A. Electrochemical Energy Storage : textbook. London : Imperial College Press, 2017. 290 p.

28. Kumar P. R., Anderson E. J. Battery Management Systems : textbook. Munich : TUM, 2021. 310 p.

29. Колонтаєвський Ю. П., Тугай Д. В. Перетворювальна техніка в нетрадиційній та відновлювальній електроенергетиці : навч. посіб. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2019. 67 с.

30. П. І. Ковальчук, Демченко А. В. Контролери заряду в системах зберігання енергії : навч. посіб. Одеса : ОНПУ, 2019. 85 с.

31. Мельник І. П., Трофименко О. М. Моделі контролерів заряду для відновлюваної енергетики : навч. посіб. Харків : ХНУМГ, 2018. 74 с.

32. Гриненко Ю. В., Сидоренко В. П. Системи контролю заряду акумуляторів : навч. посіб. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. 88 с.

33. Сонячні панелі. Генерація : веб-сайт. URL: <https://generacia.energy/categories/sonjachni-paneli/> (дата звернення: 09.05.2024).

34. Сенько В.І., Трубіцин К.В., Чибеліс В.І. Інвертори і перетворювачі частоти : монографія. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. 300 с.

35. Шавьолкін О. О. Енергетична електроніка : навч. посіб. Київ : КНУТД, 2017. 396 с.

36. Особливості вибору інвертора для сонячних батарей. Компанія Вінур : веб-сайт. URL: <https://vinur.com.ua/ua/aboutus/usefull-info/articles/365-kak-vybrat-invertor-dlya-solnechnykh-batarej> (дата звернення 11.05.2024).

37. Тягові акумулятори : веб-сайт. URL: <https://prom.ua/p1724518437-gelevij-akumulyator-dlya.html> (дата звернення 13.05.24).

					БРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60